



ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова
ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН
Академия наук Чеченской Республики
Геофизический институт ВНЦ РАН
Институт геологии ДФИЦ РАН
Департамент по недропользованию по СКФО

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Том XIII

Материалы
XIII Всероссийской научно-технической конференции
«Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии
Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2023)»
4-8 октября 2023 г., г. Владикавказ

Москва - 2023

УДК 55(470.6)

ББК 26.3 (235.7)+26.2(235.7)+20.1(235.7)

*Печатается по решению Ученого совета ИИЕТ РАН (протокол № 7 от 26.09.2023)
и Президиума Академии наук Чеченской Республики (протокол № 6 от 24.09.2023)*

**Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии
Северного Кавказа. Том XIII / Науч. ред. И.А. Керимов, В.А. Широкова,
В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашин. М.: ИИЕТ РАН, 2023. 777 с.**

Рецензенты:

д.г.-м.н., профессор В.А. Гридин (ООО НИП «Нефтегазгеология», г. Ставрополь)

д.г.н., профессор А.В. Лысенко (СКФУ, г. Ставрополь)

к.г.-м.н. О.А. Соколова (ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, г. Москва)

Издание подготовлено коллективом авторов по материалам XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2023)», состоявшейся 4-8 октября 2023 г. в г. Владикавказ. Рассмотрен широкий спектр проблем в области наук о Земле: геология и тектоника, поиски месторождений полезных ископаемых, опасные природные процессы, изменения климата, геоэкология и др.

Представлены результаты исследований по изучению геологии и минеральных ресурсов юга России, перспективным направлениям геолого-геофизических исследований, актуальным проблемам геоэкологии и изменения климата, а также по истории и методологии наук о Земле.

Публикуемые материалы представляют интерес для широкого круга специалистов научных и производственных организаций, студентов и аспирантов географических и геологических специальностей, историков науки.

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-98866-078-1



© ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, 2023

© Академия наук Чеченской Республики, 2023

© Коллектив авторов, 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая монография подготовлена по материалам очередной XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2023)», которая в этом году проходила в г. Владикавказ (4-8 октября 2023 г.).

Конференция проводится ежегодно с 2011 г., а с 2015 г. в организации конференции активное участие принимает Департамент по недропользованию по СКФО (Кавказнедра) и его подразделения в субъектах Российской Федерации. За непродолжительное время научно-техническая конференция стала престижным научным мероприятием с обширной географией участников, охватывающим почти все регионы России и привлекающим интерес авторитетных учёных из других стран. Авторитет научного форума заметно вырос, в том числе благодаря регулярному изданию материалов докладов в форме сборников научных трудов конференции или многотомных коллективных монографий.

В программу XIII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» включены уже такие ставшие традиционными и при этом не потерявшие свою актуальность научные направления. Все эти направления имеют важное значение для развития дальнейших исследований и эксплуатации минерально-сырьевой базы юга России.

В рамках XIII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» состоялись научные симпозиумы, семинары и круглые столы. Некоторые доклады были посвящены весьма актуальным в настоящее время проблемам глобальных и региональных климатических изменений, а также вопросам создания и функционирования карбоновых полигонов.

В работе XIII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» приняло участие около 200 российских и зарубежных ученых и специалистов. Среди участников конференции – представители 66 организаций и учреждений, в том числе Институтов РАН (22), вузов, НИИ и др. Организаторы конференции: Геофизический институт ВНИЦ РАН (Владикавказ), ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова (Грозный), ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН (Москва), Институт геологии ДФИЦ РАН (Махачкала), Высокогорный геофизический институт (Нальчик), ЦГИ КБНЦ РАН (Нальчик), Департамент по недропользованию по СКФО (Кавказнедра) (Ессентуки), Академия наук Чеченской Республики (Грозный).

XIII научный форум «ГЕОКАВКАЗ 2023», посвященный актуальным вопросам геологии, геофизики и геоэкологии Юга России, прошел в г. Владикавказ на базе Геофизического института — филиала Владикавказского научного центра РАН (ГФИ ВНИЦ РАН), известного своими научными школами в области геофизики, сейсмологии и других отраслей наук о Земле. Проведение данного мероприятия на базе ГФИ ВНИЦ

РАН будет способствовать дальнейшему развитию межрегиональных научных связей и авторитета конференции.

Коллективная монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», том XIII, включает 103 доклада и состоит из следующих разделов:

I. Геология и минеральные ресурсы Юга России.

II. Геофизика. Геодинамика. Сейсмология.

III. Актуальные проблемы геоэкологии. Изменения климата.

IV. История и методология наук о Земле.

Традиционно включены статьи, в которых отражены собственные взгляды авторов и порой носящие дискуссионный характер. Они, по мнению Оргкомитета конференции, стимулируют научные дискуссии, способствующей развитию соответствующего раздела науки. В целом анализ проблематики исследований, представленных в докладах участников конференции, показывает их актуальность, научную значимость и междисциплинарный характер. Большой интерес, проявленный к конференции учеными и специалистами в области геологии, геофизики и геоэкологии, истории наук о Земле позволяет судить об актуальности обсуждаемых проблем.

Материалы ежегодной конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2023)» представляются в виде одноименной коллективной монографии, за период 2011-2022 гг. были опубликованы I-XII тома. Настоящий XIII том также представляет интерес для широкого круга специалистов различного профиля, ученых, занимающихся проблемами освоения природных ресурсов Северного Кавказа, рационального природопользования и охраны окружающей среды, недропользователей и предпринимателей, историкам науки. Книга будет также полезна преподавателям, аспирантам и студентам университетов.

Оргкомитет выражает уверенность, что данные материалы внесут значительный вклад в развитие и популяризацию геологического, геофизического и геоэкологического образования, послужит обмену экспертными мнениями между учёными, укреплению связей между наукой и практикой. Благодарим участников конференции за поддержку и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Оргкомитет

*XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием
«Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа
(ГЕОКАВКАЗ 2023)»*

**I. ГЕОЛОГИЯ
И МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ
ЮГА РОССИИ**



УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НЕФТИ И ГАЗА

© И.В. Акулич, В.И. Ефимов, Н.А. Бондаренко

КубГУ, Краснодар

Аннотация. В работе рассматриваются геолого-геофизические особенности строения мезо-кайнозойского породного осадочного бассейна Западного Предкавказья с целью выделения новых для дальнейшего изучения поисковых объектов. По результатам углубленного структурного анализа обозначены перспективы нефтегазоносности в пределах Некрасовского участка Каневско-Березанской системы поднятий и Кужорского участка Адыгейского выступа.

Ключевые слова: Западное Предкавказье, углеводороды, сейсмостратиграфический анализ, локальный прогноз, перспективы нефтегазоносности

В нефтегазовой отрасли Кубани в настоящее время сложилась ситуация, при которой недропользователи неохотно вкладывают деньги в геологоразведку на “перспективу”, т.е. в региональные работы. Основной объем геологоразведочных работ направлен на выяснение перспектив нефтегазоносности и детализацию строения только некоторых территорий. Это главным образом районы лиманно-плавневых зон Краснодарского края, которые прилегают к хорошо известным ныне действующим нефтегазоносным объектам в неогеновых отложениях северного борта Западно-Кубанского прогиба и Тимашовской ступени. Анализ отдельных публикаций за последнее время [1–7, 9 и др.] свидетельствует о необходимости продолжения более глубокого изучения условий нефтегазоносности не только Западного Предкавказья, но углеводородных систем всего Крымско-Кавказского региона.

Изучение региональных особенностей геологического строения территории, детализация структурных построений и их анализ в сочетании с приемами сейсмостратиграфического анализа и ПГР позволяют выполнять широкий спектр решения геологических задач при поисках нефти и газа: локальный прогноз наличия объектов антиклинального и неантиклинального типа, уточнение строения выявленных объектов и истории их формирования, уточнение подсчетных параметров и перспектив нефтегазоносности [8]. Примерами решения такого рода задач в пределах Западного Предкавказья являются выявление пропущенных объектов, уточнение строения и перспектив нефтегазоносности недоизученных территорий. Таковыми, в первую очередь, являются Некрасовский, Ахтарский, Западно-Каневской участки Каневско-Березанской системы поднятий, Кужорский участок Адыгейского выступа, Южно-Павловский и Восточно-Ленинградский участки Ирклиевской впадины, Восточно-Троицкий, Федоровский, Мелеховский и другие участки ЗКП, по каждому из которых может быть осуществлен прирост запасов УВ в объеме от 10 до 40 млн. т. у.т.

Наиболее наглядным примером высокой эффективности выполнения углубленного структурного анализа является выявление пропущенных объектов в пределах Некрасовского участка.

Структурные построения в этой зоне, на основе которых базировалось формирование геологической модели строения этих территорий и поисковое

бурение, впервые были выполнены по данным МОВ в 50-60-х г.г. прошлого столетия. В практически неизменном виде эта модель просуществовала до 2010 г., когда были получены новые данные региональных исследований, по результатам которых было высказано предположение о наличии Западно-Некрасовской структуры к югу от станции Некрасовской.

При анализе сводных структурных построений 1965 г. по нижнему мелу в сопоставлении с материалами региональных работ 2006–2010 г.г. строение Западно-Некрасовской площади было уточнено. Выполнен прогноз строения вышеуказанной площади по подошве мела и дан прогноз наличия к югу от станции Некрасовской крупной структуры, сопоставимой по своим размерам с Некрасовским поднятием, и наличии связанного с этой структурой газового месторождения, сопоставимого по ресурсам УВ с Некрасовским месторождением.

В 2020 г. в пределах Некрасовской площади и прилегающим к ней участкам по сейсмическим данным выполнены уточненные структурные построения по обобщенным материалам МОГТ 1971–2010 гг., выявлена существенно иная конфигурация структурных планов по мелу по сравнению с построениями 1965 г.

Радикально изменилось строение структуры поднятия Ладожское 1 по мелу в сравнении с построениями 1965 г., что хорошо объясняет результаты выполненного здесь глубокого бурения – из шести пробуренных в прогнозируемом контуре поднятия скважин только 4-ая Ладожская дала приток газа.

В сводной структурной модели 1965 г. пропущены уверенно локализуемая построениями 2020 г. Северо-Некрасовская структура, а также Восточно-Некрасовский и Южно-Некрасовский выступы по нижнему мелу. Западно-Некрасовская площадь по уровню подошвы нижнего мела в построениях 1965 г. картировалась, как моноклираль с перепадом глубин от 3500 до 3700 м, в то время как в построениях 2020 г. глубины здесь – от 3500 м и менее, что сопоставимо с отметками по подошве мела на Некрасовской площади. В пределах Западно-Некрасовской и Некрасовской площадей локализуются два отдельных сопоставимых по размерам и глубинам выступа.

В целом Некрасовский участок по прогнозу обособляется как система пяти локальных поднятий и осложнений (Некрасовская, Западно-Некрасовская, Северо-Некрасовская структуры и Восточно-Некрасовский, Южно-Некрасовский выступы). Выявлено возможное наличие перспективных объектов в сарматских отложениях, аналогичных выявленных на площади Ладожская 2 – на Восточно-Некрасовской и Западно-Некрасовской площадях.

Местоположение Западно-Некрасовской и Некрасовской структур в едином контуре по изогипсе минус 3450 м (подошва мела) хорошо коррелируется с местоположением крупной субширотно ориентированной локальной аномалии по гравиметрическим данным.

Для локализации и подготовке выявленных объектов к глубокому бурению рекомендуется выполнить сгущение сети профилей ОГТ-2D, в первую очередь по Западно-Некрасовской, Северо-Некрасовской и Восточно-Некрасовской площадям в объеме до 100–120 пог. км. Прогнозируемый суммарный прирост ресурсов и запасов в пределах Некрасовского блока по газу может составить по категории Д0–С1 по пропущенным объектам в нижнем мелу и сармате до 45–50 млрд. м³.

Примером высокой эффективности применения углубленного структурного анализа является также уточнение строения Кужорской структуры. Впервые Кужорская складка была выявлена электроразведкой ВЭЗ. Впоследствии строение складки детализировалось сейсморазведкой МОВ и МОГТ-2D. В 1953 г. составлен паспорт с местоположением складки к востоку от станицы Кужорской. В пределах Кужорской площади произведено структурнокартировочное бурение (5 скважин) и пробурено 8 глубоких скважин. Пробуренные глубокие скважины дали отрицательные результаты в отношении нефтегазоносности майкопских, меловых и юрских отложений.

Кужорская структура (Вольнинская тектонически экранированная ловушка) выявлена по сейсмическим материалам МОГТ-2D. Год открытия Кужорского поднятия – 1983 г., прогнозируемая продуктивность – песчаные горизонты нижнего мела (аналог – Майкопское газоконденсатное месторождение). Тип ловушки – структурный с тектоническим экранированием.

В 1988 г. по материалам МОГТ-2D составлен паспорт на Вольнинскую структуру, в котором структура считалась подготовленной к поисковому бурению на ловушки по горизонтам $K_{1п}$ (мел), J_{3ox} , J_{3cl} , J_2 (верхняя-средняя юра). Структура была признана перспективной по верхнеюрским отложениям (оксфорд и келловей) и нижнему мелу (апт). Глубины прогнозируемого залегания продуктивных горизонтов – от 2400 до 2700 м.

Для опоискования объекта было рекомендовано пробурить скважины Вольнинскую-1 глубиной до 4400 м (поисковый объект – прогнозируемое по сейсмическим данным рифоподобное тело в отложениях верхней юры) и Вольнинскую-2. В пробуренной по рекомендациям скважине Вольнинская-1 нефтегазовых объектов не выявлено. Скважина Вольнинская-2 в бурение не вводилась.

В 2017 г. при проведении тематических работ по территории Адыгейского выступа с целью выделения потенциально продуктивных объектов выполнен комплексный анализ структурно-формационного наполнения разреза по данным сейсморазведки ОГТ и переинтерпретация данных ГИС по скважинам Кужорской и сопредельных площадей.

По привязке к данным ГИС и сейсморазведки (рис. 1) выполнена корреляция структурного и литолого-стратиграфического наполнения Кужорской площади с Майкопским месторождением. По обобщенным сейсмическим данным 1983–1985 гг. выполнены структурные построения по горизонтам $K_{1кр}$ в кровле нижнего мела, $K_{1ар}$ в подошве аптских отложений, K_{1br} в кровле губской свиты, уточнены сводные построения по горизонту $K_{1п}$ в подошве нижнего мела (рис. 2). Складка прослеживается как унаследованная от юрских отложений до кровли мела. Геологическими аналогами Кужорского поднятия являются Майкопская и Северо-Кужорская структуры (по литолого-стратиграфическому наполнению и приуроченности к антиклинальной зоне и системе грабена) с доказанной нефтегазоносностью по нижнему мелу.

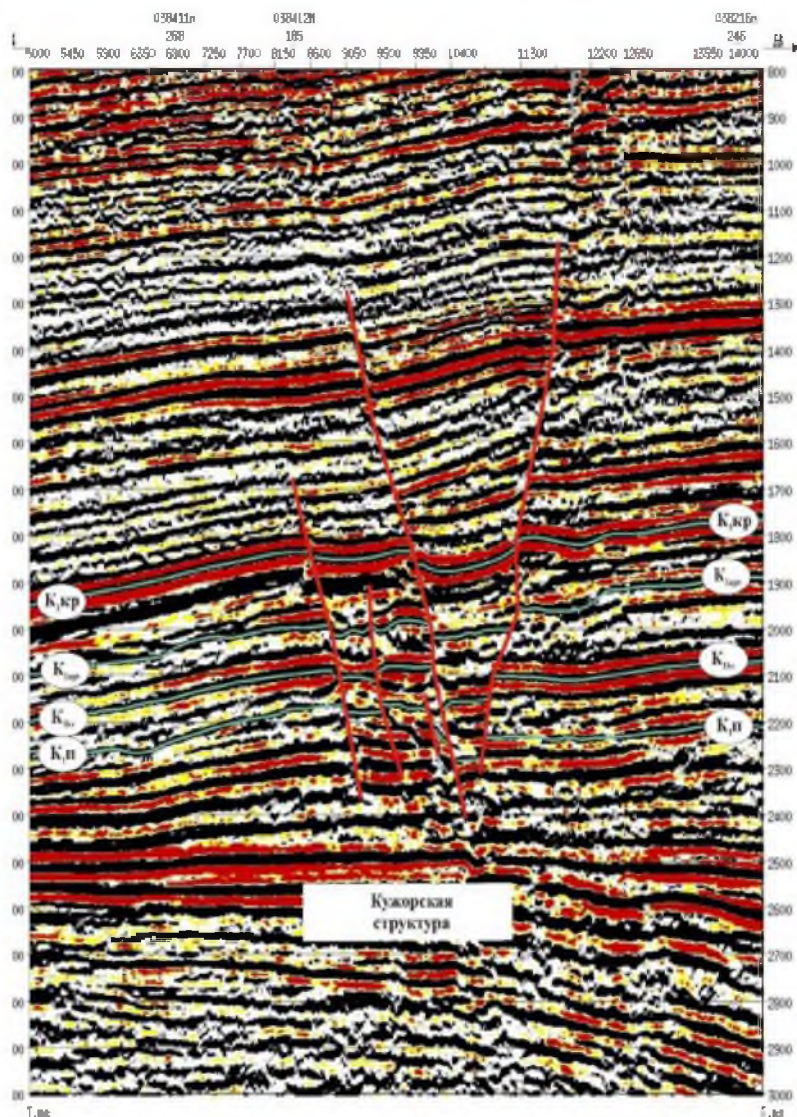


Рис. 1. Фрагмент временного разреза Кужорской структуры, по данным [10] с изменениями авторов

Таким образом, в предлагаемой редакции Кужорская структура имеет блоковое строение и ограничивается на востоке Кужорским грабеном. Из числа выявленных в пределах Адыгейского выступа объектов Кужорское поднятие, по-видимому, наиболее перспективное по следующим соображениям:

- Кужорское поднятие приурочено к Майкопско-Ярославской антиклинальной зоне Адыгейского выступа на сопоставимых с Майкопским поднятием глубинах и стратиграфическим наполнением, вблизи с крупнейшим в Западном Предкавказье газоконденсатным месторождением;
- поднятие крупное (площадь до 10 км²), сопоставимое по своим линейным размерам с наиболее крупными газовыми структурами Западного Предкавказья, высокоамплитудное;
- геологическое строение Кужорской площади сходно со строением участков Северо-Кужорского и Майкопского месторождений;

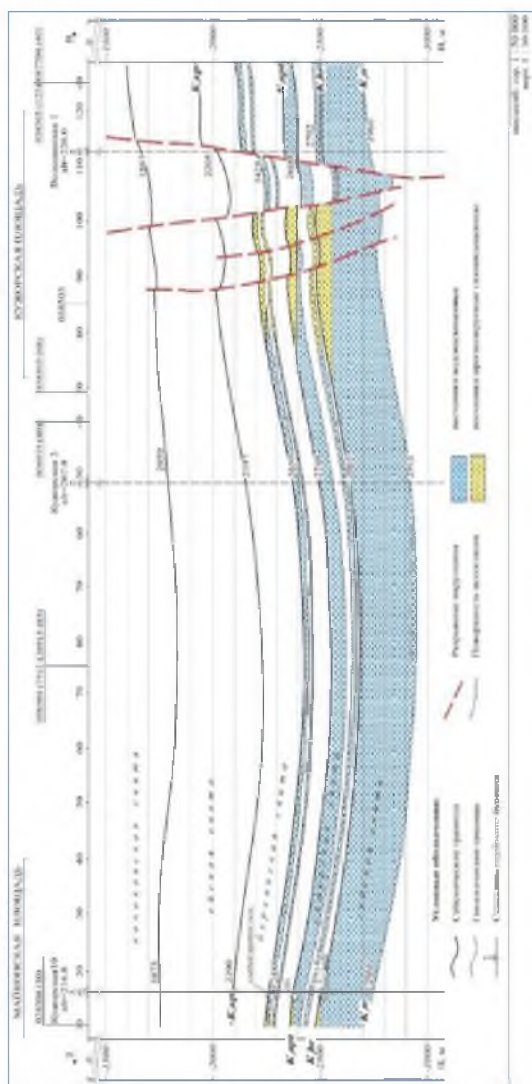


Рис. 2. Корреляция сейсмического и литолого-стратиграфического наполнения
Кужорской площади с Майкопским месторождением

– литолого-фациальное наполнение разреза, насыщенность прогнозируемыми ловушками в интервале нижнего мела близко таковым по Майкопской площади;

– в интервале отложений самурской и губской свит в сводовой части поднятия наблюдаются визуально и инструментально зафиксированные аномалии типа залежь (возрастание динамики отражений), связанные, предположительно, с насыщением разреза газом.

Литература

1. Астахов С.М., Мосякин Ю.А., Мосякин А.Ю. Перспективы нефтегазоносности оксфорд-неокомских рифогенных отложений в пределах южного борта Западно-Кубанского прогиба. Часть 2. Историко-генетическое моделирование нефтегазоносности новых выделенных объектов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т.10. №4. http://www.ngtp.ru/rub/11/41_2015.pdf

2. Бондаренко Н.А., Акулич И.В. Особенности моделирования чокракского породного бассейна Западно-Кубанской нефтегазоносной области // Булатовские чтения: научный журнал. № 1. Краснодар: ООО «Издательский Дом-Юг», 2022. С. 33-39
3. Галактионов Н.М., Губарев М.В. Поисково-оценочные критерии нефтегазоносности чокракских отложений и прогноз конусов выноса в основании платформенного склона Западно-Кубанского прогиба // Геофизика, №S Технология сейсморазведки-I. 2002. С. 152-154
4. Григорьев М.А., Ширяева И.В., Григорьев А.М. Количественная оценка и геологические факторы флюидодинамической напряженности глубокопогруженных резервуаров // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. Том. 10. №4. С. 47-53.
5. Долинский И.Г. Закономерности распространения нефтегазоносных комплексов и ловушек УВ в акваториях Азовского и Черного морей: российский сектор // Автореф. на соискание уч. степени канд. геол.-минерал. наук. Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. 25 с.
6. Ефимов В.И. Новые представления о тектоническом строении и истории развития Западно-Кубанского прогиба // Актуальные проблемы развития ТЭК регионов России и пути их решения. Тезисы док-ов 11 межд. конф. “Геленджик 2014”. 2-5 июня 2014 г., Геленджик, ФГУП “Южморгеология”. С. 35-378.
7. Керимов В.Ю., Яндарбиев, Р.Н. Мустаев, А.А. Кудряшов. Углеводородные системы Крымско-Кавказского сегмента Альпийской складчатой системы // Георесурсы. Т.23. №4. 2021. С. 21-33. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.3>.
8. Мисиров Н.М., Ефимов В.И. Проведение переобработки и интерпретации сейсморазведочных данных ОГТ-2D и материалов ГИС прошлых лет // Геологический отчет, ОАО “Краснодарнефтегеофизика”. Краснодар, 2007.
9. Мосякин Ю.А., Астахов С.М., Мосякин А.Ю. Перспективы нефтегазоносности оксфорд-неокомских рифогенных отложений в пределах южного борта Западно-Кубанского прогиба. Часть 1. Выделение новых объектов / Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т.10. №4. http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2015.pdf.
10. Ойфа В.Я., Пекло С.В., Бабаринова Г.Б. и др. Поисковые и детализационные сейсмические исследования ОГТ в пределах восточного склона Адыгейского выступа на Гиагинской, Северо-Кужорской, Восточно-Майкопской площадях // Геологический отчет. ПО “Краснодарнефтегеофизика”, Краснодар, 1993.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗОЛОТОНОСНОСТИ КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ ГОРНОГО ДАГЕСТАНА

© Р.М. Багатаев

*Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики –
филиал ОИВТ РАН, Махачкала*

Аннотация. В Горном Дагестане с давних времен местному населению были известны колчеданные рудопроявления, наблюдаемые в виде различных естественных обнажений, в последствии неоднократно изученные в разные периоды проведения геолого-съемочных и геологоразведочных работ на цветные металлы [2, 4, 7, 8]. Данные этих исследований по содержанию золота и серебра в некоторых рудопроявлениях позволили обосновать изучение золотоносности черносланцевых толщ, проведением прогнозно-ревизионных и поисковых работ в 2007-2016 гг. [1, 5]. Эти работы на коренное оруденение золота размещены в наиболее перспективной южной части Горного Дагестана, где детально изучены структурно-морфологические особенности и внутреннее строение как вновь вскрытых, так и ранее известных рудопроявлений: Траншейное, Мукеркам 1 и 2, Сумрайкам, Скалистое и др. При их минералого-геохимических исследованиях большее внимание уделено содержанию золота и серебра в различных минеральных парагенезисах колчеданного оруденения черносланцевых толщ Горного Дагестана.

Ключевые слова: Горный Дагестан, черносланцевая толща, колчеданное оруденение, рудопроявление, складчатая структура, рудное поле, жильно-прожилково-вкрапленная минерализация, минерализованная зона, локализация руд, минеральный состав, геохимические особенности, метасоматические образования, золото, серебро, технологическая оценка.

В начальном периоде истории геологического изучения Горного Дагестана описаны проявления различных полезных ископаемых, которые были известны местным жителям. При осмотре и описании колчеданных рудопроявлений в верховьях реки Маза в разных образцах Ихирских кварц-пиритовых жил определено содержание золота 1,59-4,99 г/т и серебра 20,5-38,6 г/т (К.И. Богданович, 1902). Затем были описаны Джиг-Джигские жильные рудопроявления свинцовой и медной минерализации, в которых пирита было очень мало. В них содержание золота составило 0,58 г/т, а серебра – 116,1 г/т (В.П. Ренгартен, 1927). Малые размеры этих рудных жил и труднодоступный горный рельеф не способствовали обоснованию постановки значительных геологоразведочных работ на участках развития колчеданного оруденения. С середины 20-х гг. XX в. геологическое изучение Горного Дагестана приняло системный характер. Были начаты геолого-съемочные работы, при проведении которых изучалось и жильное колчеданно-полиметаллическое оруденение. В бассейне реки Хваршинка в русловых отложениях было отмыто самородное серебро и обнаружена кварц-арсенопиритовая жила, содержащая золото до 5 г/т (И.Д. Филимонов, 1938). При этом из года в год посещались одни и те же места рудопроявлений, снова отбирали пробы и составляли заключения по сути не отличающиеся от предыдущих (Л.А. Варданянц, 1947).

50-е и 60-е гг. XX в. в Горном Дагестане наряду с геологической съемкой проводились детальные поисковые и поисково-оценочные геологоразведочные

работы. В эти годы были выделены и охарактеризованы ряд перспективных участков с колчеданными рудопоявлениями. В 1965 г. открыто месторождение Кизил-Дере, на котором геологоразведочные работы проводились до 1980 г., в результате которых оценены запасы колчеданных руд (М.М. Курбаном, Ю.Я. Черненко и др., 1984). В рудах данного месторождения содержится золото (десятичные доли г/т).

В 1977-78 гг. в верховьях реки Чехычай проводились поисковые работы (Н.Т. Романов, Ю.Я. Черненко, 1979), которые на двух участках с проявлениями колчеданного оруденения установили повышенные содержания золота и серебра. На одном участке (Курушский) были выделены 6 рудных зон, содержащих золото 0,1-9 г/т и серебро – 0,1-83 г/т. Эти участки приурочены к единой тектонической структуре – ядерной части Шахнабад-Мазинского антиклинория и удалены друг от друга на 6,2 км.

С 1980 г. геологоразведочные работы в Горном Дагестане прерываются на 25 лет. В начале этого периода Южным филиалом ЦНИГРИ (г. Баку) проводились работы на золото по разработке шлиховой минералогическо-геохимической методики поисков золото-сульфидных рудных объектов на Восточном Кавказе (1984, 1987, 1989). Анализы архивных шлиховых проб выявили ореолы золота (электромагнитная фракция) в черносланцевых толщах Горного Дагестана.

Предоставление лицензии (2007) на промышленное освоение медно-колчеданного месторождения Кизил-Дере обусловило целесообразность возобновления работ по исследованию рудоносности Горного Дагестана. В этой связи было обосновано проведение прогнозно-ревизионных работ по оценке ресурсного потенциала благородных и цветных металлов терригенных и вулканогенно-терригенных комплексов (черносланцевых толщ) Горного Дагестана. Их выполнение позволило обобщить данные по золотоносности Горного Дагестана полученные попутно при поисковых и разведочных работах на цветные металлы («Севкавгеология», 2008-2010). Анализом этих данных установлены формационные типы золотого оруденения, которых можно прогнозировать в нижне- и среднеюрских черносланцевых толщах Горного Дагестана. В целом, полученные результаты обобщения и анализа данных золотоносности указанных толщ позволили обосновать проведение поисковых работ на крупнообъемное золотое оруденение черносланцевых формаций Курушского рудного узла («Даггеомониторинг», 2011-2013). Представляющий промышленный интерес объемное оруденение золота не установлено, но подтвердилось его содержание в колчеданных прожилково-вкрапленных рудах жильных образований, развитых в черносланцевых толщах.

Следующим этапом продолжения геологического изучения были поисковые работы на рудное золото северо-западной части Куруш-Мазинского рудного поля («Даггеомониторинг», 2013-2016).

Куруш-Мазинское рудное поле сложено терригенными песчано-глинистыми отложениями (аргиллиты, алевролиты, песчаники при резком преобладании псаммитовой составляющей) нижней и средней юры. Развиты диабазы, диабазовые порфириды, долериты дайковой серии. Значительные площади рудного поля перекрыты четвертичными образованиями.

В геолого-структурном отношении Куруш-Мазинское рудное поле представляется как сплошная складчатая структура, в которой складки следуют одна за другой при одинаковом, в среднем, развитии антиклиналей и

синклиналей. При этом отдельная складка не является обособленным тектоническим образованием, а составляет часть целой структуры и подчинена её общему плану: складка следует простиранию, единому для определенного складчатого пучка. Наклон её осевой поверхности, форма в плане и разрезе также определяются общим структурным планом. Вероятно, что такая складчатая структура возникла в результате общего ориентированного движения масс в горизонтальном направлении, захватившего значительную территорию [3]. Через рудное поле проходят глубинные разломы общекавказской и субмеридиональной ориентировки [6]. В целом геолого-структурные особенности рудного поля как фрагмент складчато-надвигового пояса характеризуются всеобразными взбросо-складками.

К осевым частям систем взброс-складок приурочены различные жильно-прожилково-вкрапленные золотосодержащие колчеданные рудопроявления, по пространственному распространению которых выделяются единые линейно вытянутые минерализованные зоны, контролируемые разрывными нарушениями в виде разнообразных тектонических трещин и раздробленных пород (рис. 1). Локализованное в них колчеданное оруденение не выдержано и зачастую прерывается, а в местах его сравнительно концентрированного образования выделяются рудные тела, мощностью 0,5-1,5 м, редко – 2 м.

Колчеданно-полиметаллические рудопроявления имеют различные геолого-структурные условия локализации и особенности внутреннего строения. Своеобразно характеризуется рудопроявление «Траншейное», из-за интенсивно развитых гидротермально-метасоматических изменений осадочных и интрузивных пород. Общая мощность (1,2-1,5 м) рудопроявления с метасоматическими образованиями сложена несколькими слоями (рис. 2). Примечательно образование серицита (слой 1) и пирита (слой 3). Пирит – мышьяковистый, содержит тонкое золото (5-8 г/т).

В целом минеральный состав рудопроявлений, содержащих золото достаточно однороден. Основным жильным минералом является кварц, постоянно встречается доломит, реже отмечается кальцит. Среди рудных минералов преобладает пирит, постоянно фиксируются сфалерит и галенит, иногда в значительных количествах, часто встречается халькопирит. Вся гидротермальная минерализация рудопроявлений разделяется на две стадии, каждая из которых содержит ряд последовательно формирующихся парагенезисов. В стадии I последовательно выделяются кварцевый, пиритовый, кварцевый, а в стадии II – кварц-доломитовый, халькопирит-сфалеритовый, доломит-кварцевый, галенитовый, кварц-кальцитовый парагенезисы.

Геохимические особенности колчеданно-полиметаллических руд определены анализом разными методами проб, отобранных на рудопроявлениях. Атомно-абсорбционный анализ установил содержания золота (0,2-6,6 г/т) и серебра (5,6-50,0 г/т), а атомно-эмиссионным – определены: мышьяк, свинец, цинк, марганец, железо, висмут, кадмий, сурьма, медь, серебро и золото. В значимых количествах золото установлено в пробах с кварц-сульфидной минерализацией. Причем, значимой корреляции Au с Pb, Zn и Cu не наблюдается, характерен лишь высокий уровень (более 0,1-0,2 %) содержаний полиметаллов в золотосодержащих пробах. Относительно выше коэффициент (0,7-0,8) корреляции золота с мышьяком и серебром. Это согласуется с повышенными содержаниями мышьяка в пирите из золотосодержащих проб и редким присутствием в рудах арсенопирита.

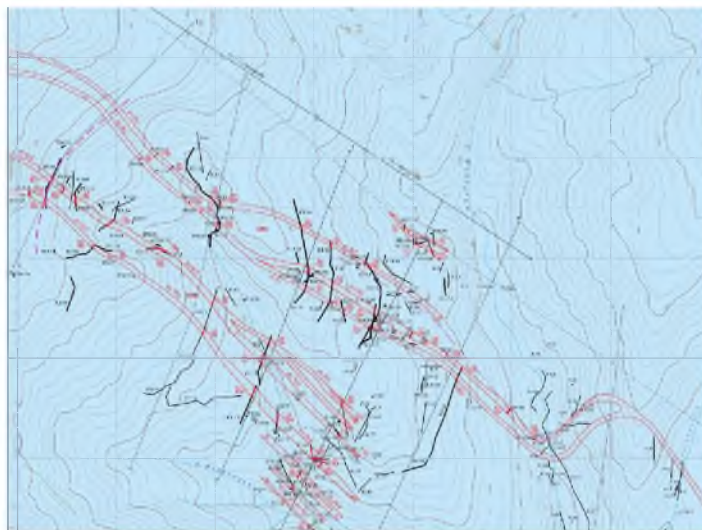


Рис. 1. Прослеженные поверхностными поисковыми горными выработками (канавы, расчистки) линейно вытянутые разрывно-структурные зоны локализации золотосодержащих колчеданно-полиметаллических руд Мукеркамской антиклинали (центральная часть Куруш-Мазинского рудного поля)



Рис. 2. Гидротермально-метасоматические образования рудопроявления «Траншейное», вскрытое на Перевальном участке

- 1 – (40-50 см) измененная мелкозернистая интрузивная порода (андезит), в которой встречается множество пластинчатых кристаллов жильного плагиоклаза, редкие отдельные кристаллы и мелкие скопления рутила, а также обломки вмещающих алевролитов, серицит по андезиту и андезит-базальту;
- 2 – (15-20 см) – обломки алевролитов и кварц-карбонатные прожилки, которые отделяются от слоя 1 кварцевым прослоем (3-6 см). Встречается игнимбрит, включающий фьями, вкрапленность ильменита (0,005-0,15 мм) и рутила (0,005-0,05 мм);
- 3 – (25-30 см) – кварц-пиритовые агрегаты, скопление пирита (70-80 %);
- 4 – (40-50 см) туфы, в которых постоянно присутствует незначительное количество (до 1%) вкрапленности рутила и ильменита.

В пробе рудопроявления Мукеркам 1 определены высокие содержания золота (16,4 г/т) и мышьяка (1,73 %). При этом золото и минералы мышьяка минераграфическими исследованиями не установлены, что обусловило изучение специально подготовленные препараты (микро-аншлифы и шлих из протоочки) на электронном сканирующем микроскопе с энергодисперсной приставкой

Kevech. В препаратах установлены мелкие (5-8 мкм) частицы золота изометричной и пленочной формы, а также арсенопирит двух разновидностей: удлиненно призматический (12 мкм по длинной оси) и неправильной формы тонкозернистого агрегата размером до 14 мкм. Последняя разновидность – включения в жильном кварце, а удлиненно призматическая – вкрапленность в гидротермально измененной вмещающей породе. Частицы самородного золота и арсенопирита диагностированы по их составу, определенному на указанной приставке.

Для серебра более тесные корреляционные связи устанавливаются, кроме золота, с сурьмой и медью (0,5-0,7), а также свинцом. Это связано с тем, что основными минералами-носителями серебра в рудах являются сурьмяная блеклая руда (фрейбергит) и серебросодержащий галенит.

Сцинтилляционным атомно-эмиссионным анализом золота и серебра определены их формы нахождения и размерности частиц в исследованных пробах руд. Установлено, что практически все частицы золота соответствуют мельчайшим размерам 2-6 мкм. Единичные пробы с повышенными содержаниями золота включают его частицы большего размера (6-10 и 10-16 мкм). Содержания золота в исследованных пробах, определенные этим методом считаются заниженными, по отношению к данным атомно-абсорбционного и золото-спектрометрического анализа. В тоже время определения содержания золота по интегральным спектрам для всех частиц дают более высокие содержания, сопоставимые с данными анализов, проведенными двумя последними методами.

Результаты количественного и полуколичественного анализа золота и серебра сопоставлены с данными по интегральным и сцинтилляционным спектрам - "просыпка". Содержания серебра в одних и тех же пробах хорошо повторяют друг друга. Логически понятно, что в выделенных мономинеральных пробах пирита и галенита серебра оказывается больше, например, пробе пирита, отобранной на рудопроявлении Мукеркам 1. Распределение серебряных частиц по размерам тоже понятно: с увеличением содержания Ag доля крупных частиц растёт, достигая 50-80 %. Во всех пробах установлены значительные содержания серебра – до 15-17 г/т. Их повторный анализ при разбавлении в 5 раз материалом стандартного образца СГ-2 (гранит) подтвердил указанные значения в пиритах. Для результатов определения золота картина оказалась принципиально иной. Для всех результатов сцинтилляционного анализа характерно значительное занижение содержаний золота (на 1-2 порядка) по сравнению с использованием интегральных аналитических сигналов. Для разбавленных проб этот эффект тоже имеет место.

В составе геологического изучения золотоносности черносланцевых толщ в пределах Куруш-Мазинского рудного поля проведена технологическая оценка руд двух рудопроявлений: «Мукеркам 1» и «Траншейное». В первой пробе руды прямой пробирный анализ показал содержание золота 3,12 г/т, серебра 24,7 г/т, а во второй – золота 5,41 г/т, серебра 25,67 г/т. Результаты фазового анализа золота в этих технологических пробах руд изображены на рисунках 3 и 4. Следует отметить, что микроскопически видимое самородное золото в рудах не установлено. Основная рудная минерализация пробы руды «Мукеркам 1» – пирит 30%, сфалерит 5%, галенит 3 %, халькопирит – следы, а – «Траншейное» – пирит 67%, галенит 2,4%, сфалерит, 0,6 %, примесь халькопирита и блеклой руды. В этих пробах значительная часть золота

заклучена в сульфидах, соответственно, 68,8% и 79,09%. Представляется, что оно в основном содержится в мышьяковистом пирите.



Рис. 3. Формы нахождения золота в технологической пробе рудопроявления «Мукеркам-1» (Аналитический центр ЦНИГРИ, 2012)



Рис. 4. Формы нахождения золота в технологической пробе рудопроявления «Траншейное» (Аналитический центр ЦНИГРИ, 2016)

Заклучение

Геологическое изучение рудоносности Горного Дагестана в основном проводилось на поиски и оценку оруденения цветных металлов, распространенного в нижне- и среднеюрских черносланцевых толщ. В них широко распространено золотосодержащее колчеданное оруденение, образующее различные парагенезисы во множестве разномасштабных рудопроявлениях. Последние объединены в участки, расположенные сравнительно близко друг к другу и составляют рудные поля. Поисковые работы на золото в черносланцевых толщах, проведенные в пределах Куруш-Мазинского рудного поля установили его значительное содержание в колчеданно-полиметаллических рудах. Оно в подавляющей части, как и серебро,

связано с сульфидами. Анализ мономинеральных фракций пирита и галенита показал, что в пирите золото присутствует в больших количествах, чем в галените и оно представлено более крупными фракциями. Основная форма нахождения серебра в рудах – сульфидная (фрейбергит и галенит). В связи с этим представляется логичным проведение топо-минералогических и минералого-геохимических исследований для выделения участков с золотосодержащим колчеданным оруденением.

Литература

1. Багатаев Р.М. Золото-сульфидное оруденение черносланцевых толщ Горного Дагестана // Разведка и охрана недр, 2013, № 6. С. 3-8.
2. Бунин Г.Г. Рудоносность и основные черты металлогении Горного Дагестана // Труды ИГ Даг. филиала АН СССР. Махачкала, 1961. Т.3, вып. 2, 61с.
3. Греков И.И., Лаврищев В.А., Энна Н.Л. Этапы орогенеза и синорогенной минерализации Северного Кавказа // Региональная геология и металлогения. 2008. № 35. С. 105-112.
4. Колчеданные месторождения Большого Кавказа (отв. ред. В.И. Смирнов). М.: Недра, 1973. 256 с.
5. Курбанов М.М., Богуш И.А., Рылов В.Г. Колчеданное месторождение Кизил-Дере в Горном Дагестане. М.: Научный мир, 2014. 244 с.
6. Маркус М.А. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа // Советская геология, 1986, № 10. С. 63-69.
7. Мацапулин В.У. Седиментационная брекчия рудопроявления скалистое (Южный Дагестан). ДАН СССР, 1983. Т. 286, № 5. С. 1192-1195.
8. Паливода Н.К., Паливода А.А. О проявлении осадочно-диагенетического образования свинцово-цинкового оруденения и перспективах золотоносности в Южном Дагестане // Труды ИГ Даг. филиала АН СССР. Махачкала, 1978. Вып. 14. С. 123-127.

ОГРАНИЧЕНИЕ ПРОРЫВОВ ГАЗА И ПОВЫШЕНИЕ ОХВАТА ПЛАСТА ВЫТЕСНЕНИЕМ ПО ДОБЫВАЮЩИМ СКВАЖИНАМ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОЙТ-КОРТ

© М.М. Бакраев, Л.Х. Кадыров, А.А. Умаев, Р.Р. Весенгериев

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

Аннотация. Система ППД чокракских отложений месторождения Гойт-Корт начала формироваться в 1978 г. закачкой газа в скважины №29; 59; 107. Реализация технологии воздействия на залежь закачкой газа высокого давления с целью повышения нефтеотдачи XXIII пласта месторождения Гойт-Корт столкнулась в промысловых условиях с опережающим продвижением нагнетаемого газа в добывающие скважины, ростом газовых факторов и снижением охвата пласта вытеснением. Для повышения эффективности работ по предотвращению и ликвидации прорывов газа в процессе разработки нефтяных месторождений путем закачки ГВД (газа высокого давления) по относительно высокопроницаемым пропласткам, целесообразна закупорка этих пропластков в добывающих скважинах и проведение работ по ограничению поступления в них газа в нагнетательных скважинах. Этим требованиям в наибольшей степени отвечает метод избирательной изоляции газа составами на основе асфальтено-смолистых веществ (АСВ). Результаты проведенных исследований и промысловых испытаний указывают на принципиальную возможность применения растворов асфальтено-смолистых веществ для ограничения притока газа в скважинах месторождения Гойт-Корт, выравнивания профилей притока и увеличения нефтеотдачи пласта.

Ключевые слова: асфальтено-смолистых веществ (АСВ), переходная зона, селективная изоляция, прорыв газа, коэффициент светопоглощения.

Залежь нефти XXIII пласта месторождения Гойт-Корт разрабатывалась наиболее эффективным для этих геолого-промысловых условий методом – закачкой газа под высоким давлением. Однако слоисто-неоднородное строение пласта приводит в ряде случаев к неравномерности охвата пласта вытеснением, обуславливая прорыв газа по высокопроницаемым пропласткам [1]. В связи с этим селективная изоляция притока газа по высокопроницаемым пропласткам является весьма актуальной задачей.

Известные в настоящее время методы селективной изоляции притока газа, в зависимости от механизма закупорки пласта, можно разделить на три группы:

1. методы, основанные на образовании в газонасыщенной части пласта осадков в результате физико-химических превращений закачиваемых реагентов при контакте с газом;
2. методы, основанные на закачке реагентов, образующих в газонасыщенной части пенные системы;
3. методы, основанные на избирательной закачке тампонирующих материалов в газонасыщенную часть пласта с помощью пакера.

К первой группе относятся методы, предусматривающие применение реагентов, осаждающихся при смешении с газом. В качестве таких реагентов рекомендуется использование дегтя в растворителе, раствора асфальтено-смолистых веществ вязкостью 100 мПа·с в пластовой нефти, загущенной полутвердым полиэтиленом.

Применение второй группы методов основано на, снижении фазовой проницаемости пласта для газа в результате образования стабильной пены (в зависимости от концентрации растворов ПАВ). С целью выравнивания фронта вытеснения жидкости газом в слоисто-неоднородных пластах рекомендуется закачка 2-10% растворов ПАВ. В случае применения кремниевых пен рекомендуется бензолрастворимый кремнийорганический сополимер концентрации от 0,5 до 3%.

К третьей группе относятся методы, которые предусматривают применение:

гидрофобного тампонажного материала на основе алкилрезорциновой эпоксифенольной смолы и отвердителя;

гелеобразующей полимерной жидкости, включающей смесь гидролизованного полиакрилонитрила (гипана), формалина и соляной кислоты;

цемента, состоящего из комбинации закупоривающих реагентов и полимеров.

Однако перечисленные реагенты не обладают селективными свойствами в результате чего проницаемость снижается как в газонасыщенной, так и нефтенасыщенной части пласта. В связи с этим их применение возможно при изоляции нефтенасыщенной части пласта пакером.

Анализ геолого-физических свойств XXIII пласта месторождения Гойт-Корт и работ по воздействию на пласт позволили сформулировать основные требования [2, 3], предъявляемые к изолирующим материалам и технологии их применения:

- в условиях низкопроницаемых и высокозаглинизированных коллекторов наиболее перспективно применение легкофильтрующихся изолирующих составов, которые после закачки в пласт создают дополнительные гидравлические сопротивления в газонасыщенных зонах за счет избирательного образования твердых осадков, и проявления структурно-механических свойств;
- малые толщины продуктивных пропластков и затрудненная гидродинамическая связь между ними указывают на целесообразность при проектировании обработок исходить из необходимости закупорки
- газонасыщенного пропластка по всей его толщине;
- глубина закупорки газонасыщенного пропластка должна определяться с учетом предотвращений разрушения изолирующей перегородки под действием перепада между пластовым и забойным давлениями,

Для повышения эффективности работ по предотвращению и ликвидации прорывов газа по относительно высокопроницаемым пропласткам целесообразно с закупоркой этих пропластков в добывающих скважинах проводить работы по ограничению поступления в них газа в нагнетательных.

Из методов первой группы в наибольшей мере перечисленным требованиям отвечает метод изоляции газа раствором асфальтено-смолистых веществ (АСВ). В качестве АСВ можно использовать высокоокисленные битумы, включающие асфальтенов – 36,8 %, смол – 30,5%, масел 32,7%.

В качестве растворителя рекомендуется использовать ароматические углеводороды – б утил-бензольную или бензол-толуольную фракции. Лабораторными исследованиями установлено, что при температурах порядка 100°С можно получить концентрированные (до 50%) растворы битума.

Известно [2], что при контакте низкомолекулярных углеводородов с растворами АСВ происходит осаждение асфальтено-смолистых веществ. Причем с повышением температуры осаждаются все более и более высокомолекулярные соединения. В связи с тем, что низкие фильтрационные свойства XXIII пласта ограничивают применение концентрированных растворов АСВ для изоляции газа, представляет интерес использование низкоконцентрированных растворов с вязкостью, соизмеримой с вязкостью воды или незначительно ее превышающей. Для этого проведены лабораторные исследования степени осаждения АСВ из низкоконцентрированных растворов при вытеснении их ГВД.

Опыты проводили на модели трещиноватой среды, описанной в [4], при температуре 95 °С и давлении 30 ÷ 35 МПа. В качестве АСВ использовался высокоокисленный битум марки X-I, а в качестве растворителя толуол и готовили раствор с концентрацией АСВ 5 %. При проведении опытов через модель пласта объемом 600 мл прокачивали приготовленный раствор АСВ. Затем производилось вытеснение этого раствора газом. По окончании опыта модель промывали чистым толуолом с целью оценки степени осаждения АСВ.

Поскольку осаждение смол и асфальтенов приводит к осветлению раствора, в качестве параметра, контролирующего ход процесса, может служить коэффициент светопоглощения ($K_{сп}$). По мере сбора в сепараторе пробы раствора анализировали на фотоэлектроколориметре. Вытеснение велось до тех пор, пока на выходе не появлялся чистый газ. До начала эксперимента определили $K_{сп}$ исходного раствора. Результаты эксперимента представлены на рис. 1, где показано изменение $K_{сп}$ в процессе отбора проб раствора.

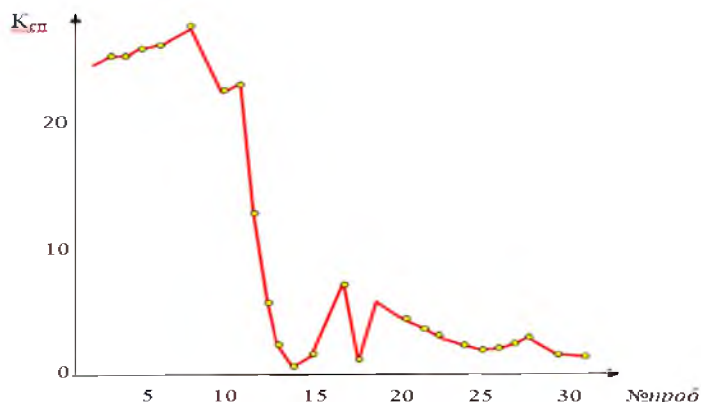


Рис. 1. Изменение содержания АСВ в растворе толуола при вытеснении газом высокого давления

При этом номера проб 1+7 соответствуют прокачке 1740 мл 5% раствора АСВ, проб 8 + 17 – вытеснению раствора из модели газом в объеме 78800 мл и номера проб

18 ÷ 32 – прокачке чистого толуола, $K_{сп}$ исходного 5% раствора равен 30,0.

Видно, что в процессе прокачки 5% раствора АСВ значение $K_{сп}$ уменьшается и становится ниже $K_{сп}$ исходного раствора, что указывает на некоторое осаждение АСВ. При вытеснении раствора газом, в начальных пробах отмечено снижение $K_{сп}$ до 22,8, соответствующего концентрации АСВ – 3,8%, а

в последующих пробах, отобранных с момента прорыва газа, концентрация АСВ снижается до 0,42%.

Для определения количества осажденного АСВ в модели прокачали чистый толуол. Средняя концентрация раствора АСВ в отобранном объеме (2320 мл) составляет всего 0,3÷0,4%, что указывает на незначительное осаждение АСВ в пласте. Но при этом отмечено, что в начальный момент прокачки толуола через модель при перепаде давления до 21 МПа фильтрация отсутствовала. Это обусловлено снижением проницаемости пласта.

Второй опыт проводился также с 5% раствором АСВ, но, в отличие от первого опыта с предварительно растворенным газом. Раствор АСВ с растворенным газом из буферной емкости подавался при давлении 30 ÷ 35 МПа в модель и прокачивался при постоянном перепаде давления.

Изменение $K_{сп}$ проб в процессе прокачки показано на рис.2. Видно, что значение $K_{сп}$ ниже исходного (30,0) в 2-15 раз, что указывает на значительное осаждение высокомолекулярных соединений из раствора. Однако характер изменения кривой, где снижение $K_{сп}$ чередуется с резким увеличением, указывает на вынос части АСВ, осажденного в модели.

Из результатов лабораторных исследований следует, что при смешивании 5% раствора АСВ с углеводородным газом при температуре 95°C и давлении, 30÷35,0 МПа, концентрация АСВ в растворе снижается до 0,1÷2,5%, что указывает на их осаждение. Это приводит к снижению проницаемости пласта. Но при этом отмечено, что при перепадах давления 3,0 МПа наблюдается частичный вынос осажденного АСВ.

Таким образом, закачка растворов АСВ позволяет получить в загазованном пропластке осадок высокомолекулярных соединений [4, 5]. При запуске скважины в работу вследствие суффозии твердые частицы АСВ могут образовать в поровом пространстве изолирующие перегородки, ограничивающие приток газа к забою скважины.

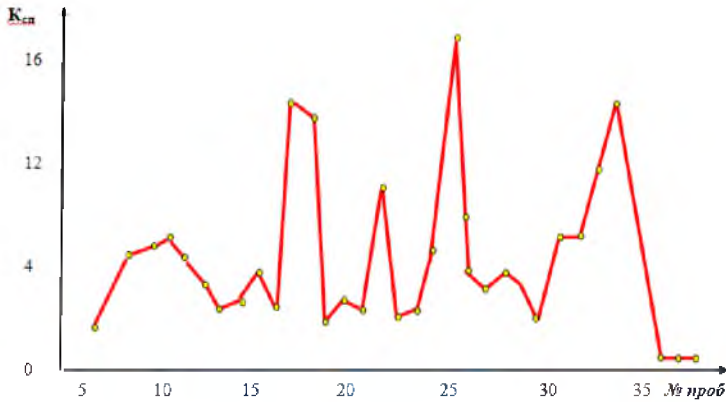


Рис. 2. Изменение содержания АСВ в газированном растворе толуола при вытеснении газом высокого давления

С целью изучения практической возможности изоляции притока газа раствором АСВ проведена опытная обработка на скважине №75 месторождения Гойт – Корт. Глубина скважины – 3240 м, интервал перфорации 3204-3110 м, забойная температура – 95°C, продуктивный объект – XXIII пласт, коллектор пористый. Скважина введена в действующий фонд в 1981 г. с дебитом нефти 15

т/сут и газовым фактором $146 \text{ м}^3/\text{м}^3$. В связи с тем, что газовый фактор увеличился до $2100 \text{ м}^3/\text{м}^3$, с 1983 г. скважина переведена в наблюдательный фонд.

Ниже приведены результаты контрольных замеров, выполненных в процессе эксплуатации скважины (в разные временные отрезки) на штуцерах 4 и 5 мм (табл. 1).

Таблица 1

Результаты контрольных замеров на скважине №75

Дебит	Газовый фактор
$Q_{\text{ж}} = 6,4 \text{ т/сут.}$	$\Gamma_{\text{ф}} = 6250 \text{ м}^3/\text{т}$
$Q_{\text{ж}} = 3,2 \text{ т/сут.}$	$\Gamma_{\text{ф}} = 11885 \text{ м}^3/\text{т}$
$Q_{\text{ж}} = 7,8 \text{ т/сут.}$	$\Gamma_{\text{ф}} = 5279 \text{ м}^3/\text{т}$

Как видно из таблицы даже в условиях испытания скважины с низкими отборами (штуцерами) газовые факторы достаточно высокие и колеблются в пределах 5279 до $11885 \text{ м}^3/\text{т}$, что свидетельствует о возможности прорывов газа при низких депрессиях на ПЗП [6, 7].

С целью изучения поглотительной способности пласта и возможности изоляции газопритоков в скважину № 75 закачали $39,5 \text{ м}^3$ воды. Однако в результате этой операции приток газа в скважину не уменьшился. Технология проведения опытной обработки призабойной зоны с использованием для блокирования газовых зон раствора АСВ, заключалась в последовательности следующих операций.

Приготовили на скважине 9 м^3 5% раствора АСВ содержащего $8,3 \text{ м}^3$ бензолтолуольной фракции, 50 кг аминов C_{17-20} и 700 кг высокоокисленного битума (процесс велся при непрерывном перемешивании исходных компонентов).

Закачали в скважину обратной промывкой 54 м^3 водного раствора хлористого кальция плотностью 1150 кг/м^3 , а затем прямой циркуляцией закачали в НКТ $8,5 \text{ м}^3$ приготовленного раствора АСВ, $0,5 \text{ м}^3$ воды и закрыли затрубное пространство скважины. На продавку раствора прокачали в НКТ $4,9 \text{ м}^3$ воды с расходом 2 л/с при предельных давлениях $P_6 = 40,0 \text{ МПа}$, $P_{\text{затр}} - 30,0 \text{ МПа}$. Из-за низкой приемистости пласта на поглощение удалось закачать всего $2,15 \text{ м}^3$ раствора АСВ из $8,5 \text{ м}^3$. Вследствие чего оставшийся в НКТ раствор вымыли водой обратной промывкой с противодавлением на пласт.

Скважину освоили путем закачки 45 м^3 нефти. В течение 10 суток наблюдалось постепенное увеличение устьевого давления с 9,0 до $22,6 \text{ МПа}$, после чего скважину закрыли, при этом из скважины отобрано около 100 т жидкости. Анализ результатов обработки указывает на некоторое снижение проницаемости пласта за счет осаждения АСВ из раствора. Но из-за незначительного объема закачанного раствора, видимо, глубина тампонирующего оказалась недостаточной, вследствие чего произошло выдавливание изолирующей массы из пласта.

Таким образом, результаты проведенных исследований указывают на принципиальную возможность применения растворов асфальтено-смолистых веществ для ограничения притока газа в скважинах месторождения Гойт-Корт. Однако научно-исследовательские работы в этом направлении следует продолжить.

Литература

1. Дегтярев Н.М., Багов Р.А., Коновалов В.И., Бородин В.Я., Артюхович В.К. Исследование процесса закачки углеводородного газа под высоким давлением в XXIII пласт месторождения Гойт-Корт ЧИАССР // Вопросы повышения эффективности добычи нефти: Сб. научн. тр. / СевКавНИПИнефть. Вып.44. Грозный, 1986. С. 5-9.
2. Технологические принципы проектирования и разработки глубокопогруженных залежей с использованием естественной пластовой энергии / К.Э. Джалалов, В.В. Колбикова, В.С. Колбиков // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть», 2007. С. 39-45.
3. Закачка газа высокого давления – высокоэффективная технология разработки объектов со сложной геологической характеристикой / И.В. Кулешиков, В.В. Колбикова, О.Н. Данильченко, В.С. Колбиков // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть», 2007. С. 54-58.
4. Саркисов В.Л. Исследование влияния осаждения высокомолекулярных соединений на нефтеотдачу при вытеснении нефти легкими углеводородными растворителями // Азерб. нефтяное хоз-во. 1981. № 7. С. 51–54.
5. Майдебор В.Н., Чижов С.И. Некоторые вопросы исследования движения однородных и неоднородных жидкостей в трещиноватой среде//ТНТС ВНИИОЭНГ. М., 1973. С.40.
6. Эффективность метода вытеснения нефти газом высокого давления применительно к условиям XXIII пласта чокракского горизонта месторождения Гойт-Корт / Бакраев М.М., Абдулхаджиев Т.А.А., Ушаков И.В., Умалатов С.С. // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МИЛЛИОНЩИКОВ-2022» с международным участием, 19-20 мая 2022 г. Россия, Чеченская Республика, ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный. С. 183-190.
7. Bakraev M.M., Buluykova F.Z., Dumler E.B. Analysis of the effectiveness of the technological system for the development of the XXIII layer of the Goyt-Court IOP. Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 981(3), 032056.

ГРАДИЕНТЫ ДИНАМИКИ МИГРАЦИИ ФЛЮИДОВ УВ ЗАЛЕЖЕЙ ВЕРХНЕМЕЛОВОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВУАРА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА КАК ФАКТОР ПЕРСПЕКТИВНОСТИ НОВЫХ СТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

© Т.Х. Бачаева, Г.Н. Прозорова

КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН, Грозный

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

Аннотация. В статье о перемещении флюидов УВ в структурно-тектонических зонах ТКП отправным положением принято влияние на динамику напряжённого состояния антиклинальных структур-ловушек. Определённым критерием миграции УВ служит заполненность ловушек верхнемелового природного резервуара ТКП в виде морфологических показателей ловушки и залежи, а также гипсометрии границ залежи и замкнутой структуры. Скопления, заполнившие антиклинальные ловушки "под замок" и скопления с частичным заполнением, - разделились по тектоническому признаку. Интегральный показатель "проводимости" трещинных коллекторов карбонатных пород оценен по скорости продвижения ТВНК на этапе разработки залежей. Профиль изменения скоростей за длительные периоды извлечения нефти отражают общую картину неоднородности недр. Влияние смены вектора региональных уклонов, как показано на реальном продольном направлении, вызывает переориентацию флюидопотока и значительные относительные изменения физико-химических свойств и фазового состава скоплений.

Ключевые слова: Терско-Каспийский прогиб, нефтегазоносность, тектонический фактор, флюидодинамический объект, углеводороды.

Введение

Терско-Каспийский прогиб (ТКП) отличается уникальной нефтегазоносностью: широким развитием выходов на поверхность нефти и газа; большим стратиграфическим диапазоном нефтегазоносных толщ; крупными нефтяными месторождениями. Богатейший опыт разработки залежей (уже более 120 лет работы) с огромной разноплановой информацией. Часть наших методических подходов обработки данных связана с анализом природно-техногенных процессов и извлечением геолого-генетической информации. Ранее проанализированы этапы разработки залежей верхнего мела на начальных *естественных режимах*; накопленные объёмы притоков нефти по залежам составили 19; 15,5; 8; 6 и менее млн.т. Не нашлось пока данных о динамике состава и свойств поступавшей нефти. Годовые и среднегодовые скорости притока нефти достигали двух с лишним млн.т., объёмы нефтей на единицу давления изменялись от 700-600 до 200 тыс.т. Относительная энергия недр месторождений районов ТКП, возможно, найдёт свою оценку.

Объектом обзора и анализа следующего шага стала динамика текущих водонефтяных контактов в периоды разработки залежей и влияние природных оснований.

Осадочно-породные комплексы разрезов ТКП содержат богатые нефтеносные резервуары с ловушками преимущественно или почти исключительно антиклинального (структурного) типа; это сложная

тектонофизическая деформация пород, значительно изменяющих их физические свойства. Напряжённая термобарическая обстановка флюидных систем природного резервуара в целом, ловушек резервуара, также связана с тектоническими воздействиями.

Тектонический фактор играл основную роль в формировании нефтегазоносности, влиял на все основные факторы формирования и пространственного размещения скоплений нефти и газа.

Общий облик тектоники и всех сложнейших детали строения ТКП, как принято и обосновано в определённой мере [1] созданы в режиме волновых тектонических движений. Элементы структурно-тектонических оснований некоторых положений описаны в названной схеме.

Скопление нефти (газа, конденсата) на современном этапе изучения рассматривается как сложный флюидодинамический объект [2-4, 7, 17]. Предметами исследования становятся и сами скопления, и флюидопотоки или иные формы флюидных перемещений, сформировавших залежи. Имеет большое значение направление движения, скорость перемещения; источники флюидов; фазовое состояние, общая продолжительность процесса формирования залежи; процессы переформирования скоплений: изменение состава и свойств УВ, восполнение объёмов УВ скоплений.

Миграция флюидов в коллекторах природного резервуара отличается масштабами проявления – в ловушках резервуаров, в близком от них пространстве, в зонах между ловушками; описывается многочисленными показателями динамичности, среди которых – скорости, градиенты изменений и перемещений.

Факты о динамике флюидов

В ТКП отмечены явления активного современного перемещения газа, нефти, сходные с такими же процессами в залежах других регионов [5, 18]. Вероятны различные физико-химические преобразования, их сопровождающие.

На месторождении Махачкала-Тарки в процессе разработки верхнемеловой залежи значительно изменялись состав и свойства попутных газов. Удельный вес газов (по воздуху) – 0,6-1,313; содержание (объёмные %) компонентов: метана – 88,93-28,76; этана – 5,81-25,28; пропана – 1,74-23,95; бутана – 0,69-5,06; углекислого газа – 1,62-3,51, сероводорода – 1,36-2,67 г/100 м³ [20]. Нефти легкие (0,8188-0,8452 г/см³). Компоненты нефти заметно изменяется по содержанию: фракций до 350°C, от 67 до 73 об. %; силикагелевых смол – от 3,52 до 7,04%; асфальтенов – от 0,60 до 1,18%; парафина – от 3,08 до 5,13%; серы – от 0,10 до 0,16%. По групповому углеводородному составу нефти и конденсаты относятся к ароматико-нафтено-метановому типу [22].

На глубине 3505 м при испытании верхнемеловых известняков был получен газонефтяной промышленный фонтан. Начальное пластовое давление 48,0 МПа, температура – 152 °С, газовый фактор – 1200 м³/т. - газоконденсатная залежь с нефтяной оторочкой (периклиналь Махачкалинской структуры). На Таркинском участке - нефть с газовым фактором от 200 до 330 м³/т. [20]. Контур нефтеносности является единым для всей Махачкала-Таркинской структуры, осложненной двумя сводами и предполагает сложное соотношение фазового состояния флюидов.

Элементы структурно-тектонических оснований

Нефтегазоносность верхнемелового стратиграфического комплекса ТКП начиналась с поисков новых продуктивных толщ на смену среднемиоценовому, с научного обоснования гидрогеологического, тектонического, литолого-петрографического, стратиграфического критериев продуктивности в, подтверждённой нефтегазоносности верхнего мела в Предкавказье и открытия первой нефтяной залежи в 1952 г. Селли в Дагестанском секторе ТКП [11, 13, 14].

Было открыто большое количество залежей нефти и газа в антиклинальных складках (осложнённых продольными, диагональными, поперечными разрывами); антиклинальные складки как объекты интенсивных локальных тектонических напряжений, в общей системе складчатости и дизъюнктивов ТКП, могли формировать пути проникновения активных флюидов из нижних структурно-тектонических комплексов коры или из глубоких зон мантии. Эти процессы совмещались с образованием эффективных ловушек УВ, коллекторских свойств пород. Ловушки часто формировались в составе антиклинальных зон и их показатели зависели от позиции в зоне со сложной внутренней структурой; проходило усложнение складок; заложение дополнительных путей движения флюидов из глубоких зон коры [10].

Тектонические преобразования сложных породных комплексов ТКП проходили в режиме волновых движений, с комплексом волн различной амплитуды, длины и других параметров. Такой прикладной подход к тектоническим схемам принимается на фоне общей главной, традиционной тектонической схеме заложения и дальнейшего развития ТКП в тесной генетической связи с Большим Кавказом, его геосинклинальным развитием, этапами инверсии и орогенеза.

Сунженский, Терский, Притеречный "антиклинории" в целом, разделяющие их синклинальные зоны; осложняющие их продольные антиклинальные подзоны; локальные складки – далеко не полный перечень структурной реализации возможного волнового режима. Прикладные следствия его – это ступени складчатости на дискретных высотных уровнях – на Большом Кавказе и в самом ТКП. Зоны совмещения волн деформаций разных размеров, в которых особенно активны движения флюидов и мн. др. Научно-методические основы волнового режима изложены в работах ВСЕГЕИ [12].

Вследствие проявления позднемиоценовых-антропогенных фаз складчатости и тектогенеза сформировался близкий к современному облик тектонических структур: локальных складок ТКП [21]. Сформировалось субширотное, кавказское простираие складок и протяжённых антиклинальных зон, субширотная ориентировка границ тектонических элементов [8].

Вместе с тем, всегда заметна поперечная зональность, которая проявилась, например, в простираии антиклинальных зон – Западной, Восточной, Приморско-восточном секторе ТКП, ясно проявилась "каспийская" направленность.

Схематически данный пример структурных преобразований поперечной направленности есть в таблице-схеме продольного профиля Терской антиклинальной зоны (таблица 1).

Таблица 1

Таблица-схема сравнения: относительного положения сводов верхнемеловых складок предакчагыльского и современного уровней

	Ахловская	Малгобекская	Эльдаровская	Хаян-Кортская	Брагуновская	Гудермесская	
				Майкоп			
			Караган-Чокрак		Караган-Чокрак	Караганский-Чокракский	
		Миоцен					
	Плиоцен						
Свод К ₂		-2200					
	-2600						
				-2800			
			-3400				
					-3880		
						-4800	
			Заманкульская	Карабулак-Ачалукская	Серноводская	Старогрозненская	Октябрьская
				Майкоп			
				-1100		Сармат	
			-1300		-2200		
						-3600	
							-4000

Складки зоны, от Хаян-Корта до Ахлова, от Хаян-Корта до Гудермеса – в предакчагыльское время, по условной гипсометрии, были различимы слабо и могли быть описаны пологим, асимметричным "поднятием" с относительно высоким Хаян-Кортом. В отличие от этого, гипсометрия сводов современных верхнемеловых складок образовала совершенно другую схему. Большая часть складок погрузилась на восток, на первые тысячи метров; самую высокую гипсометрию заняла крупная Малгобек-Вознесенская складка-ловушка с нефтегазоконденсатной залежью; с соседними нефтяными залежами, и с востока, и с запада. Изменение газового фактора нефтей залежей Терского продольного профиля, вписалось в современный тренд увеличения на восток, к максимальному значению в Петропавловскрой синклинали. На Малгобеке ВНК наклонён с запада на восток на 40 м (от уровней -2510 м и до -2650 м) [9].

Сравнения (и элементы реконструкции) на отрезке Малгобек-Хаян-Корт и восточнее: в предакчагыльский максимум Хаян-Корт был уровнем выше Малгобека, отличался значительной активностью, аномальными значениями ряда показателей. Нефть относительно лёгкая, $0,817 \text{ г/см}^3$ в сравнении с соседними залежами. Другие показатели особенные: вязкость $0,37 \text{ мПа} \cdot \text{с}$., парафина 4,9%, серы 0,12 %, растворенный газ – жирный, метана до 70,6 % [16].

На продольном геохимическом профиле Терской зоны А.Н. Резникова, 2008, параметр сохранения удельных запасов на Хаян-Корте образует центральный максимум, а также аномальные значения разных знаков многих геохимических показателей.

Относительно более активная связь с глубокими зонами привела к притоку лёгких УВ сложного состава. Приведённые описания говорят об интенсивном перемещении флюидов и потребности реконструкции фазово-генетических типов скоплений на современном этапе, с учётом ретроспективных построений.

По происхождению, комплексе скоплений углеводородов ТКП, по оценке характера УВ и уникальных условий их проявления, как один из гипотетических подходов, может быть связан с глубинной нефтью, сообразуясь с гипотезой Д.Н. Тимофеева (2018, 2021) о глубинной нефти. «...можно предположить, что вся нижняя поверхность земной коры представляет из себя набор бассейнов сбора силановой нефти, поднимающейся по профилю в сейсмически активные районы, а также районы залежей углеводородов» [19].

Именно с такого типа источником УВ вероятнее всего можно связать поступление флюидов в залежи Терско-Сунженской области. Любые складчато-тектонические проявления, сопровождающиеся подъёмом и пликативной и дизъюнктивной деформацией толщ, активизацией разломов, трещин, разрывов и всех других проводящих путей флюидов могло, приводить к доступу к бассейнам активной глубинной субстанции, содержащей и УВ.

Признаки динамики

Флюиды, заполняя антиклинальную ловушку, и в соответствии с удельным весом составляющих, разделяются на фазы и зоны углеводородов и воды. Происходит процесс, в трещинно-каверновом пространстве карбонатного неоднородного коллектора, в пространстве с беспрепятственным, в итоге, проявлением гравитационного расслоения флюидов.

Положение границы раздела УВ-вода (нижней границы залежи; ВНК, ГВК) относительно границы замкнутой структуры-ловушки (её структурного порога, "шлюза") выяснялось на данных залежей верхнемелового резервуара.

Нижняя часть антиклинальной ловушки, как и вся складка, является сложным деформационным элементом, с изменчивым вектором кривизны элементов пласта, со своими схемами трещинной пористости. Эта зона, предположительно, может регулировать величину и фазовое состояние завершающих притоков флюида в ловушку; на её свойства влияет структурное положение порога ловушки – на периклинали или крыльях.

Замкнутая антиклинальная ловушка, в общем структурном плане ассоциаций складок, отделена структурным переходом (седловиной или иной формой) от соседних объектов. Структурные пороги ("шлюзы") складок-ловушек могут существенно менять положение и форму в периоды региональных структурных перемен. Флюиды, в том числе и УВ, мигрирующие по коллекторам природного резервуара, заполняют замкнутые ловушки до структурного порога и перемещаются далее по наиболее вероятным направлениям к следующим ловушкам или к возможным барьерам различных типов. Степень заполнения ловушки УВ является информативным знаком многих показателей миграции – комплекса движущих сил (перепада давления, сил всплывания); свойств проницаемости среды для флюидов, в комплексе со многими другими данными.

Схема развития структурных ловушек, геологическая история и возникновения и дальнейшей смены формы, размеров, нарушенности,

тектонической позиции является часто определяющим критерием в образовании залежей.

Пространственное размещение ловушек и их залежей играют важную роль и относятся к основаниям для зональности залежей и приближения к построению адекватной модели формирования залежей. Прослежена заполненность УВ антиклинальных ловушек верхнемелового резервуара Терско-Сунженской НГО. Оценка выполнена с доступной точностью, с учётом достоверности структурных построений, в том числе сейсмоки; учитывалась достоверность приёмов определения ВНК. Использованы два условных положения – нижняя граница залежи близка к структурному порогу ловушки или расположена существенно выше порога.

В первом случае ловушка заполнена нефтью, теоретически, мигрирующие УВ могли продвигаться далее по путям проницаемой среды коллектора.

Вторая позиция – граница залежи выше (существенно выше) порога замкнутой ловушки.

Сведения о позиции, о составе и свойствах скоплений нефти в структурной ловушке – это данных о результатах бурения скважин, вскрывших залежи, о схемах опробования продуктивных пластов, о температурах и давлениях в толщах пород; краткие описания характерных отложений верхнего мела.

В трещинных породах плотных карбонатных толщ верхнемеловых отложений большинство моделей залежей резервуаров выстроены по схеме распределения флюидов в соответствии с гравитационной дифференциацией с чёткими границами нефти и воды.

Поверхности водонефтяных контактов описаны плоскими, горизонтальными или наклонными. Если структура-ловушка разбита разрывами на блоки, в них ВНК моделируется как сочетание нескольких разно уровневых поверхностей.

Вместе с тем, по З.Г. Борисенко [6], нефтегазонасыщение трещинных коллекторов, кроме преобладающего варианта "с классическим разделением нефти и воды в резервуаре и нефтеводонасыщением всей продуктивной толщи залежи". Выделен нефтеводяной тип залежи.

Распределение структур-ловушек, заполненных УВ-флюидами, сводится, в целом, к зональности тектонической, на уровне антиклинальных зон Сунженской, Терской, Притеречной и разделяющих синклиналей. Ловушки, заполненные условно под замок, с большой вероятностью могут указывать на области интенсивного движения УВ и УВ-газа прежде всего, в Петропавловской синклинали, на Ханкальском месторождении; газовый фактор нефти увеличился здесь до 1200 м³/т. Новые сейсмические структуры синклинальной зоны могут содержать залежи с такими же особенностями.

Далее на север верхнемеловые залежи с уровнями ВНК, близкими к порогу, отмечаются на большей части Терской зоны – Брагунская, Эльдаровская, Горячесточненская, Гудермесская, Северо-Брагунская. В то же время верхнемеловая залежь Хаян-Корта, в связи с аномальными особенностями развития и строения складки, имеет нижнюю границу залежи значительно выше структурного порога.

Далее на север Притеречная зона с залежами Правобережного, а также Червленного скопления продолжают отмеченное распределение.

В южном направлении от Петропавловской синклинали, в залежах Сунженской зоны нижние границы не достигают структурных порогов ловушек – Октябрьская, Старогрозненская залежи.

Схема зональности строения залежей имеет общие черты с распределением значений газового фактора верхнемеловых нефтей.

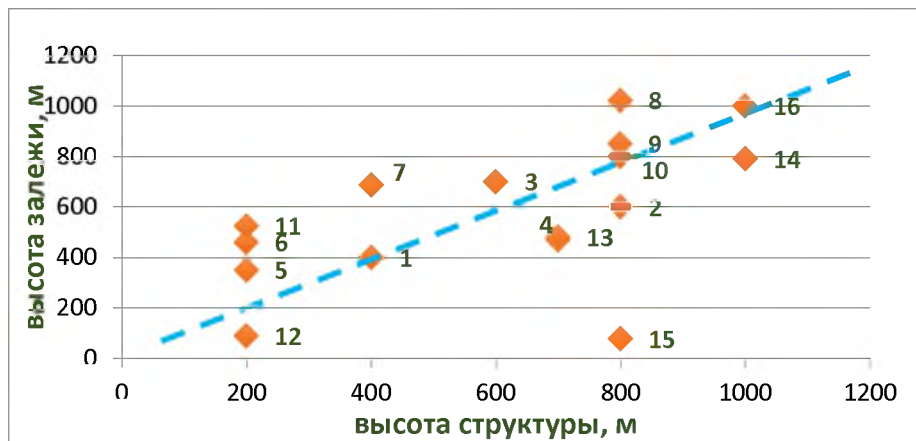


Рис. 1. График зависимости высоты структуры от высоты залежи верхнемеловых отложений ТКП

Условные обозначения, месторождения: 1 – Андреевское, 2 – Малгобек-Вознесенское, 3 – Эльдаровское, 4 – Хаян-Кортское, 5 – Минеральное, 6 – Северо-Минеральное, 7 – Горячеисточенское, 8 – Брагунское, 9 – Северо-Брагунское, 10 – точка № 1, 11 – Западно-Гудермесское, 12 – Восточно-Гудермесское, 13 – Карабулак-Ачалукское, 14 – Старогрозненское, 15 – Октябрьское, 16 – точка № 2

На графике (рис. 1) – соотношение амплитуд замкнутых ловушек и высот залежей верхнемелового резервуара проявляется ряд особенностей. В центре графика – линия равных значений показателей – как граница зональности. На границе и выше расположены залежи, заполненные под замок; по фазовому составу нефтяные и нефтяные залежи с нарастающими и большими газовыми факторами, усиливающими движение и энергию потока. Необходимы более тонкие критерии, включающие состав УВ – для разграничения на график эти нефти. Ниже граничной линии расположены залежи, частично заполнившие ловушки от нефтяные залежи. В зоне также оказалась крупнейшая нефтегазоконденсатная залежь Малгобек-Вознесенская, важным отличием которой является самая высокая современная гипсометрия свода верхнемеловой ловушки.

ТВНК разработки и природные аспекты

Информация о движении текущих водонефтяных контактов (ТВНК) в процессе разработки верхнемеловых залежей и сопровождающих процессах явилась важным объектом изучения. Исходные данные представлены в производственных отчётах, таблицах, заключениях. В результате анализа данных исходные таблицы дополнены столбцами цифровых экспериментов, с новыми показателями: продолжительностью этапов перемещения, временем с

начала разработки (годы); амплитудой (м.) и знаком, скоростью перемещения ТВНК (м/год).

Фиксируются относительные *снижения* гипсометрии ТВНК (от единиц до нескольких сот метров, в таблице обозначены с отрицательным знаком), на фоне целевого повышения контуров залежи в связи с извлечением нефти. Построены диаграммы скорости перемещения ТВНК (рис. 2-6, таблица 2).

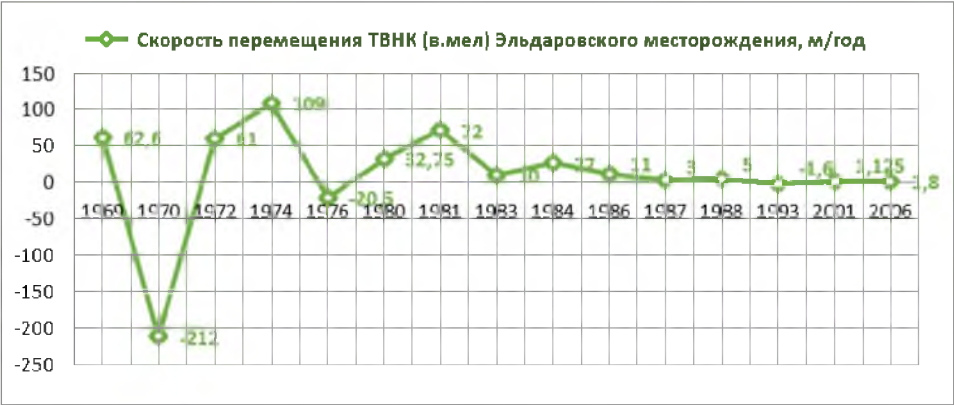


Рис. 2



Рис. 3

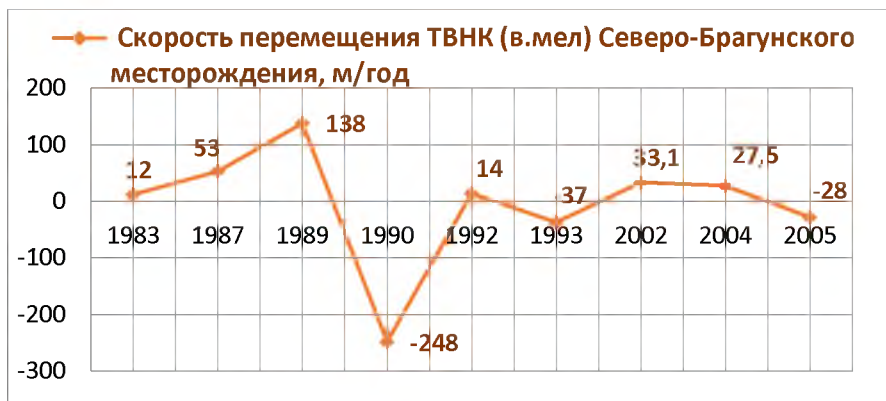


Рис. 4



Рис. 5

Таблица 2

Показатели перемещения текущих ВНК в период разработки залежей

Месторождение, залежь	НВНК		ТВНК		Продолжительность, годы	Амплитуда, м	Скорость, м/год
	Год	А.о.	Год	А.о.			
Правобережное, в.мел	1972	-4850	1984	-4720	12	130	10,83
			1993	-4690	9	40	4,43
			1998	-4850	5	-160	-32
			2006	-4684	8	166	20,75
			2010	-4837	4	-153	38,25
					38	13	0,34
Хаян-Корт, ниж. мел	1977	-3760	2001	-3487,2	24	272	11,33
			2002	-3387,4	1	99,8	99,8
			2003	-3381,2	1	6	6
			2004	-3378,6	1	3	3
			2005	-3398,5	1	-19,9	-19,9
			2006	-3399,7	1	0	0
			2007	-3399,7	1	0	0

Месторождение, залежь	НВНК		ТВНК		Продолжительно сть, годы	Амплитуд а, м	Скорост ь м/год
	Год	А.о.	Год	А.о.			
			2010	- 3392,7	3	-7	-2,33
					33	368	11,15
в.мел	195 9	- 323 0	2007	-2835	48	395	8,23
	196 8	- 375 0			9	-520	-57,78
Старогрозненско е, в.мел	196 3	- 425 0	1986	-4250	23	0	
н. мел	197 3	- 508 5	1977	-4700	4	385	96,25
			1986	-4700	9	0	0
			1991	-4885	5	185	37
			2006	-4420	15	465	31
					33	665	20,15
Эльдаровское, в.мел	196 4	- 406 0	1969	-3747	5	313	62,6
			1970	-3959	1	-212	-212
			1972	-3837	2	122	61
			1974	-3619	2	218	109
			1976	-3680	2	-41	-20,5
			1980	-3549	4	131	32,75
			1981	-3477	1	72	72
			1983	-3457	2	20	10
			1984	-3430	1	27	27
			1986	-3408	2	22	11
			1987	-3405	1	3	3
			1988	-3400	1	5	5
			1993	-3408	5	-8	-1,6
			2001	-3399	8	9	1,125
			2006	-3390	5	9	1,8
					42	670	15,05
н. мел	197 6	- 403 0					
Брагунское, в.мел	196 6	- 490 0	1973	-4456	7	444	63,42
			1974	-4401	1	55	55
			1975	-4455	1	-54	-54
			1976	-4415	1	40	40
			1978	-4530	2	-115	-57,5
			1979	-4366	1-	-164	-164
			1980	-4389	1	-23	-23
			1981	-4283	1	6	6
			1982	-4331	1	48	48
			1983	-4203	1	128	128
			1984	-4197	1	6	6
			1985	-4298	1	-1	-1
			1986	-4186	1	12	12

Месторождение, залежь	НВНК		ТВНК		Продолжительно сть, годы	Амплитуд а, м	Скорост ь м/год
	Год	А.о.	Год	А.о.			
			1987	-4099	1	87	87
			1988	-4139	1	-40	-40
			1989	-4108	1	31	31
			1990	-4035	1	73	73
			1992	-4038	2	-3	-1,5
			1993	-4076	1	-38	-38
			1994	-4011	1	65	65
			1995	-3999	1	12	12
			1997	-3988	2	11	5,5
			2004	-3974	7	14	2
					38	926	24,37
Н.мел	1981	-4850					
Правобережное, в.мел	1972	-5300	1982	-5012	10	288	28,8
			1988	-4769	6	243	40,5
			1993	-4726	5	43	8,6
			2002	-4555	9	171	19
			2006	-4530,4	4	24,6	6,15
					34	769,4	22,64
Малгобекское, в.мел	1959	-2570					
Н.мел	1965	-2870					
Заманкульское, в.мел	1958	-1350	1980	-1263 -1359	22	87	3,95
Н.мел	1965	-2400					
Северо- Брагунское, в.мел	1982	-5600	1983	-5588	1	12	12
			1987	-5376	4	212	53
			1989	-5100	2	276	138
			1990	-5348	1	-248	-248
			1992	-5320	2	28	14
			1993	-5357	1	-37	-37
			2002	-5059	9	298	33,1
			2004	-5004	2	55	27,5
			2005	-5032	1	-28	-28
					23	568	24,7
Октябрьское в.мел	1966	-4670	1978	-4492	12	178	14,83
			1979	-4430	1	62	62
			1984	-4360	5	70	14
			1985	-4331	1	29	29
			1991	-4345	6	-14	-2,33
			1992	-4555	1	-210	-210
			1998	-4540	6	15	2,5

Месторождение, залежь	НВНК		ТВНК		Продолжитель- ность, годы	Амплитуд а, м	Скорост ь м/год
	Год	А.о.	Год	А.о.			
			2002	-4217	4	223	55,75
			2006	-4151	4	66	16,5
					40	519	12,98
Н.мел	1980	-4625					
Горячейсточненское в.мел	1968	-4450	1972	-3814	4	636	159
			1976	-3658	4	156	39
			1979	-4293	11	157	14,77
			1980	-3495	4	163	40,75
			1983	-3451	3	44	14,67
			1984	-4300	5	-7	-1,4
			1985	-4208	1	92	92
			1986	-4159	1	49	49
			1990	-4097,5	4	61,5	15,38
			1992	-4034,6	2	63	31,5
			1994	-3945	2	89,6	44,8
			1995	-4113	1	-168	-168
			1996	-4110	1	3	3
			1997	-3978	1	132	132
			2001	-3980	4	-2	-0,5-2
			2006	-3906	5	74	14,8
					38	544	14,32



Рис. 6

Относительное изменение скорости движения контактов, кроме технико-технологических условий разработки залежей, определяется природными особенностями объектов; в частности, интегральными показателями сложности и размеров трещинно-каверновой среды движения флюидов. Диаграммы скоростей перемещения контактов говорят о неоднородности среды. Вертикальное расчленение, толщи-коллектора на интервалы с периодической сменой значений вторичной пористости отмечены как ГИС, так и на

приведённых диаграммах. Подобная периодичность проявляется изменение значений скорости продвижения ТВНК Брагунской залежи (рис. 7).

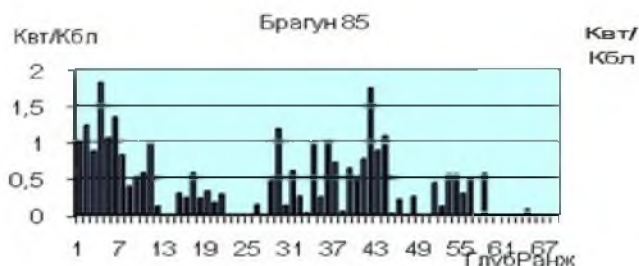


Рис. 7. Цикличность нормированной вторичной пористости скв. № 85 Брагунского месторождения.

Общие спектры изменения скоростей на залежах несут на себе определённое влияние природных факторов, кроме отмеченного трещинного пространства. Разные схемы дислоцированности и условий формирования залежей нефти сказались на таком показателе, как усреднённый уровень скоростей диаграмм; на залежах Брагунской, Северо-Брагунской, Эльдаровской показатель составляет 24-20 м/г; на Октябрьской это 8,5 ед. На этапах естественного упруго-водонапорного режима работы недр; скорость продвижения фронта нефтяных флюидов здесь превышает таковую на этапах ПДД.

Закключение. Формируются многомерные вероятностные информационные образы нефтегазогеологических объектов – в целях использования в технологиях распознавания образов. Последнее связано с решением подобия хорошо изученным районам, зонам, локальным объектам с богатой многогранной нефтегазоносностью. Цифровая, упорядоченная тематическая форма современных технологий направлены на повышение эффективности геологических прогнозов.

В данном случае показатели миграции флюидов УВ в резервуарах с антиклинальными ловушками, зоны сепаратного доступа флюидов в ловушки, относительные интегральные оценки свободы прохождения флюидов в природной среде -дополняют информационные образы формирования залежей. Многие элементы тектоники, или структуры в целом, непосредственно определяющие продуктивность, формировались путём взаимовлияния, минимум двух тектонических ориентировок, проявления каждой из них войдут в информационный образ.

Литература

1. Бачаева Т.Х. Моделирование и прогноз нефтегазоносности верхнемелового комплекса Терско-Сунженского нефтегазоносного района: дис... на соиск. учен. степ. канд. геол.-минер. наук (25.00.12) // Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону, 2008.
2. Бочкарев В.А., Остроухов С.Б. Восполняемые и не восполняемые запасы как следствие многоэтапного формирования месторождений // Нефтепромысловое дело. 2012. № 7. С.4-12.
3. Бочкарев А.В., Бочкарев В.А. Катагенез и прогноз нефтегазоносности недр. М.: ВНИИОЭНГ. 2006. 226 с.

4. Бочкарев А.В., Бочкарев В.А. Сбросы и сдвиги в нефтегазовой геологии. М.: ВНИИОЭНГ, 2012. 224 с.
5. Бочкарев В.А., Манапова К.Т. Восполняемые ресурсы месторождений над зонами генерации углеводородов Южно-Каспийского региона // Нефтепромысловое дело. 2013. №7. С. 8-18.
6. Борисенко З.Г. Новая теория и практика пространственного размещения залежей нефти и газа в трещинных коллекторах // ГОУ ВПО «ПГЛУ». Пятигорск. 2010. 168с.
7. Былинкин Г.П. Моделирование генезиса Карачаганакского месторождения. Геология нефти и газа. 1990. №8. С.24-32.
8. Доценко В.В., Керимов И.А., Бачаева Т.Х. Проблемы ведения геологоразведочных работ на нефть и газ в нижнеолигоценно-верхнетитонском структурном ярусе Терско-Каспийского краевого прогиба // Разведка и охрана недр, №3. 2023. 43-51 с.
9. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики. Изд. 2-е доп. / Под ред. Керимова И.А., Аксенова Е.М. Грозный, Академия наук Чеченской Республики. 2016. 523 с.
10. Муслимов Р.Х. Новый взгляд на перспективы развития супер-гигантского Ромашкинского нефтяного месторождения // Геология нефти и газа. М.: ВНИГНИ-2, 2007. Выпуск № 1. С. 109-113.
11. Несмеянов Д.В. Структурная характеристика и нефтегазоносность Западной антиклинальной зоны Дагестана. М., 1957.
12. Петров О.В. Самоподобие и размерность в диссипативном структурировании Земли// Региональная геология и металлогения. 2003. № 19. 0,8 п.л.
13. Пунанова С.А., Чахмахчев В.А., Зонн М.С., Агафонова З.Г. Геохимия и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений Западного обрамления Прикаспия // Геология нефти и газа. 1996. №7. С. 37-43.
14. Твердова Р.А., Булекбаев Р.А., Дальян И.Б. Геохимические особенности и перспективы нефтегазоносности терригенных нижнекаменноугольных отложений востока Прикаспийской впадины // Отечественная геология. 1992. №10. С. 3-9.
15. Навроцкий О.К., Федоров Д.Л., Сидоров Н.Н. и др. Геохимические особенности формирования Карачаганакского месторождения // Советская геология. 1986. № 12. С. 109-113.
16. Чахмахчев В.А., Крылов Н.А., Твердова Р.А. и др. Комплексные геохимические методы распознавания фазово-генетического типа залежи и характера углеводородного флюида // Геология нефти и газа. 1985. № 12. С. 34-39.
17. Бочкарев В.А., Манапова К.Е., Сербина Е.В. Непрерывное формирование (восполнение) нефтегазоконденсатной залежи месторождения Карачаганак // Труды Международной научно-практической конференции. Ставрополь, 2020. С. 52-59.
18. Савина Ю.А., Зашихин В.В., Степанов А.Н. Экспериментальные, термодинамические и механические аспекты изучения механизма формирования тяжёлых нефтей // Геология и недропользование, №5 (9), октябрь 2022.
19. Тимофеев Д.Н. Природа космических тел Солнечной системы // Издат. решения. По лицензии Ridero. 2021.
20. Шарафутдинов Ф.Г., Мирзоев, Д.А. Алиев Р.М., Серебряков В.А. Геология нефтегазовых месторождения Дагестана и прилегающей акватории Каспийского моря. Махачкала: Дагестанское кн. изд-во, 2001.
21. M.M. Guseinov, V.U. Matsapulin, I.K. Kamilov, E. Kazanova, and S. I. Isakov. Mössbauer Studies of the Spectra of ⁵⁷Fe Nuclei in Late Cenozoic Endogenous Formations of the Eastern Caucasus. published in Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya, 2016, Vol. 80, No. 6, pp. 821-824.
22. Геохимия углеводородов Терско-Каспийского прогиба
geors.ru/media/pdf/22_Yandarbiev.pdf.

К ВОПРОСУ О КАРТИРОВАНИИ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В ПРОЦЕССЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДОИЗУЧЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ 200 000 МАСШТАБА

© Е.В. Белуженко
Сев. Кав. РМСК, Ессентуки

Аннотация. На конкретном примере дискуссии между геологами производственных и научных организаций рассматривается проблема картирования неогеновых отложений Северного Кавказа в процессе геологического доизучения площадей 200 000 масштаба (ГДП-200).

Ключевые слова: Северный Кавказ, неогеновые отложения, дискуссия, картирование, ГДП-200.

К сожалению, в настоящее время, можно констатировать следующий факт: региональная производственная геология России в большинстве своем фактически уничтожена [5]. Ее остатки, в виде печально знаменитой Росгеологии, в медленном темпе, небольшими силами, продолжают на Северном Кавказе ГДП-200 и поисковые работы (преимущественно на рудное золото). Все это происходит на фоне все большей разобщенности между производственными и научными геологическими организациями России. Были времена, когда эти две ветви геологии плодотворно сотрудничали, что приносило только взаимную пользу. В настоящее время этот процесс практически сведен на нет. И не по вине производственной геологии ...

Рассмотрим проблему геологического картирования неогеновых отложений Северного Кавказа в процессе геологического доизучения площадей 200 000 масштаба (ГДП-200). Казалось бы, все, что возможно, по этому поводу уже сказано! [1, 2, 4, 5, 7, 9]. Однако необходимость возврата к данной теме возникла в результате обращения ко мне в начале этого года сотрудника Геологического института РАН Тесакова Алексея Сергеевича с просьбой дать отзыв на свою докторскую диссертацию на тему: «Эволюция фаун мелких млекопитающих и континентальная биостратиграфия позднего кайнозоя юга Восточной Европы и Западной Азии». Работа выполнена в лаборатории стратиграфии четвертичного периода Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН). Диссертация была успешно защищена в апреле 2023 г.

В целом, диссертация является добротной работой, и диссертант вполне заслуживает своей степени. В начале века мы сотрудничали, неоднократно встречались в ГИНе. Руководитель лаборатории стратиграфии четвертичного периода ГИНа А.Е. Додонов, в свое время непосредственный руководитель г. Тесакова, даже был официальным оппонентом на защите моей диссертации в МГУ в 2006 г., посвященной тем же континентальным отложениям неогена Западного Предкавказья [8]. В самой диссертации г. Тесакова неоднократно упоминаются континентальные свиты, выделенные и откартированные нами на многих листах ГДП-200 [10-15]. Часто эти упоминания носят критический характер, которые, преимущественно, вполне укладываются в рамки нормальной геологической дискуссии.

Однако, в тексте диссертации есть отдельные места, с которыми автор настоящей статьи решительно не согласен. Причем речь идет не о вполне естественных и допустимых геологических противоречиях между геологами, а об общей оценке нашей работы по ГДП-200 на Северном Кавказе, касающейся картирования неогеновых отложений. Как известно Геологическое доизучение площадей 200 000 масштаба (ГДП-200) проводится на Северном Кавказе с 1995 г. Оно завершалось подготовкой ко 2-му изданию комплектов Государственных геологических карт (Госгеолкарт-200) и объяснительных записок к ним. В настоящее время эта работа продолжается. Автор статьи принимал участие в этих работах в конце прошлого-начале нынешнего веков [1-16].

Ниже приводятся выписки из текста доклада докторской диссертации г. Тесакова, которые вызывают возражения: [19, С. 99]: «С 90-х годов прошлого века геологические организации, руководствуясь ведомственными инструкциями по производству геолого-съёмочных работ среднего и крупного масштаба (например, Методическое руководство..., 2009, 2017) перешли от традиционного еще со времен Геолкома картирования региональных горизонтов, отвечающих подразделениям региоярусов неогена Восточного Паратетиса к картированию местных литостратиграфических подразделений. Вопросы практической полезности такого подхода подробно рассмотрены в статье Е.В.Белуженко (2007). При этом действующие инструкции вполне допускают картирование горизонтов: «В исключительных случаях допускается выделение в качестве картируемых подразделений региональных подразделений – горизонтов» (Методическое руководство..., 2017, с. 22, ст. 2.1.1.1.). Некритическое следование инструкциям нанесло большое вред качеству геологических карт. Ведь региоярусы Восточного Паратетиса с их естественными границами и огромным корреляционным потенциалом и представляют тот самый исключительный случай, когда детальность расчленения неогеновых отложений достигает детальности четвертичного интервала шкалы, для которого, заметим, допускается картирование региональных климатостратиграфических горизонтов — климатолитов. По мнению автора, для отложений морских бассейнов региоярусов Восточного Паратетиса, с характерными для них руководящими малакокомплексами, необходимо возвращение к практике их прямого картирования как естественных свит большой протяженности. Переход от картирования хроностратонов субконтинентального распространения к прослеживанию внутрирегиональных литостратиграфических тел, зачастую наскоро и наново описанных, стал шагом назад в практике отечественного геокартирования...»

Естественно, в своих работах любой исследователь волен высказывать свою точку зрения, если она достаточно обоснована. Но, в данном случае, как мне представляется, г. Тесаков далеко выходит за рамки задач и целей своей диссертации и переходит к жесткой критике уже нашей работы. Причем, детальной конструктивной критики нашей аргументации [1, 2, 3-5, 7-9] необходимости и рациональности членения неогена местными подразделениями (свитами, толщами, сериями), автором диссертации не приводится. В такой короткой статье не имеет смысла ее повторять. Но для читателей, не вполне знакомых с этой проблемой, повторю кратко основные положения нашей дискуссии, связанные с приведенной выше цитатой.

Стратиграфический кодекс определяет свиту как основную картируемую единицу при средне- и крупномасштабной геологической съемке [18, ст. V].

Задача свитного членения неогена поставлена в качестве одной из основных в объяснительной записке к «Региональной стратиграфической схеме неогеновых отложений Южных регионов Европейской части России». Эта схема была утверждена бюро межведомственного стратиграфического комитета (МСК) России при ВСЕГЕИ в 2002 г. и впоследствии опубликована [16]. На этой схеме впервые, для всей площади Северного Кавказа и Предкавказья, показаны все существующие на время ее утверждения (апрель 2002 г.) местные подразделения – свиты и серии, а, в случае их отсутствия, вспомогательные стратоны – толщи и подтолщи. Эта схема послужила основой для неогеновой части легенд Кавказской и Скифской серий листов «Госгеолкарт-200», утвержденных НРС при ВСЕГЕИ в 2009 г. Все неогеновые свиты Северного Кавказа, описание которых приведено в этих Легендах, являются валидными на основании Стратиграфического кодекса [18, ст. XI.12. § 3].

Основное наше противоречие с представителями научной геологии (а г. Тесаков не единственный наш оппонент) заключается в том, что же должно быть показано на геологических картах? Научные организации всегда исходили их приоритета возраста, чем они, собственно преимущественно и занимались. Для нас, геологов-съемщиков, производителей, всегда важнее был состав отложений, их генезис, напрямую связанный с полезными ископаемыми. При ГДП-200 второго издания, наконец-то, победила эта рациональная точка зрения. Потому что, кроме геологической карты, в комплект Госгеолкарты-200 входит карта Закономерностей размещения полезных ископаемых. Именно она является основой для дальнейших поисковых производственных работ. И в ней заключается важнейшая практическая цель ГДП-200! На ней показаны границы всех геологических стратонов, но те, к которым приурочены хоть какие-то полезные ископаемые, выделены цветом. А рядом, справа, дается их характеристика и красным цветом перечисляются все полезные ископаемые, к ним приуроченные. А на самой карте показаны эти месторождения и проявления.

При первом издании такой карты вообще не было, а карту полезных ископаемых, которая была чисто регистрационной, часто объединяли с геологической. При этом безликие неогеновые региоярусы, часто с совершенно условными границами (попробуйте найти границу нижнего, среднего и верхнего сармата, допустим, на р. Пшехе), тянулись от моря до моря, совершенно не отражая никакие фациальные и литологические границы, а, следовательно, и закономерности размещения полезных ископаемых. Достаточно посмотреть хотя бы на рисовку неогена на карте 1-го издания по L-37-XXXIV (Туапсе) листу (автор: Хаин, 1964), где впоследствии была выделена, например, гавердовская свита [6, 8], изучению которой много времени посвятил сам г. Тесаков. Т.о., карты 1-го издания в своей неогеновой части были формальными, однобокими, непрактичными, подстроенными под биостратиграфов, а не под поиски полезных ископаемых.

В любом случае границы региоярусов являются гораздо более условными, чем границы свит. Найти фауну в каждом разрезе затруднительно, а иногда просто невозможно, а картировать – то надо! А вот границы свит (реальных геологических тел со четко обозначенной подошвой и кровлей литологическими особенностями), если они правильно выделены, может найти в поле даже толковый студент... Поэтому для нас, производителей, это был не шаг назад, а огромный шаг вперед. Возвращением, наконец-то, к здравому

смыслу в производственной геологии! Да, конечно, следовали мы Инструкции, но большинство из нас делали это (после некоторого осмысления ситуации), понимая рациональность и правильность такого решения. Что касается исключений, о которых пишет г. Тесаков, то это решалось авторами и редакторами конкретных карт. Представлять себе в виде исключения весь Северный Кавказ, с его многообразием фаций, литологий, полезных ископаемых, конечно, не рационально и не логично. И даже самые одиозные геологи на это бы не пошли. Да и тогдашний, профессионально сильный ВСЕГЕИ, не позволил бы совершить это.

Еще раз хочу подчеркнуть, что не «Некритическое следование инструкциям...», а убежденность в правильности и рациональности выделения местных подразделений были основой для наших действий. И кавказские геологи нашли поддержку со стороны редакторов и Редсовета ВСЕГЕИ. Даже Л.А. Невесская, руководитель лаборатории моллюсков Палеонтологического института РАН, которая долгие годы возглавляла работу по созданию стратиграфических схем неогена, в том числе и схемы 2002 г., поддержала выделение свит в неогене Северного Кавказа.

У автора не вызывает возражений следующее справедливое замечание г. Тесакова: [19, С. 99]: «В целом, свитное деление плиоцен-четвертичных отложений Предкавказья, разработанное Е.В.Белуженко и ставшее важным этапом совершенствования региональной стратиграфии позднего кайнозоя, нуждается в серьезном уточнении и ревизии».

При этом, уточнение возраста свит может производиться постоянно и бесконечно. Но сами свиты, признанные валидными, охраняются правами приоритета [18, гл. XII]. Выделить свиту очень трудно, но отменить ее – еще труднее. И еще. Значительную часть работы по выделению, описанию, особенно публикации новых свит геологи-съемщики выполняли в достаточно сжатые сроки, причем, преимущественно, во вне рабочего времени, т.к. в рабочее надо было выполнять производственный план. Большую часть своих статей по описанию новых свит, равно как и свою диссертацию, лично я выполнял в выходные дни и во время отпуска. Поэтому упрек г. Тесакова «зачастую наскоро и наново описанных», возможно, вполне справедлив. Ах, если бы могли делать свою работу так же не спеша (и все время за зарплату), как делали и делают это наши научные коллеги! Но, увы! Сроки подготовки листов были жесткими, а финансирование – крайне нестабильным и незначительным. Поэтому выделение новых свит в неогене часто держалось просто на энтузиазме исполнителей, таких как Е.И. Коваленко, В.И. Резников, В.В. Семенов, И.Ф. Рудянов, В.Ф. Письменная, Н.С. Письменная, Т.Н. Пинчук, Е.В. Белуженко и др.

Вот еще одно замечание оппонента [19, С. 99-100]: «Вряд ли допустимо и объединение в рамках одного картируемого литостратона фрагментов смежных регионарусов (например, блиновская свита позднего миоцена, объединяющая часть среднего и верхнего сармата; сенновская и лиманская свиты, «разрывающие» на части интервал кузальницкого яруса и т.д.), маскирующее крупные геоисторические рубежи».

Не только допустимо, но и необходимо, если выделяются единые по генезису и геологии тела, находящиеся в смежных регионарусах. Стратиграфический кодекс этому никак не препятствует и даже приветствует, если это определяется здравым смыслом. Все эти свиты являются валидными, успешно откартированы на листах ГДП-200 [10-15]. Никаких претензий к этим

подразделениям со стороны Редсовета ВСЕГЕИ не было. Тем более, если быть честными, никаких «крупных геоисторических рубежей» в указанных интервалах не было. Были и есть, хотя и обоснованные палеонтологически, но все же придуманные специалистами для удобства искусственные границы, разнородные литологически и фациально в каждой данной конкретной местности.

Прокомментируем еще одно высказывание г. Тесакова [19, С. 100]: «При этом понятно, что в области развития континентальных отложений региональные стратоны с местными названиями необходимы и давно присутствуют в шкалах (свиты майкопского интервала, армавирская свита, балтская свита, надрудная толща/свита и т.д.)».

Да, давно присутствуют. И все старые стратоны были нами использованы, с уточнением их возраста в свете новых данных и с уточнений их названий и статуса (например, перевод толщ в свиты). Использованы с большим уважением к предшественникам. И новые свиты выделялись только тогда, как отсутствовали старые. Вот только непонятно, каким образом в это перечисление континентальных отложений попали «свиты майкопского интервала»?...

Стратиграфическая схема недаром разделена на 3 части: общая, региональная и местная. Стратиграфы научных организаций, в том числе и сам г. Тесаков, всю свою геологическую жизнь и в своей диссертации, занимались первыми двумя частями. И сделали очень много. Но, тем не менее, в своей диссертации он позволяет себе давать рекомендации именно по картированию ГДП-200, которым никогда не занимался. И уж простите меня, но для того, чтобы судить о таких серьезных вещах, надо досконально знать и аргументы другой стороны.

А в списке литературы к диссертации, между тем, нет ни одного подготовленного к изданию 200 000 листа по Северному Кавказу, в том числе и тех, на которых откартированы местные подразделения, которые г. Тесаков рассматривает [10-15], а также Новоалександровский (Печенюк и др., 2008) и многие др. листы ГДП-200! Все эти карты и записки к ним можно легко найти на сайте ВСЕГЕИ. Получается так: Ваши карты я не видел, но все равно знаю, что ваша методика картирования нанесло вред их качеству! В списке литературы присутствую и некоторые наши более поздние работы, посвященные анализу свитного членения неогена Северного Кавказа, но в тексте отсутствует конкретная критика аргументации. Да это и ни к чему, учитывая специфику диссертационной работы. Но тогда приведенный выше вывод г. Тесакова «Некритическое следование инструкциям нанесло большое вред качеству геологических карт» вреда выглядят совершенно недоказательно и даже оскорбительно! Ведь вред наносят вредители!

Кстати, не нашел в списке литературы и многих авторов, активно занимавшихся континентальными отложениями рассматриваемого региона, в частности: П.А. Православлева, Аншелеса О.М. («Вулканический пепел из лессовидных суглинков правого побережья р. Кубани, около ст. Темижбекской», 1930). А.Л. Рейнгарда (1936, район ст. Темижбекской), Е.М. Великовской (континентальные отложения Предкавказья, работы 1960-64 гг.), И.Н. Сафронова (работы 1957-1983 гг. по палеогеоморфологии Северного Кавказа в неогеновое время), В.И. Подгородниченко (1959, скифские слои), Ю.Б. Файнера и других северо-кавказских геологов. Да, литературы по данной тематике скопилось немало, но все же трудно представить себе объективную картину без

анализа работ, например, И.Н. Сафронова и Е.М. Великовской. И если бы г. Тесаков был знаком с работами наших классиков П.А. Православлева и А.Л. Рейнгагарда, то он бы не допустил следующего замечания, касающего темижбекской свиты [19, С. 97]: «Известное местонахождение дацитовых пеплов в изолированном обнажении у ст. Темижбекской связано с лессово-почвенной серией позднего плейстоцена (Богатилов и др., 2003) и не имеет отношения к древней пестроцветной толще». Совершенно верно. Этот прослой пеплов никакого отношения к темижбекской свите не имеет. Но при описании темижбекской свиты авторами [8] приводятся сведения о совершенно другом прослое пеплов, залегающем в самой 25 м толще пестроцветных глин свиты (скифских слоев), в нижней части берегового обрыва на излучине р. Кубани в ст. Темижбекской. «В средней части разреза отмечен 2-х сантиметровый прослой вулканического пепла (Православлев, Аншелес, 1930)». Необходимо отметить, что это обнажение подновляется лишь периодически и не всегда доступно при наблюдении. Прослой вулканического пепла мощностью 0.4 м установлен также Н.А. Лебедевой (1978) в районе станицы Новолабинской по р. Лаба, в верхней части скифских глин (мощностью до 17 м), которые залегают здесь на песках и гравийно-галечниках белореченской свиты и также перекрываются лессовидными суглинками [8]. Вообще же прослои пеплов встречаются в разрезе эоплейстоцен-плейстоценовых отложений Северного Кавказа довольно часто, что объясняется близостью вулканов, которые были весьма активны в это время [2].

Далее. На с. 97. г. Тесаков утверждает: «Датируются отложения темижбекской свиты концом раннего-началом среднего плейстоцена (Белуженко, Письменная, 2016)». Это ссылка не соответствует действительности. В тексте статьи 2016 г. [8, с. 99] сказано: «Возраст свиты поздний эоплейстоцен – ранний неоплейстоцен». Под эоплейстоценом авторы понимали апшеронское время. Возможно, это противоречие связано с тем, что в это время, по требованиям указаний западных кураторов, стремительно менялись границы неогеновой и четвертичной систем и возможна была некоторая терминологическая путаница. Тем не менее, большинство исследователей относили скифские глины к позднему плиоцену (апшерону).

Но это все мелочи. Самое существенное замечание г. Тесакова приведено в пункте 4 Заключения [19, с. 135]: «Обзор современных стратиграфических схем неогена и квартера юга Восточной Европы в свете полученных новых палеонтологических данных показал необходимость существенной коррекции и ревизии возрастных моделей для целого ряда стратонов. Знакомство с проблематикой геологосъемочных работ в области развития отложений морских и полуморских бассейнов Восточного Паратетиса позволяет поднять вопрос о необходимости возврата к практике прямого картирования подразделений классических регионов Восточного Паратетиса как естественных свит большой протяженности развития и отказа от выделения сугубо локальных литостратонов».

Это вообще непонятно. Во-первых, почему же все-таки так уж необходимо? И кому необходимо? Такие предложения надо обстоятельно доказывать, чего я в диссертации совершенно не заметил. ГДП-200 второго издания на Северном Кавказе проводится по утвержденной НРС при ВСЕГЕИ в 2009 г. Легендах [17], основанных на Инструкции к ГДП-200 и Стратиграфическом Кодексе. Неподготовленных листов осталось уже не так

много, вряд ли кто-то возьмет на себя труд менять Легенду, закладывая в ее основу совершенно другие принципы. Да и вряд ли Редакционный совет ВСЕГЕИ прислушается к таким малообоснованным рекомендациям.... Это будет очень нелогично. Или имеется в виду будущее 3-е издание, о котором я пока ничего не слышал и которое может состояться только после полного завершения 2-го издания?

Да и кто будет к этому возвращаться? Интересно, представляет ли научная общественность общую ситуацию в производственной геологии России? Почитайте о закрытых, значительно сокращенных, перепрофилированных региональных геологических организациях по всей России – от Кавказа до Чукотки [5]. Региональная геология находится на стадии медленного умирания – по моему мнению, без надежды ее восстановления.... Впадает, так сказать, в свое «средневековье» ... Какое там уж третье издание! Довести хотя бы второе до конца!

И что значит «отказа от выделения сугубо локальных литостратонов»? Это коренная ревизия Стратиграфического кодекса и всех имеющихся инструкций? На основании чего: мнения высококвалифицированного в своей области специалиста, но совершенно некомпетентного в данном вопросе? Пункт 4 Заключения доклада к диссертации не только является совершенно неправильным по сути, но также неуместным, т.к. он не вытекает из материалов диссертации. Не понятно, зачем понадобилось в диссертации приводить эти слова, не имеющие никакого отношения ни к защищаемым положениям, ни к целям и задачам диссертации?

После ознакомления с текстом доклада в начале этого года я очень советовал автору убрать из доклада некорректные предложения и смягчить отдельные позиции. Но, судя то имеющемуся в настоящее время в Интернете тексте этой диссертации [19], ничего в точке зрения диссертанта, по сравнению с нашей дискуссией в марте 2023 г., не поменялось. Я посоветовал автору написать по этому поводу отдельную статью, если он считает это важной проблемой, привести соответствующие обоснованные аргументы. Но не по принципу: нравится – не нравится, а по принципу: рационально или не рационально? Соответствует Кодексу и здравому смыслу, или нет? Я рассматриваю такие высказывание от человека, который никогда не участвовал в ГДП-200, не занимался геологическим картированием и, судя по всему, имеет об этом самое отдаленное представление, как совершенно незаслуженное оскорбление моих коллег, которые занимались ГДП-200 десятилетиями. Большинство из них уже не имеют возможности ответить г. Тесакову. Не надо бы так категорично судить о вещах, к которым оппонент не имел непосредственного отношения... Такие вещи надо доказывать, или, как говорить, «отвечать за базар»!

Заключение

Я не знаю, изменил ли свою позицию г. Тесаков, под влиянием моего письма, написанного еще до защиты диссертации. Очень сильно сомневаюсь в этом! Но даже если изменил, это ничего не меняет. Его первоначальные слова, которые процитированы в статье, являются определенной тенденцией, которая есть если не на языке, то в умах многих научных сотрудников.

Научная геология России, в лице институтов Академии наук (геологический, Палеонтологический и др.) еще продолжает свое существование, используя для этого свои профессиональные геологические кадры, унаследованные еще из СССР. Кто придет им на смену? Да и нужна ли кому-то эта смена? Чиновников из Роснедр и Росгеологии, среди которых преобладают т.н. «эффективные менеджеры», развитие геологии России не интересуют. Их интересует только прибыль («бабки»), только возможность максимально услужить не государству, а олигархическому капиталу. Региональная геология как производство гибнет, погружаясь в пучину истории, как Атлантида... А вот желание пнуть этого «мертвого льва», по моему мнению, совершенно недостойно сотрудника такого уважаемого учреждения как Геологический институт РАН. По моему мнению, непозволительно публично высказываться о вещах, которые не входят в круг твоих понятий. Но, в отличие от этого «льва», я – то еще жив! И пока жив, не позволю необоснованно бросать тень на моих коллег, тем более, что из них мало уже кто остался в живых. И вообще.... Господа и дамы научной геологии! Оглянитесь внимательно вокруг! Перефразируя слова немецкого священника: «Когда они придут закрывать вас (я имею в виду ГИН, ПИН и др.) заступиться за вас будет уже некому...». Поэтому давайте бережней относиться друг к другу и тщательно обдумывать свои слова – тем более, в официальных публикациях.

Литература

1. *Белуженко Е.В.* Свитное членение неогеновых отложений Северного Кавказа // Вопросы геологии и освоения недр юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. С 23-31.
2. *Белуженко Е.В.* Прослои вулканических пеплов и бентонитов в палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложениях Северного Кавказа // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы. Материалы международной научной конференции. Майкоп. Изд. АГУ, 2011. С. 114-116.
3. *Белуженко Е. В.* Совершенствование корреляционной части стратиграфической схемы неогеновых отложений Северного Кавказа и Предкавказья в XXI веке – достижения и проблемы // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» Том VIII. / Под ред. И. А. Керимова, В. Б. Заалишвили, В. И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2018. С. 19-28.
4. *Белуженко Е.В.* Еще раз о местных стратиграфических подразделениях неогеновых отложений Северного Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Том 6. № 4 (26). С. 19-26.
5. *Белуженко Е.В.* К вопросу о состоянии региональной геологии Северного Кавказа и России // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XII / Под ред. И.А. Керимова, В. А. Широковой. М.: ИИЕТ РАН, 2022. 7-15 с.
6. *Белуженко Е.В., Бурова Ж.В.* Субконтинентальные верхнемiocен – плиоценовые отложения р. Белой (гавердовская свита) // Достижения и проблемы геологии, минерально-сырьевой базы и использования недр Северного Кавказа. Ессентуки, 2000. С. 85-94.
7. *Белуженко Е.В., Письменная Н.С.* Итоги стратиграфического изучения неогеновых отложений Северного Кавказа, полученные при дополнительном геологическом картировании площадей 200 000 масштаба (1995-2010 гг.) // Современные проблемы стратиграфии неогена и квартера России (2011 г.). Мат-лы Всерос. научн. совещ. Москва, 31 марта–1 апреля 2011 г. М.: ГЕОС, 2011. С. 25-30.

8. *Белуженко Е.В., Письменная Н.С.* Континентальные отложения верхнего миоцена – эоплейстоцена северной части Западного Предкавказья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. Том 24. № 4. С. 82-101.
9. *Белуженко Е.В., Письменная Н.С.* Использование местных и вспомогательных стратиграфических подразделений неогеновых отложений Северного Кавказа и Предкавказья при геологической съемке // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2018. Т. 93. Вып. 1. С. 21-34.
10. *Корсаков С.Г., Белуженко Е.В., Черных В.И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист L-37-XXVI (Новороссийск). 2008. "Кавказгеолсъемка", г. Ессентуки. Электронное издание: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ». 2021 г.
11. *Корсаков С.Г., Белуженко Е.В., А.Ю. Глебов и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист L-37-XX (Петровское). 2008. "Кавказгеолсъемка", г. Ессентуки. Электронное издание: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ». 2022 г.
12. *Корсаков С.Г., Зарубин В.В., Соколов В.В.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Листы L-37-XIX-XXV (Тамань). 2001. "Кавказгеолсъемка", г. Ессентуки. Электронное издание: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ». 2013.
13. *Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Белуженко Е.В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист L-37-XXVII (Краснодар). 2004. "Кавказгеолсъемка", г. Ессентуки. Электронное издание: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ». 2015.
14. *Корсаков С.Г., Белуженко Е.В., Семенуха И.Н., и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист L-37-XXXV (Майкоп). 2004. "Кавказгеолсъемка", г. Ессентуки. Электронное издание: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ». 2013.
15. *Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Андреев В.М.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист L-37-XXXIV (Туапсе). Объяснительная записка. Изд. СПб. Картфаб. ВСЕГЕИ. 2001. 184 с.
16. *Невесская Л.А., Коваленко Е.И., Белуженко Е.В. и др.* Региональная стратиграфическая схема неогена юга Европейской части России // Отечественная геология. № 4. 2005. С. 47-60.
17. *Письменная Н. С., Греков И. И., Пичужков А. Н.* Легенды Кавказской и Скифской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (издание второе). Кавказгеолсъемка. Ессентуки, 2009.
18. Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
19. *Тесаков А.С.* Эволюция фаун мелких млекопитающих и континентальная биостратиграфия позднего кайнозоя юга Восточной Европы и Западной Азии Электронный ресурс: http://ginras.ru/news/files/Tesakov_Dissertation_2021_.

К ВОПРОСУ О ТИПИЧНЫХ ОШИБКАХ МЕТОДИКИ И ТАКТИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ И ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА РУДНОЕ ЗОЛОТО

© Е.В. Белуженко
Сев. Кав. РМСК, Ессентуки

Аннотация. На примерах производственной деятельности отдельных золоторудных предприятий Якутии, Чукотки и геологических организаций Северного Кавказа рассматриваются некоторые, наиболее типичные ошибки методики и тактики проведения поисковых и оценочных работ на рудное золото, которые не позволяют добиваться успеха, а также рекомендации по их преодолению.

Ключевые слова: Методика, тактика, поисковые и оценочные работы, ошибки, рудное золото, Якутия, Чукотка, Северный Кавказ.

Автор, начиная с 2007 г. по нынешний день, участвовал в проведении поисковых и оценочных работ на многих золоторудных объектах различных организаций и предприятий Северного Кавказа, Якутии и Чукотки. Работы эти проводились как за счет государственного бюджета, так и за средства частных предприятий (преимущественно). За это время у автора появилось понимание некоторых, наиболее типичных ошибок методики и тактики проведения этих работ, которые повторялись в разное время и в разных местах. Часто нарушаются методические указания [7], касающиеся как последовательности проведения работ, так и отдельных ее составляющих. Но при этом еще больше допускается тактических просчетов [3]. При этом большинство из них связано не с незнанием, или непониманием установленной методики проведения работ, а с отсутствием необходимой техники и финансовых средств, а также не вполне рациональной тактикой проведения работ.

Частные малые и средние золоторудные предприятия, которых большинство, часто просто не имеют финансовых возможностей для проведения полноценных поисково-оценочных работ на всех своих лицензионных площадях [3, 5, 8]. Но, загипнотизированное значительными числами прогнозных ресурсов (иногда малообоснованных), руководство компаний приобретает все новые лицензии. Иногда создается ощущение, что руководители компаний очень несерьезно относятся к поисково-оценочным работам, надеясь на некую «халяву», когда при минимальных вложениях можно получить максимальную прибыль, т.е., гонятся за некой волшебной «жар-птицей». Увы, «бесплатный сыр бывает только в мышеловке!».

Недостаточные вложения и нерациональная (иногда просто неразумная) тактика, не приводящие к быстрому положительному результату, часто приводят к разочарованию в оценке промышленной ценности объектов (зачастую не вполне объективному) и прекращению их изучения. При первых же неудачах поисков, площадь объявляется бесперспективной и на долгие годы забрасывается. На золоторудных предприятиях копятся многолетние задолженности по выполнению лицензионных соглашений по объектам, а недоизученные объекты превращаются в своеобразные «чемоданы без ручки» (и нести тяжело, и бросить жалко!). Почти на каждом золоторудном предприятии скопились от нескольких до десятков (в зависимости от его масштабов) таких

фактически заброшенных объектов, сроки выполнения обязательств по которым давно и безнадежно просрочены. При этом, как-то существенно наказывать лицензионных «должников» (например, штрафовать, или даже отбирать лицензии) государство не торопится, очевидно потому, что наказывать придется многих, а найти новых собственников будет не так просто. Т. о., реально воздействовать на должников государственные структуры не в состоянии [3].

Поиски рудного золота – дело фартовое. Без *удачи* здесь никак нельзя обойтись. В то же время *неудачи* также являются закономерной составной частью поисковых работ и от них никто не застрахован. Но в некоторых случаях неудачи (как конечный результат) как будто бы запрограммированы заранее. После анализа истории изученности того или иного объекта понимаешь, что ее (неудачу) можно было избежать, при более рациональной организации работ, соблюдению методики, четкой последовательности при их проведении, тщательного анализа своих и чужих ошибок. И, возможно, добиться удачи. Но таинственные грабли неудачи как будто бы манят и притягивают нас к себе вновь и вновь, так же, как и золото...

В настоящей статье автор остановится на наиболее типичных ошибках методики и тактики проведения поисковых и оценочных работ на рудное золото, характерных для частных золоторудных предприятий Сибири, которые мешают добиваться возможного успеха, даже при скудном финансировании. При проведении поисково-оценочных работ на рудное золото, которые проводилось и проводятся за счет госбюджета на площади Северного Кавказа, характерны несколько другие недостатки, о которых также будет сказано ниже.

Наиболее типичные ошибки методики и тактики проведения поисковых и оценочных работ на рудное золото (на примере предприятий Якутии и Чукотки).

Начнем с *общей организации работ*. Одно из золоторудных предприятий Чукотки в 2020-2023 гг. проводило поисковые и оценочные работы, в которых автор принимал участие, на одной из лицензионных площадей (название компании не приводится по причинам конфиденциальности). При внимательном изучении одного из отчетов предшественников еще советских времен по результатам поисковых работ на рудное золото, обратило на себя внимание то, что «сетования» ответственного исполнителя отчета на плохую организацию работ очень похожи на наши собственные проблемы. Ниже приводится раздел из этого отчета, посвященный их организации (с сокращениями) [6]: *«Организация отряда была начата в апреле 1982 г. с укомплектования его ИТР, рабочей силой и техникой, получение снаряжения, продовольствия и т.п. Уже в этот период проявилось небрежное отношение руководства ... к нуждам и требованиям новой производственной единицы, которой предстояло выполнить большие объемы разнообразных поисковых работ в сложных горно-геологических условиях и решить важные геологические задачи.*

Комплектование отряда ИТР проводилось без учета конкретных условий и специфики работ, а обеспечение рабочей силой и техникой находилось на предельно низком уровне. ... Из рабочих специальностей остро ощущался недостаток ... проходчиков поверхностных горных выработок и опытных бульдозеристов. Техническое обеспечение работ на всех полевых периодах было на низком уровне: бульдозеры, предназначавшиеся для производства горнопроходческих работ в крайне тяжелых горно-технических условиях и

рельефа местности, направлялись в отряд без необходимой подготовки и профилактики и при отсутствии ремонтной базы были фактически беспомощны. Специалисты, признанные работать на этой технике, привлекались со стороны, без учета их профессиональной подготовки, а иногда и без всякого опыта работ...

Крайне осложняло проведение всех видов полевых работ отсутствие в отряде вездеходного транспорта. Поисковые ... работы проводились на большой площади на нескольких участках, разобитых друг от друга на большие расстояния и не доступные для других видов наземного транспорта. В результате поисковые маршруты и ... опробование проводились с большими непроизводительными затратами времени и труда выполняющего их персонала. Отсутствие вездеходного транспорта практически исключало возможность оперативного контроля за ходом основных видов работ, перераспределения сил и средств для ликвидации отставания, оказание своевременной помощи технике, находящейся в труднодоступных местах.

На все эти и многие другие недостатки в организации полевых работ обращалось пристальное внимание руководства ... при подведении их итогов, они отражены в информационных записках о результатах работ за все полевые периоды, но необходимых действенных мер по их ликвидации и исправления подобного положения так и не было принято. ... Все эти организационные недостатки приводили к тому, что проходка основных объемов горных выработок ежегодно затягивалась до осенне-зимнего периода, документация и опробование их производилось в крайне неблагоприятных климатических условиях при резкой нехватке инженерно-технического и рабочего персонала.

Организация камеральных работ также оставляла желать лучшего. ... сроки окончательного завершения работ были сорваны, а недостаток времени и исполнителей в решающий этап не позволили автору тщательно обработать, систематизировать и увязать полученные данные как между собой, так и с материалами предшествующих работ и квалифицированно осветить результаты поисковых работ».

Здесь, как говорится «ни убавить, не прибавить» нечего! Более того, под этими словами могли бы подписаться многие поколения советских и российских геологов, которые испытывали аналогичные проблемы при организации работ на рудное золото (и не только золото) по всей России. Прошло сколько лет, сменилась социальная система, собственниками государственных предприятий стали частные лица, но можно было брать цитаты из этого отчета, ничего в них не менять и включать в свои актуальные служебные записки. «Пароль», как в том анекдоте про чукчу, с тех пор так и не поменялся! **Элементарные просчеты в организации работ, экономия «на спичках», невнимательное отношении руководства к справедливым требованиям геологической службы часто становятся причиной неудачного их проведения.** Как говорится в известном стихе С.Я. Маршака: «Оттого, что в кузнице не было, гвоздя!»

В качестве одного из наиболее типичных и широко распространенных примеров нарушения методики, выработанной и проверенной многими десятилетиями успешного проведения поисковых работ в СССР и России, можно привести **нарушение последовательности действий, необоснованного «забегания» вперед.** Методическими рекомендациями [7] четко

регламентируется последовательность (стадийность) работ. Однако на практике нарушения стадийности и последовательности работ встречается довольно часто.

В частности, автору приходилось встречать в своей практике, такое, например, нарушение методики, как *проведение буровых работ, опережающих проходку горных выработок (хотя методика предусматривает как раз наоборот)*. В некоторой степени этому, вероятно, способствовала мода на копирование западных методик, при которых основной упор делается на бурение, а проходка канав практически игнорируется. Но чаще такое случается на тех предприятиях, которые имеют в своем распоряжении достаточное количество буровых станков, но не имеют нужное количество тяжелой техники (бульдозеров и экскаваторов). А хочется получить результат побыстрее! В таком случае бурение производится под недостоверно установленные, иногда даже гипотетические рудные тела, слабо прослеженные с поверхности. Основанием для бурения иногда служили только результаты авторского дешифрирования снимков, как это было, например, на одной из лицензионных площадей Чукотки. Результат: и пробурено на площади много, но все как-то не «в струю». Справедливости ради необходимо отметить, что чаще всего бывает, как раз наоборот: у предприятия нет, или не хватает буровых станков и нет средств, чтобы их арендовать. А хоть один бульдозер для канав все-таки имеется. И ждут вполне перспективные, хорошо изученные с поверхности объекты, своей долгой очереди на изучение бурением на глубину, порою переходя из рук в руки. В любом случае такие перекосы имеют негативные последствия, а результаты работ почти всегда печальны... *Это нерационально потраченные средства и время без достижения значимого результата.*

Но даже имея в своем распоряжении необходимую технику, руководство золоторудных предприятий часто допускает еще одну тактическую ошибку: *на выполнение задач направляется недостаточное количество имеющихся сил и средств. Вместо того, чтобы ударить мощным кулаком, бьют раскрытой ладонью, распыляя силы, используя технику и средства сразу на нескольких поисковых объектах...* В результате получается, как говорится: «ни вашим, ни нашим». Часто такая работа делается просто для «отмазки», чтобы изобразить ее видимость на объекте и, с одной стороны, избежать штрафных санкций со сторон государства за невыполнения лицензионных обязательств, а с другой, продемонстрировать конкурентам, что у предприятия есть перспективы на будущее. В результате время и деньги потрачены, а существенного результата (выполнение технического задания) не достигнуто. Как правило, специалисты, наблюдая очевидную нерациональность действий руководства, разбегаются в разные стороны. И предприятие остается у разбитого корыта, хотя лицензию сохраняет. *Т. о., хроническое отсутствие на предприятиях необходимой и нерациональное использование имеющейся тяжелой техники, а также недостаточная концентрация сил и средств на конкретном объекте, являются еще одними примерами нерационально организованной работы, приводящей к неудаче.*

Еще один, также очень типичный пример неправильной тактики проведения работ заключается в *непоследовательности действий, методических шараханьях в разные стороны, обусловленных «чехардой» руководящих геологических кадров, приводящей к коллективной безответственности*. Сколько было новых концепций, идей, намерений,

которые тут же забывались при смене старшего (главного) геолога? Сколько раз начатые, даже благие дела на этих площадях не были доведены до логического завершения? Сколько было странных шараханий в сторону от основной методической линии, закреплённой в утвержденных проектах? С течением времени иногда даже трудно разобраться, кто, что и по каким причинам что-то делал на лицензионных площадях. При этом отчеты по полевым работам часто оставались незавершенными (или составлялись другими исполнителями, задним числом), а объективного коллективного обсуждения результатов работ в кругу специалистов вообще не проводилось. Часто решения принимались без обоснованного геологического и экономического анализов, по принципу: «денег нет и работы проводить не на что!». В итоге, некоторые результаты работ, в том числе вполне положительные, вообще было просто «забыты» и «потеряны» новыми поколениями геологов!

Для решения любой задачи даже слаженному коллективу необходимо определенное время. Старший или любой другой геолог, ответственный за объект, должен знать о своих лицензионных площадях *все* (не говоря уже о геологии), вплоть до фамилий и личных качеств ответственных исполнителей работ за все время изучения. Потому, что от этих личных качеств, иногда, очень многое зависит. А как можно внимательно изучить и проанализировать материалы предшественников (десятки отчетов, проектов, записок, протоколов), при хронической нехватке времени и постоянной смене кадров? А иногда у исполнителей просто нет желания копаться в старых материалах, выискивая там «жемчужное зерно». А просто есть наивная уверенность, что-мы-то сделаем это лучше, чем они! Мы-то не наступим на старые грабли!

Незнание полной информации по объекту приводит, с одной стороны, к нерациональному дублированию работ, потери времени и средств, а с другой стороны, лишает возможности использовать какую-либо важную и нужную информацию, которую еще надо найти в отчете.

Кроме приведенных выше очевидных ошибок в тактике и методике, есть и другие, не вполне очевидные. Опыт работы на многих золоторудных объектах Якутии и Чукотки показывает, что для достижения положительного результата необходимы не только запланированные проектами определенные усилия, но и *некоторые сверхусилия. Исполнителям часто не хватает целеустремленности, энтузиазма, веры в себя и в удачу. А также личностей, лидеров, способных довести начатое дело до его логического завершения.* Того, о чем писал в свое время в «Территории» Олег Куваев («Делай – или умри!»).

В этом отношении очень показательна история открытия золотосеребряного месторождения Купол на Чукотке. Ниже приводятся рассказ чукотского геолога Вячеслава Васильевича Загоскина, начальника отряда Анюйского государственного горно-геологического предприятия. Рассказ приводится с сокращениями по [4]. Суть дела и дух времени в нем передается очень точно: «У нас не принято было вообще про эти проблемы писать, но я всегда с интересом читал предшественников, чтоб понять, как дело было. То есть, как видишь, все было против нас, и главная заслуга наша в том, что упорались как могли. ... 95-97 годы были самые плохие, контора ... жила на остатках имущества и потлива...

Приехали на Вольгу. Туда должен был прийти вертолет, привезти нам продукты для дальнейшей работы. Его, как всегда, нет, харчей у них и самим

мало, они того же борта ждут. И нас вежливо попросили... Ну и поехали мы на участок работ. Это была юго-западная часть территории, Пеледонский лист, остатки потоков на нем и три участка – Пестрый, Снежный, Пеледон. ... Вертушки не было еще неделю, харчи кончились. Был чай, мука, соль. Собакам взяли мешок вермишели варить старой, с мышинным пометом. Вот если Коля с Ваней наловят рыбы, то обед - ужин нормальный, если нет – вермишель. ... Потом вертушка пришла, ... привезли харчи и начали работу. ... На юге Августейший – была старая итуфная, посередке - на устье Льва в обрывчике в метасоматитах значилось 300 г/т серебра ... - и на севере, участок Оранжевый. Там у Куклева (начальник Южно-Уткувеевской геологосъемочной партии масштаба 1:200 000, 1966 г.) было 3 г/т, жилы эти он нарисовал, но на север они не так легко прослеживаются. Они и сейчас с теми же содержаниями. Промышленные сидят на глубине.

Мы конечно с захватом километр и на север, и на юг накрыли сеткой 500*100 весь правый берег Собачьей. Стояли в середине, на устье руч. Лев. Потому и участок так назвался. Ну и все. ... Вышел из каньона, ... на склоне кварца все больше и больше, итуфная, две, пять. Потом уперся в кварц. Это была дорога прямо, 20 шириной, метров 100 длиной. Сейчас траншея здесь. Походил вдоль, поперек, тело хорошее. Кварц-то издали не виден, он весь зарос черным лишайником. Ну походил, нашел кусок пожелтее, расколол. Электрум! Потом так и не удалось такой найти.

... Назавтра все поехали на эту гору, сколками накрыли весь кварц наверху, проследили на север до болота перед Врезом и на юг, через руч. Купол, до уч. Оранжевый и дальше на юг до устья Оранжевого. ... Последний год проекта, последний маршрут... Стало понятно, почему Куклев в 1966 не протянул сам на север. На Оранжевом обломки и глыбы кварца на мелкой рыжей щебенке, а потом на север от Оранжевого жила ныряет под рыхляк (ручей Купол) и потом в крутом осыпном склоне сидит, среди глыб, и кварц черный. Куклев после Оранжевого пошел правее, восточнее, под основанием самого холма Купола на дачах видел его поколоти. А оттуда жила не видна, черная. Вообще те ребята - гиганты! Партия 200 ка, без лошадей. База на Аное. Все пешком. Дров нет, кустики. Все их точки подтвердились ... Геология, ими отрисованная, лучше объясняет имеющиеся полезные, чем более поздние версии. Просто не повезло.

... В августе, собрав из металлолома запчасти, починил вездеход, съездил ..., переопробовал все заново, уже метровым шагом под канавы сделал сечения, поставил штаги. ... На юг вдоль протянул прямо до обрыва на устье Оранжевого, там солифлюкция уже. Как теперь в канавах видно, и жила все слабее, кварца сверху нет почти, дресва. На карачках потихоньку по высыпкам следил. »

В комментарии автора публикации ниже написано: «Что здесь можно сказать? Везение? Конечно. Последние маршруты, сентябрь, стоило снегу выпасть чуть раньше - и осталось бы лежать месторождение до лучших времен. Но "упились как могли"...

Что можно к этому добавить? Есть такая русская пословица: «Везет тем, кто везет!». И дело здесь не только в везении, а в проявлении геологического характера. Люди просто делали свою работу так, как ее знали и понимали. В этом рассказе отражаются, как и приведенные выше недостатки организации полевых работ, так и пример того, как их преодолевать.



Рис. 1. В.В. Загоскин – один из первооткрывателей золотосеребряного месторождения Купол на Чукотке (фото 2003 г.) [6]

И это не единичный случай. Открытие многих золоторудных (да и только) месторождений в России также было совершено благодаря определенным *сверхусилиям*. Иногда они открывались не благодаря обстоятельствам, а вопреки им. Возможно, таких месторождений по всей России даже больше, чем благополучных. Можно привести историю открытия якутских золоторудных месторождений Бадран, Дражное и др., судьба которых также была трудной.

Отсюда вывод: Торопиться сдаваться не надо. Надо верить в удачу и в свои силы. Очень редко встречаются бесперспективные площади. Гораздо чаще – недалёковидные владельцы и не вполне уверенные в себе и не вполне умелые геологи. А удача приходит обычно в самом конце – к наиболее целеустремленным и последовательным. Идущим до конца.

Вот, выше на фото (рис. 1) – один из них: В.В. Загоскин. Где они теперь, такие люди???

Вот так «по камешку, по кирпичику» и создается общая тактика редких удач и, к сожалению, более частых неудач при поисках на объектах. А ведь любая неудача перечеркивает на время все колоссальные усилия по поискам золота. И теряется вера в перспективность площади и на долгие годы тормозятся работы. А компания, получившая очередной удар все теми же граблями, по тому же самому месту, только возмущается и обиженно потирает это ушибленное место. И чаще всего – не делает никаких выводов.

Теперь о золоторудных объектах Северного Кавказа. В настоящее время на Северном Кавказе нет ни одного эксплуатируемого золоторудного объекта, кроме Медногорского комбината в Карачаево-Черкессии на р. Уруп, где золото извлекается попутно при добыче сульфидов. В то же время есть несколько золоторудных объектов в разных республиках Северного Кавказа с запасами, числящимися на государственном балансе и с апробированными прогнозными ресурсами. Автор принимал участие в работах по поискам и оценке золота на Радужном золотосеребряном месторождении, Левобережном и Карданском золоторудных полях, знакомился с материалами по Гитче-Тырныазскому полю (Кабардино-Балкария), общался со многими специалистами, проводящими поиски рудного золота в других республиках и областях [1-3].

Особенностью всех работ по поискам и оценке рудного золота здесь является то, что они проводились за счет государственного бюджета

различными организациями Северного Кавказа. Т. о., работа, в отличие от золоторудных компаний, делалась по заказу, т.е. – не для себя. И, поневоле, основной задачей исполнителей становилась не сколько объективная оценка, сколько достижение положительного результата. Ведь его отсутствие расценивалось как не вполне хорошая работа. Поэтому из объекта выжималось все, что можно и даже больше. При этом иногда желаемое выдавалось за действительное. С точки зрения автора, одним из основных недостатков при проведении работ на рудное золото на Северном Кавказе заключается в том, что исполнители, как правило, *завышали промышленную значимость объектов за счет некритичного подхода к определению их параметров, в частности, средних содержаний, протяженности и мощности рудных тел, а также завышении категоричности прогнозных ресурсов и запасов объектов*. Это делалось сознательно – для привлечения внимания к объектам, повышения их значимости и обоснования высокой эффективности проведенных работ [1, 2]. Цели благие, но традиционно они устилают дорогу в нехорошее место...

В результате этого на Северном Кавказе в последнее время появилось много «перспективных» объектов рудного золота, вплоть до крупного промышленного месторождения с запасами, утвержденными ГКЗ (Михайловское, на Гитче-Тырныаузском рудном поле, Кабардино-Балкария). Автор не имеет оснований подвергать сомнению эти результаты, утвержденные, или апробированные уважаемыми организациями. Однако, определенный скепсис как у автора, так и среди геологической общественности все-таки присутствует. Он основан на истории изученности этих рудных полей. А также на чрезвычайно раздутых в свое время и мало оправдавшихся впоследствии прогнозных ресурсах рудного золота по всей России, особенно в Сибирской ее части. В качестве конкретных примеров можно привести, например, якутские золоторудные поля, на которых автор работал, или хорошо знаком по фондовым данным, такие как: Базовское, Талалахское, Хангаласское и др. [1, 2]. К тому же, в последнее время, с тех пор, когда такими работами на Северной Кавказе начала заниматься Росгеология, при их проведении проявляется все большая закрытость и келейность, никогда ни к чему хорошему не приводящая.

Только практика – критерий истины. Будущее покажет, насколько оправдаются подсчитанные запасы и ресурсы Северо-Кавказских золоторудных объектов при дальнейшем более детальном изучении, или при возможной их эксплуатации. Но в любом случае необходимо проявлять при подсчете ресурсов и запасов максимальную объективность, а результаты работ открыто и широко обсуждать в профессиональной среде. Если мы действительно хотим добиться реального успеха, а не надувать красивые воздушные «шарики» для привлечения недропользователей.

Т. о., можно констатировать основные недостатки и ошибки методики и тактики, приводящей к неудачам при проведении поисковых и оценочных работ на рудное золото:

- недостаточная организация полевых и камеральных работ,
- нарушение методики проведения работ (в частности, последовательности действий);
- отсутствие, нерациональное использование и недостаточная концентрация имеющейся тяжелой техники и средств на объектах,

- постоянная «чехарда» руководящих геологических кадров, обуславливающая непоследовательность действий, шараханья и, в итоге, безответственность исполнителей;
- недостаточно полные сведения об объекте исследований, обусловленные пренебрежением к работам предшественников, или отсутствием времени на изучение их материалов;
- недостаточная объективность при оценке золоторудных объектов, завышение их промышленной ценности, вызывающая недоверие недропользователей;
- отсутствие энтузиазма, целеустремленности, воли к победе, веры в себя, а также явно выраженных лидеров, способных привести к удаче.

Литература

1. Белуженко Е.В., Барановский А.Ф., Войтенко В.Н. К вопросу о достоверности прогнозных ресурсов рудного золота на примере рудных полей Северного Кавказа и Республики Саха (Якутия) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII / Под ред. И.А. Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2018. С. 145-156.
2. Белуженко Е.В., Войтенко В.Н., Барановский А.Ф. К вопросу о достоверности прослеживания минерализованных рудных зон и оценки прогнозных ресурсов золота (на примере рудных полей Северного Кавказа и республика Саха (Якутия) // «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Том IX / Под ред. И.А. Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2019. С. 89-101.
3. Белуженко Е.В. Проблемы оценки и промышленного освоения золоторудных объектов России и Северного Кавказа // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XI / Под ред. И.А. Керимова, В.А. Широковой, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 20-27.
4. Гаман А.И. Открытие Купола. Интернет-ресурс: <https://fgutfi.ru/map/depos/OtkKup.htm>, 01.09.2021.
5. Заернюк В.М., Черникова Л.И., Забайкин Ю.В. Тенденции, проблемы и перспективы развития золотодобывающей отрасли России // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2017. Т. 10, № 9. С. 972-986.
6. Зотов Е.К. Отчет по общим поискам коренных месторождений золота в пределах Алискеровского рудного поля, детальным поискам в пределах Светлинской рудной зоны за 1982-85 гг.. Анюйская геологоразведочная экспедиция. Билибино, 1985.
7. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное. (Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.) Москва, 2007.
8. Чабанов В.Е. Анализ современного экономического состояния России. Интернет-ресурс: Общественный центр информации. <https://zen.yandex.ru>, Март 2021.

СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ ТЕЛ НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ЗАПАДНОГО ФЛАНГА УРУПСКОГО МЕДНО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

© Б.Б. Бобомуротов, Г.С. Январёв

ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск

Аннотация. На глубоких горизонтах западного фланга Урупского медно-колчеданного месторождения в породах кровли выявлены несколько горизонтов маломощных рудных тел с элементами градационной и косой слоистости. Структурно-фациальные характеристики этих тел аналогичны строению кровли Главной рудной залежи. Формирование верхних рудных тел происходило в условиях размыва и переотложения ниже лежащих сплошных сульфидных руд. Установлено два типа контактов кровли главной залежи с перекрывающими породами: нормальный и нарушенный субвулканическими телами кварцевых альбитофиров.

Ключевые слова: Урупское месторождение, медно-колчеданные руды, градационная слоистость, рудная зональность,

Промышленные руды Урупского медно-колчеданного месторождения сконцентрированы преимущественно в Главной залежи, которая представляет собой систему пространственно сопряженных линз массивных колчеданных руд и вкрапленности сульфидов меди и цинка, ассоциированных в пределах согласно залегающей зоны сульфидной минерализации на контакте эффузивных и туфогенно-осадочных пород [3]. Простирание зоны минерализации северо-западное, падение на юг под углом 30-50°.

Месторождение разрабатывается подземным способом с 1968 г. Основные особенности геологического строения месторождения описаны в научной литературе и базируются на изучении верхних горизонтов отработки (до 10) [2, 3, 5, 6]. Непосредственно в почве Главной залежи залегают гидротермально измененные кварцевые альбитофиры. Кровля Главной залежи сложена кремнисто-гематитовыми сланцами, туфами, туффитами, среди которых часто наблюдаются пятнистые лирпаритовые порфиры, содержащие обломки вмещающих пород.

Настоящее исследование базируется на материалах эксплуатационной разведки и отработки глубоких горизонтов (12-17) западного фланга месторождения. По результатам документации и опробования более 470 скважин эксплуатационной разведки ниже 11 горизонта в кровле Главной залежи выявлены параллельные рудные тела, образующие верхние залежи. Руды располагаются в 2-3 горизонтах выше кровли Главной залежи на расстоянии от 1 до 15 м (рис. 1).

Рудные тела верхних залежей имеют пластовую форму, характеризуются четко выраженной стратиграфической позицией. Конфигурация границ буквально повторяет форму кровли Главной залежи. Мощность этих рудных тел колеблется от 0,2 до 5,3 м. В разрезах верхние залежи имеют прерывистое строение при четком соблюдении стратиграфического уровня. В плане большее количество этих тел располагаются в районе естественного выклинивания Главной залежи на юго-западе.

Вещественный состав параллельных тел верхних залежей существенно отличается от состава Главной залежи. Диаграмма рассеяния в координатах содержаний Zn-Cu приведена на рисунке 2.

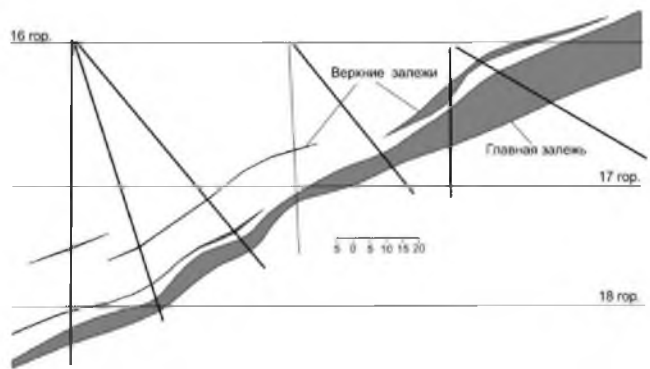


Рис. 1. Разрез Главной залежи и параллельных тел Урупского месторождения на глубоких горизонтах

Из диаграммы следует, что содержания меди и цинка в Главной и верхних залежах существенно отличаются. Содержания компонентов верхних залежей образуют узкую компактную область с содержаниями Zn в диапазоне от 0,01 до 1,5 %. Отдельные пробы показывают более высокие содержания, но не более 8%. Содержания Cu концентрируются в диапазоне 0,1–7,5%.

Содержания компонентов в Главной залежи имеют гораздо больший разброс значений. Содержания Zn располагаются в диапазоне от 0,01 до 14,20 %, причем большая концентрация проб находятся в диапазоне 0,01–8,00%. Содержания Cu располагаются в диапазоне от 0,01 до 13 %.

Отношение меди к цинку в Главной залежи составляет 1,77, а в верхних залежах – 6,0.

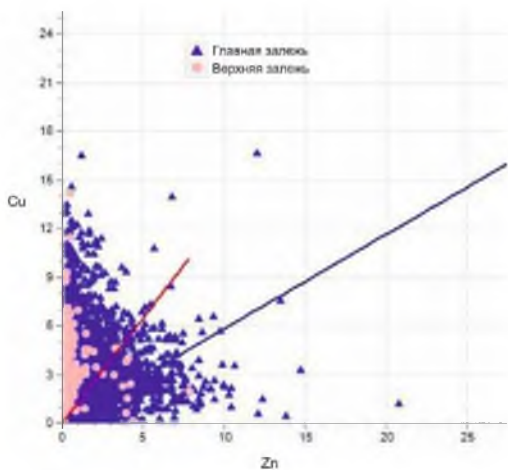


Рис. 2. Диаграмма рассеяния в координатах содержаний Zn - Cu в Главной и верхних залежах

Вмещающими породами рудных тел верхних залежей являются кремнисто-гематитовые сланцы. Это кварцитовидная порода красновато-бурого цвета, очень плотная. Основным минералом в этой породе является

скрытокристаллический кварц. В большинстве случаев сланцы фиксируются в виде реликтов среди так называемых «туфов липаритовых порфиров» согласно легенде геологической службы Урупского ГОК. В большинстве случаев это кристаллокластические метаморфизованные породы, сложенные обломками зерен кварца и альбитизированного плагиоклаза в слабо раскристаллизованном кремнистом агрегате с хлоритом и эпидотом. На геологических разрезах фиксируется их сложная форма с инъецирующими контактами, что позволяет предполагать их интрузивное залегание.

Рудные тела верхних залежей характеризуются ритмично-слоистой текстурой (рис.3). В пределах каждой из верхних залежей наблюдается до 20 рудных прослоев, мощностью 0,5-2 см, разделенных кремнисто-гематитовым агрегатом, мощностью 2-3 мм. Каждый прослой руды имеет асимметричное внутреннее строение – грубозернистое в основании и постепенно становится очень мелкозернистым в кровле.

В основании ритма наблюдается густая сульфидная минерализация, сложенная обломочными зернами гематита, кальцита, пирита и халькопирита (1). В средней части ритм сложен более мелкими зернами с преобладанием породных агрегатов (2). Заканчивается ритм тонкодисперсным, микрозернистым кремнистым агрегатом (3).

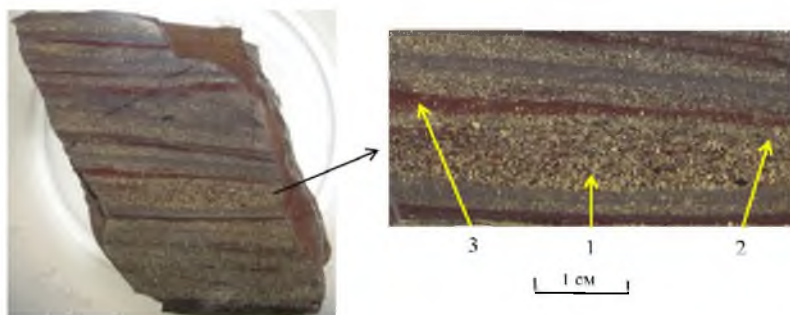


Рис. 3. Слоистая текстура рудных тел верхних залежей

Под микроскопом сланцы представляют собой красные и зеленые пелитоморфные силицитовые хомогенные осадки с остатками радиолярий и обычно сланцеватой текстурой, пелитоморфной структурой. Гематит представлен точечными зернами. Присутствие гематита придает этим породам красно-бурый цвет.

В рудных прослоях сульфиды представлены пиритом, халькопиритом и очень редкими зернами сфалерита и борнита. Наибольшее количество пирита и халькопирита наблюдается в виде мелких рассеянных зерен в нерудном базисе. Сульфидные зерна, как и обломки нерудного терригенного материала, заключены в скрытокристаллическом кремнисто-гематитовом матриксе. В цементе, кроме того, наблюдается примесь мелких обломков кварца и кварцевых альбитофиров.

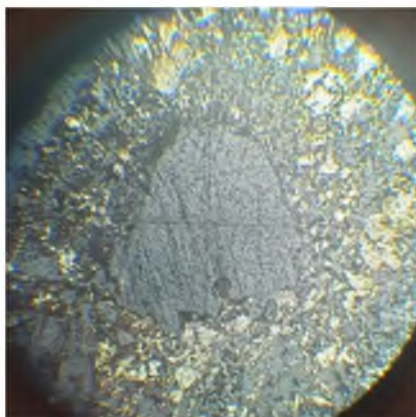


Рис. 4. Обломок кремнистой породы в рудном прослое (полированный шлиф)

На рис. 4 показан крупный обломок кремнистого агрегата, который имеет угловатую форму и гравитационно продавил рудный прослой, который лежит ниже.

Характерно, что соотношение содержаний меди и цинка в верхних залежах аналогичны таковому верхних уровней Главной залежи мощностью 0,5-2 м. Также аналогичны и геолого-структурные особенности приуроченности рудных минералов к кремнисто-гематитовым сланцам (рис. 5). Следовательно, верхние интервалы Главной залежи и параллельные рудные тела верхних залежей образованы в одинаковых фациальных условиях.

Слоистые руды кровли Главной залежи отмечались ранее на верхних горизонтах восточного фланга месторождения [3]. Эти руды образуют тонкий переслой медно-колчеданной руды с кремнисто-хлорит-гематитовым туффитом хемогенно-осадочного происхождения.

На глубоких горизонтах западного фланга месторождения слоистые руды имеют все характерные признаки градационной слоистости. Важен факт наличия косой слоистости внутри слоистого агрегата в кровле Главной залежи (см.рис.5), что позволяет утверждать, что кровля Главной залежи и верхние рудные тела образовались в результате процессов размыва и переотложения сплошных медно-колчеданных руд.

В то же время необходимо отметить, что строение кровли, описанное выше, распространено не повсеместно. Нередки случаи отсутствия в кровле Главной залежи не только верхних рудных тел, но и слоистой части. В таких случаях характерен контакт сплошной медно-колчеданной руды с «туфами кварцевых альбитофиров». При этом нарушается установленная ранее [1,7] обычная зональность в распределении меди и цинка в направлении от подошвы к кровле (табл.1).

В таблице 1 видно, что в скважине 3187 кровля главной рудной залежи срезана «туфами кварцевых альбитофиров». Кроме того, в надрудной толще ранее были отмечены обломки (ксенолиты?) колчеданных руд размером 4-6 см [4], что, наряду с инъецирующими контактами, также указывает на возможный интрузивный характер так называемых «туфов кварцевых альбитофиров».

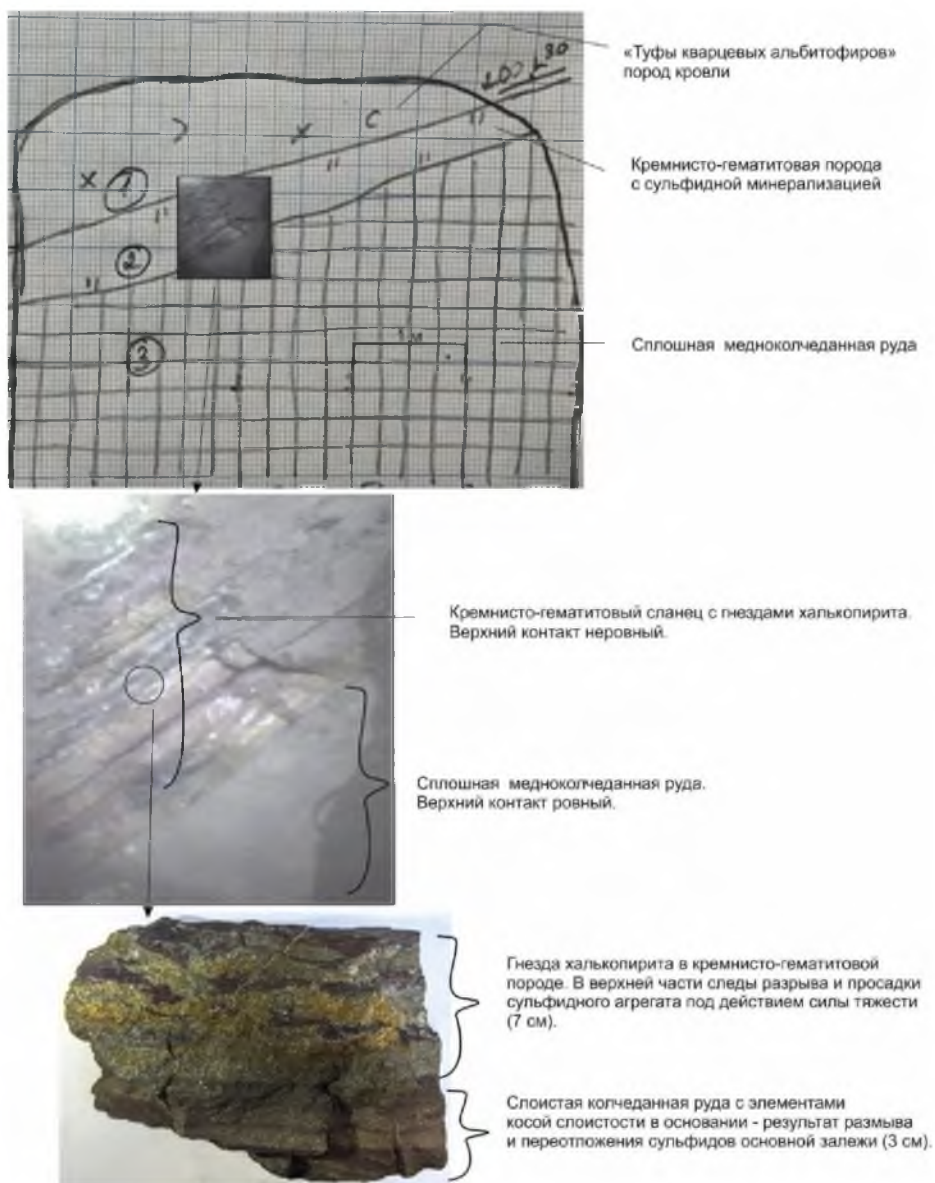


Рис. 5. Особенности геологического строения кровли Главной залежи на глубоких горизонтах

Таким образом, на глубоких горизонтах западного фланга Урупского месторождения в результате эксплуатационной разведки и добычных работ в породах кровли выявлены несколько горизонтов параллельных Главной залежи рудных тел. Эти тела локализуются в кремнисто-гематитовых сланцах, имеют реликтовый характер при полном сохранении стратиграфического уровня, по структурно-фациальным характеристикам аналогичны строению кровли Главной залежи. Наличие градационной и косой слоистости в ритмах рудных прослоев указывает на их седиментное происхождение в результате размыва и перетолжения ниже лежащих сплошных сульфидных руд. Так называемые «туфы кварцевых альбитофиров» в породах кровли фактически представляют

собой субвулканические тела сложной формы, частично разрушающие кровлю Главной залежи.

Таблица 1
 Два типа строения кровли Главной рудной залежи на Глубоких горизонтах

«Туфы кварцевых альбитофиров»		Скв.	Интервал			Cu,%	Zn,%	S,%
Слоистая кровля (ритмично-слоистые руды в кремнисто- гематитовых сланцах)	3189	43,0	44,1	1,1	2,60	0,36	34,16	
	3189	44,1	46,5	2,4	0,04	0,04	0,49	
	3189	46,5	48,0	1,5	11,08	0,25	38,16	
	3189	48,0	50,5	2,5	2,60	0,36	42,19	
	3189	50,5	53,0	2,5	5,50	0,13	46,03	
Сплошная медно- колчеданная руда	3189	53,0	55,5	2,5	2,95	1,33	44,86	
	3189	55,5	58,0	2,5	2,31	3,80	46,13	
	3189	58,0	59,3	1,3	1,75	0,20	43,99	
«Туфы кварцевых альбитофиров»		Скв.	Интервал			Cu,%	Zn,%	S,%
Сплошная медно- колчеданная руда	3187	39,0	41,0	2,0	7,15	1,94	42,29	
	3187	41,0	43,0	2,0	3,55	3,14	44,11	
	3187	43,0	45,0	2,0	3,1	1,60	47,18	
	3187	45,0	46,0	1,0	3,03	2,02	45,36	
	3187	46,0	47,0	1,0	0,88	0,46	35,47	

Литература

1. *Рябов Г.В.* Зональность Урупского колчеданного месторождения // Геология рудных месторождений. 1983. №5. С. 102–108.
2. *Скрипченко Н.С.* Вулканогенно-осадочное рудообразование (на примере колчеданных месторождений Сев. Кавказа). М.: «Недра», 1966. 291 с.
3. *Скрипченко Н.С.* Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтоидных формаций. М.: Недра, 1972. 214 с.
4. *Смирнов В.И., Гончарова Т.Я.* Орудных гальках в породах кровли Урупского медноколчеданного месторождения на Северном Кавказе. // Докл. АН СССР, 1959, т.126, №1. С.142-143.
5. *Смирнов В.И.* Рудные месторождения СССР. В 3-х т. Изд. 2-е, перераб. и доп. Т. 2. М.: Недра, 1978. 399 с.
6. *Твалчрелидзе А.Г., Ярошевич В.З., Нарозаули Н.Г.* Генетическая модель Урупского медноколчеданного месторождения // Геол. рудн. месторожд. 1979. №6.
7. *Январёв Г.С., Бобомуротов Б.Б.* Объемная цифровая модель глубоких горизонтов Главной рудной залежи Урупского медно-колчеданного месторождения // Геология и геофизика Юга России. 2023. 113(1): 125-135. DOI: 10.46698/VNC.2023.90.90.009.

ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© И.А. Богуш¹, Г.В. Рябов¹, В.И. Черкашин², Н.А. Исаева²

¹ЮРГПУ, Новочеркасск

²Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. В статье приводятся исследования по изучению Тоханского черносланцевого комплекса, которые позволили определить благородную (Au, Pt, Pd) рудоносность и металлогеническую роль толщи верхнего девона. Работы по изучению палеозойского черносланцевого комплекса, входящего в состав офиолитовой колчеданосной формации Северного Кавказа, состояли из разнообразного комплекса наблюдений при специальных исследованиях по целевой производственной и научной тематике. Проведенные минералогические, петрографические и геохимические исследования полевого материала позволили всесторонне описать изучаемые объекты черносланцевой толщи.

Ключевые слова: Северный Кавказ, рудоносность, черносланцевая толща, рудные поля, минералогия, литология, петрография.

Введение

Планомерные работы по изучению Тоханского черносланцевого комплекса Северного Кавказа авторами были начаты в 2001-2005 гг. В качестве полевой геологической основы по Северному Кавказу использовались многолетние материалы работ геологов ЮРГПУ (НПИ) (И.А. Богуш, Г.В. Рябов, В.С. Исаев, Н.В. Глазырина, А.А. Бурцев, А.Б. Кафтанатий, И.И. Сендецкий, В.В. Якушев) и Дагестанского центра РАН (В.И. Черкашин, А.Р. Юсупов, М. Абдуллаев). Обобщение материалов этих геологов, в конечном итоге, привело к определению благородной (Au, Pt, Pd) рудоносности и металлогенической роли черносланцевой толщи верхнего девона [2, 3].

Палеозойские (D_{2-3}) кремнисто-вулканогенно-терригенные черносланцевые толщи тоханского типа выделены в Передовом хребте Северного Кавказа Г.И. Барановым, А.Н. Долей, и В.Н. Доброродным в 1984 г. Тоханский черносланцевый комплекс развит в полосе протяженностью 200 км и включает андрюкскую и артыкчатскую (бахмуткинскую) свиты среднего девона. Породы этих свит обнажаются преимущественно на западном (междуречье Уруп-Малая Лаба) и восточном (междуречье Баксан-Теберда) флангах указанной полосы. Мощность тоханской черносланцевой серии, составляет в разных местах 900-1500 м, местами до 2500 м, а ширина выходов по поверхности достигает в Урупо-Лабинском районе 8-10 км.

Работы по изучению палеозойского черносланцевого комплекса, входящего в состав офиолитовой колчеданосной формации Северного Кавказа, состояли из разнообразного комплекса наблюдений при специальных исследованиях по целевой производственной и научной тематике. Исследования сланцев реализовались при составлении геологических карт и карт рудной нагрузки масштабов 1:2000–1:10000; изучения и минералогического картирования рудных полей Урупского, Худесского, Быковского, Бескесского колчеданных месторождений, с изучением также чёрных сланцев;

минералогическими, петрографическими и геохимическими исследованиями отдельных участков и профилей по всей полосе девона и черносланцевой формации [1,4]. Результатами проведённых работ послужило всестороннее литолого-петрографическое описание черносланцевых толщ.

Вещественный состав чёрных сланцев Северного Кавказа

Состав чёрных сланцев достаточно однороден и укладывается в классическое определение этих пород (табл. 1).

Таблица 1
Литологический состав разреза отложений андрюкской свиты (р. Б. Лаба)

Порода	Средний объем, %	Вариации объёма, %	Средняя мощность, м	Вариации мощностей, м
Филлиты	74,5	62-83	8,1	0,2-115
Известняки	0,5	0-0,7	6,2	1-20
Метаалевролиты	8,0	2-20	1,0	0,1-5
Метапесчаники	2,0	1-3	4,3	1,5-10
Метагравелиты	12,5	2-28	14,3	1-120
Метаконгломераты	2,5	0-7	42,5	20-65

Основываясь на реконструируемых минимальных содержаниях органического углерода, черносланцевые отложения Тоханской формации следует относить к низкоуглеродистым ($C_{орг}$ 1–3%). При микроскопическом изучении филлитов видно, что углистое вещество располагается по слоистости, но часто оно распределено в пределах шлифов относительно равномерно без микрослоистости.

Состав разреза толщи литологически неоднороден. Как отмечалось ранее И.И. Грековым А.Н. Долей, В.Н. Добродородным и Г.И. Барановым, псаммитовые породы в большей степени сосредоточены в верхней половине разреза, а кремнистые и карбонатные породы заметны в нижней половине. Петрографические исследования чёрных сланцев позволили авторам детализировать эту схему. В основании верхней половины разреза артыкчатской свиты обломочный состав пород имеет полимиктовый состав с преобладанием зёрен кремнистых пород и серпентинитов. В верхней части разреза прослой песчаника среди сланцев также являются полимиктовыми породами, но в составе их распространены аллотигенные зёрна магматических пород среднего и кислого состава. Типоморфным минералом аллотигенной аксессуарной составляющей является красно-бурый и желтовато-бурый хромшпинелид (пикотит), часто заключённый в обломки серпентинита. Количество зёрен шпинели, по наблюдениям В.С. Исаева, в шлифах не менее 5 штук, а максимально до 10-15 штук на шлиф. Размеры зёрен пикотита различные, при максимальной – до 2 мм по длинной оси, форма зёрен – оскольчатая. В отдельных шлифах в заметных количествах встречаются сфен, лейкоксен, мелкие зёрна минералов из группы эпидота, магнетит и пирит.

Петрографические особенности отложений андрюкской свиты

Отложения андрюкской свиты Тоханского комплекса представлены филлитами, гравелитами, алевролитами, песчаниками, конгломератами, известняками.

Филлиты составляют основной объём свиты. Цвет их чёрный, до темно-серого. Они интенсивно рассланцованы и кливажированы, нередко в нескольких направлениях. Местами филлиты имеют пльчатую текстуру.

Под микроскопом структура филлитов микролепидобластовая, микрогранолепидобластовая, бластоалевропелитовая, текстура сланцеватая, микропльчатая, линзовидно-сланцеватая, слоистая. Слоистость в шлифах филлитов проявлена в виде микрослойков в различной степени обогащенных углеродистым материалом или за счёт присутствия алевритистых микрослойков. Главными минералами являются хлорит, серицит, кварц, альбит, карбонаты и углеродистое вещество. Линзовидно-сланцеватая текстура филлитов обусловлена наличием линзочек размером до $0,4 \times 0,1$ мм, выполненных кварцем, реже кальцитом, но чаще пластинчатым хлоритом и серпентином (?). Занимают они обычно до 10% площади шлифов. Возможно, линзочки хлоритового состава представляют собой метаморфизованный первичный вулканический материал — главным образом, основного состава. Филлиты, обогащенные алевропсаммитовым материалом, обеднены углеродистым веществом, в них содержится относительно больше карбонатного материала, который преимущественно концентрируется в кливажных трещинках. Алевропсаммитовый материал представлен единичными угловатыми зёрнами кварца и альбита размером до $0,15\text{--}0,3$ мм, но основная масса зёрен имеет размер $0,05\text{--}0,07$ мм. Из аксессуарных минералов в филлитах отмечаются преимущественно пикотит.

В филлитах отмечается также биотит, развивающийся по хлориту в виде рассредоточенных листочков, имеющих одинаковые с серицитом размеры. Биотит и встречается спорадически и по распространённости заметно уступает серициту. Относительно редко биотит в филлитах встречается в значительных количествах, где обогащает отдельные слои. В обогащенных биотитом слоях он может достигать до 10% объёма и имеет более крупные размеры — до $0,1\text{--}0,3$ мм. Такие обогащенные биотитом участки филлитов приурочены к сериям жил «книжного кварца», где биотит входит в состав жил. Судя по морфологии выделений, зачастую не совпадающую с метаморфогенной ориентировкой минералов и неравномерности развития, следует признать гидротермально-метасоматическую природу биотита.

В филлитах отмечаются относительно редкие метаморфогенные сегрегации в виде жилообразных микролинз альбит-кварц-сульфидного состава. Мощность метаморфогенных сегрегаций — до $0,5$ мм, а протяжённость — до 3 мм. Они зональные, где центральная часть выполнена ксеноморфным агрегатом сульфидов (до 50%), а периферия представлена альбит-кварцевым агрегатом. Размер зерен альбита и кварца — $0,05\text{--}0,1$ мм, редко до $0,2$ мм. Кварц имеет волнистое погасание и преобладает над альбитом.

Гравелиты в рассматриваемом разрезе составляют около 10% объёма андрюкской свиты. Цвет гравелитов преимущественно тёмно-серый, до серого. Они обладают хорошо выраженной градационной слоистостью и рассланцованы. В отдельных прослоях гравелитов они нередко изменяют свой

гранулометрический состав к кровле до алевролита и даже алевритистого известняка. У обломочного материала, слагающего гравелиты, окатанность либо слабая, либо вовсе отсутствует. Обломки представлены жильным кварцем (около 10%), отдельными зёрнами sdвойникового полевого шпата, осадочными и магматическими породами. Осадочные породы по составу отвечают фтанитам, филлитам, полимиктовым песчаникам и известнякам. Из магматических пород отмечены обломки долеритов и андезитов. Одной из характерных черт обломочного материала всех образцов является присутствие вытянутых (расплюснутых) обломков серпентинитов, которые содержат, как правило, катаклазированные зёрна пикотита. По составу обломков могут быть выделены гравелиты со значительной примесью обломков серпентинитов (до 10–20%) и гравелиты с преобладанием кремнистых обломков, почти без серпентинитов. Петрографический состав гравелитов идентичен конгломератам.

Цемент в гравелитах сложен мелкозернистым агрегатом кварца и серицит-хлоритовым агрегатом, а также карбонатом. Присутствует большое количество обломков песчано-алевритовой и алевропелитовой фракции. Характер цемента поровый и базальный. Карбонат преимущественно выделяется в виде порового цемента, где стенки пор инкрустированы кварц-серицит-хлоритовым агрегатом. В гравелитах с повышенным содержанием серпентинитов в цементе присутствует преимущественно карбонат-хлоритовый с подчиненным кварцем агрегат, а карбонат представлен, как правило, доломитом. Гравелиты постоянно содержат рассеянную сульфидную минерализацию, представленную главным образом пиритом и пирротином. Сульфидизация развита между обломками, в цементирующем матриксе.

Алевролиты по объёму занимают третье место после гравелитов в рассматриваемом разрезе. Они слагают хотя и тонкие, но часто встречаемые, находящиеся в постоянном переслое с филлитами прослои. Мощность алевролитовых прослоев колеблется от первых мм до первых см. Границы их с филлитами, как правило, резкие. Состав обломков в них аналогичен таковому у песчаников и гравелитов. В них также, как и в гравелитах, присутствует рассеянная сульфидная минерализация.

Песчаники. Как самостоятельные прослои они являются относительно редкими, зачастую отличаются существенно карбонатным составом, местами переходя в кластоморфные известняки. Представляют они собой прослои и линзы серого или темно-серого цвета мощностью в первые сантиметры. Чаще же песчаники слагают верхние части прослоев градиационных гравелитов, в которых представлены карбонатными грубо- и крупнозернистыми разностями. Карбонатный материал здесь выражен в виде цемента. Реже песчаники слагают основания относительно мощных прослоев алевролитов.

Самостоятельные песчаные прослои в филлитах имеют граувакковый характер. Они характеризуются большим количеством алевропелитового матрикса, в который погружены не окатанные, остроугольные и разного размера обломки, вплоть до гравелитистых разностей. Обломочная составляющая граувакковых песчаников идентична по составу таковой в гравелитах. Очень редко отмечаются песчаники с крупными гальками и мелкими валунами размером до 20 см. Для песчаников, как и для других кластитов, характерна сульфидизация.

Конгломераты являются относительно более редкой литологической разностью. Преимущественно это серые и очень плотные породы, состоящие из

не окатанных, угловатых обломков кремнистых пород, известняков, филлитов, алевролитов, песчаников, серпентинитов, интенсивно тонко пиритизированных кварцитов и др. пород. В результате метаморфизма обломки нередко сильно уплощены, вытянуты в одном направлении и вдавлены друг в друга, что характерно для «пресс-структуры». Последняя подчёркивается интенсивным развитием субпараллельных трещин отрыва, расчлняющих обломки в поперечном по отношению к удлинению направлении. Возникшие трещины выполнены кварц-карбонатным агрегатом. Трещины за пределы прослоев не выходят. Конгломераты, как правило, несортированные, в некоторых прослоях размер обломков по удлинению может достигать 20–30 см. Слоистость в конгломератах проявлена в мощных пачках, как, например, на р. Уруп, где выражена в различии размеров наиболее крупных галек. В конгломератах развита сульфидная минерализация.

Как и для гравелитов, с которыми они могут быть связаны постепенными переходами, среди конгломератов выделяются две разновидности: с существенной долей обломков серпентинитов (до 10–20%) и кремнистые.

В кремнистых конгломератах кремнистые обломки составляют 60–55% обломков, где преобладают фтаниты. Фтаниты в большинстве своём светло-серые, содержат рассредоточенные метакристаллы карбоната (кальцит, доломит) в виде выраженных ромбоздров. Структура фтанитов мелкозернистая, местами неравномернозернистая за счёт очаговой собирательной перекристаллизации. Сравнительно реже отмечаются тёмно-серые фтаниты, окрашенные за счёт тонкой импрегнации углеродистым материалом (до 10–15%). Углеродистое вещество распределено в пространстве как в виде равномерной вкрапленности, так и в виде маркировки ленточной слоистости. Углеродистые фтаниты содержат также значительное количество микроскопической вкрапленности пирита. В некоторых обломках фтанитов пиритизация носит густой характер — до 5%. Во фтанитах местами встречаются радиолярии. В некоторых кремнистых обломках наблюдается реликтовая органическая структура в виде рогулек спикул губок.

Кроме кремнистых галек, в составе кремнистых конгломератов отмечаются гальки кремнистых сланцев (10–15%), известняков (20–15%), алевролитов, алевролитовых филлитов, филлитов (в сумме 10–15%) и единичные гальки эффузивных пород основного состава, а также кварца и плагиогранитов. Обломки известняков не окатанные, неправильной формы, щепковидные и подвержены наибольшей деформации в результате проявления пресс-структуры. Структура известняков микритовая. Изредка в них отмечаются реликтовые органические структуры в виде обломков мшанок, также отмечены остатки криноидей и водорослей.

Обломки алевролитов, алевролитовых филлитов, филлитов вытянутые, неправильной формы и также деформированы, что характерно для филлитов как результат вдавливания более крепких обломков. Филлиты (распространённость их в толще до 3–5%) обогащены органикой и имеют микролепидобластовую структуру.

Обломки эффузивов имеют преимущественно основной состав, характеризуются долеритовой и вариолитовой структурами.

Встречается также галька плагиогранитов, которая представлена двумя разновидностями: порфиоровидной и крупнозернистой. Порфиоровидные плагиограниты состоят из крупных (до 0,1 мм) выделений плагиоклаза (5–10%),

погружённых в кварц-плагиоклазовый агрегат с микропегматитовой и графической структурами. Крупнозернистые плагиограниты равномернозернистые (размер зёрен до 1 мм) с гранитной структурой. Плагиоклаз в них, как и в порфириовидных, очень редко сдвойникован и представлен идиоморфными зёрнами, между которыми располагается более мелкий ксеноморфный кварц.

Характерной особенностью всех конгломератов является присутствие обломков хромшпинели типа пикотита не окатанной оскольчатой формы размером до 0,5 мм и раздробленной со структурой «разбитой тарелки». Трещины между осколками выполнены серпентинитом. Раздробленные обломки хромшпинели имеют шестовато-волокнистую оторочку фуксита и гарниерита в тенях давления.

В конгломератах с существенной долей обломков серпентинитов присутствует аналогичный набор обломков, но серпентинитов до 10–20% и присутствуют в резко повышенном количестве аллотигенные зёрна хромшпинели. На площади шлифа их может насчитываться более 3–5 зёрен. Обломки серпентинитов имеют волокнистую структуру. Они более деформированы и раздавлены, чем окружающие обломки, обтекают их и содержат раздробленные зерна хромшпинели со структурой «разбитой тарелки». В данном типе конгломератов в цементе наблюдается присутствие доломита или доломитизация, развиты невыдержанные прожилки доломита.

Цемент в обоих типах конгломератов, как правило, мало. Обломки плотно упакованы и на некоторых участках зачастую соприкасаются без цемента. Цемент составляет 3–5% объёма, участками до 8–10%. Тип цемента плёночный, поровый, регенерационный. Состав цемента карбонатный, хлорит-серицит-кварцевый. Его состав может варьировать и определяется составом ближайших галек. Вблизи обломков известняка преобладает карбонатный цемент. Карбонатный цемент заполняет также крупные поры. Кварцевый цемент, как правило, регенерационного типа, развит преимущественно между кремнистыми обломками. Среди кремнистых и алюмосиликатных обломков в составе цемента участвует серицит. Серпентин и хлорит, совместно с доломитом, развит близ серпентинитовых обломков.

Характерной особенностью цемента является повсеместное присутствие непросвечивающего углистого вещества или в виде тонких плёнок между соприкасающимися обломками, вплоть до стилолитовидных швов, или в виде линзовидных, обтекающих обломки выделений.

Известняки в разрезах на данном участке встречаются в виде единичных прослоев мощностью до 20 см. Цвет их от серого до тёмно-серого, состав алевропелитовый, контакты с вмещающими филлитами нерезкие. На выветрелой поверхности заметно грубослоистое строение и отмечается ожелезнение, что указывает на присутствие железистых карбонатов в составе известняков. Известняки пронизаны, до брекчирования, разноориентированными жилками белого кальцита, которые не выходят за пределы прослоев. Микротекстура алевропелитовых известняков линзовидно-сланцеватая, структура гранобластовая с реликтовой алевритовой структурой.

Алевритовые зёрна размером до 0,1 мм (реже — до 0,3 мм) составляют около 5% объёма породы и представлены кварцем и альбитом. Линзовидно-сланцеватая микротекстура алевропелитовых известняков подчёркивается распределением тонкодисперсного углистого вещества и чешуек серицита.

Трещины отрыва выполнены крупнозернистым агрегатом ремобилизованного чистого кальцита. Органогенных структур не отмечено.

Лито-петрографические особенности отложений артыкчатской свиты

Лито-петрографическая характеристика отложений артыкчатской свиты Тоханского комплекса приводится на основе полевых исследований И.А. Богуша, В.С. Исаева, Н.В. Глазыриной, проведённых в верхнем течении бассейнов рек Чучкур и ручья Конуш-Кол, а также на Тырнаузском рудном поле [1].

Петрографический состав алевропелитовых пород данного участка отличий от рассмотренных выше отложений андрюкской свиты не обнаруживает. Обращает при этом на себя внимание более широкая распространённость пород псаммито-псефитовой фракции. В образцах песчаников и конгломератов из нижней и средней части разреза южного блока формации исключительно преобладают обломки кремнистых пород с зернистостью, проявляющейся на микроскопическом уровне, и местами с микрогранобластовой структурой. Большая часть из них имеет светлую окраску, а некоторые серую и чёрную — из-за обилия углеродистого вещества.

На втором месте по распространению в этих породах находятся обломки серпентинитового или хлорит-серпентинитового состава неправильной формы, как правило, удлинённые и изогнутые, «облекающие». Структура их волокнистая, пластинчатая, редко радиально-лучистая. Обычно к ним приурочены зерна хромшпинелидов — пикотита (рис. 1 а,б), причём иногда встречаются фрамбоиды в цементе в виде чёрных шариков (рис. 1 а).

Форма зёрен хромшпинелидов оскольчатая, цвет красновато-бурый или желтовато-бурый. Самые крупные из них достигают 2–3 мм по удлинению. Встречаются они почти в каждом шлифе в количестве не менее 5 шт., а иногда 10–15 шт. на шлиф.

В заметных количествах в рассматриваемых породах присутствуют обломочные зёрна кварца, кварцитов, плагиоклаза и кварц-карбонатные обломки. В качестве единичных зерен встречаются обломки основной массы кислых и основных вулканитов (рис. 1 в,г).

В верхней части разреза рассматриваемого блока формации, приконтактной с кынырчадской свитой нижней перми (мощность 400–450 м), отмечаются редкие прослои (мощность не превышает 3–4 м) средне-крупнозернистых песчаников с примесью редких обломков гравийной фракции кремнистых пород. В составе их заметно преобладают (55–85%) литокласты плагиодацитов, андезитов, иногда плагиориолитов. Широко также распространены плагиоклаз и кварц, обычными являются обломки кварцитов, филлитов, кремнистых пород и серпентинитов. В качестве единичных зёрен присутствуют турмалин и хромшпинелиды. Цемент пород преимущественно хлоритовый, поровый.

В составе конгломератов присутствуют окатыши алевролита с характерными (исключительно для отложений Тоханского покрова) аллотигенным хромшпинелидом (рис. 1 д,е). Учитывая, что более древние — силурийские — отложения имеют «зрелый» кварцевый состав, то следует признать, что это продукт внутриформационного перемыва (турбидитного переотложения).

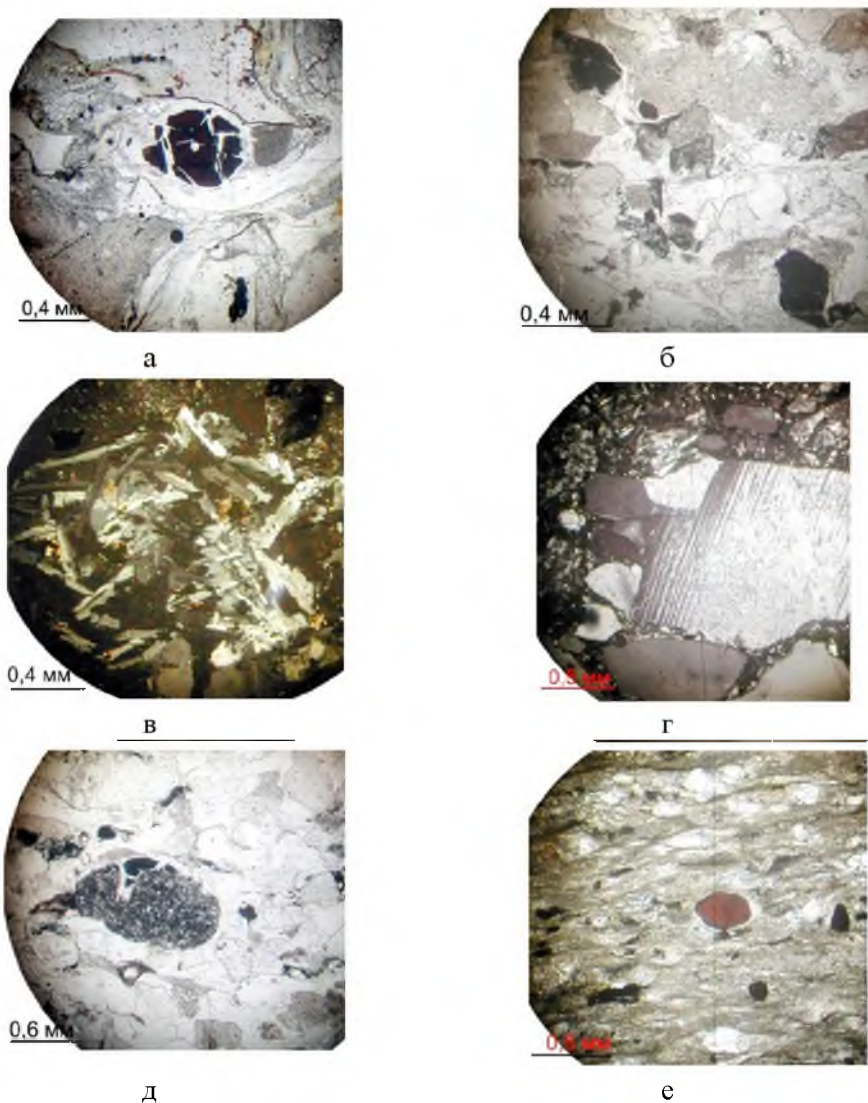


Рис. 1. Петрографический состав кластиков артыкчатской свиты:

а — обломки фтанитов и деформированных серпентинитов с пикотитом (николи ||);
 б — аллотигенные зёрна пикотита среди обломков фтанитов и серпентинитов, цемент хлорит-карбонат-серпентиновый (николи ||); в — обломок долерита (николи ×);
 г — обломок кислого полисинтетически сдвойникового плагиоклаза (николи ×);
 д — окатыш алевролита с аллотигенным пикотитом в серпентиновой «рубашке» (николи ||); е — пикотит в алевролитистом филлите (|николи |)

На Тырнаузском рудном поле отложения, относимые к Тоханскому покрову и, соответственно, к артыкчатской свите, отмечаются как в южном, так и северном блоках месторождения. В южном блоке они полностью преобразованы в биотитовые роговики, часто содержащие кордиерит. В северном блоке отложения охвачены контактовым метаморфизмом локально и в основном в пределах развития редкометалльных рудопоявлений. В пределах указанного блока отложения свиты обнажаются в составе тектонических покровов — № 4, № 5 (Гитче-Тырнаузского). Представлены они в основе своей

алевропелитовыми сланцами (филлитами) с единичными прослоями песчаников и «кремнистых» сланцев. Максимальной мощности (450–500 м) они достигают в составе покрова № 4. Это преимущественно серые, вишнёво-красные и зеленоватые филлиты, состоящие из кварца, серицита, хлорита и рассеянной пылевидной, либо линзовидно обособленной органики. В некоторых шлифах сланцев установлены единичные зёрна красно-бурых хромшпинелидов (рис. 1 е), а в одном из обнажений обнаружена уплощённой формы ожелезнённая галька апогипербазитовой кварц-карбонатной породы. Галька достигает 45 мм в диаметре, и в составе её отмечаются единичные зёрна хромшпинелидов.

Единственный, сравнительно мощный (4–5 м) прослой грубозернистых песчаников встречен в верхней части разреза свиты в составе покрова № 4 в приконтактной зоне с дифференцированным силлом ультрамафитов, который локализован по контакту кизилкольской и артыкчатской свит. Сложен он обломками кремнистых пород (20%), обломками серпентинитов (до 15%) — сплюснутыми и выполняющими роль своего рода цемента; обломки часто включают хромшпинелиды и единичными гравийной фракции обломками базальтоидов и плагиогранитов (рис. 1 г). Цемент песчаника алевропелитовый базальный.

В целом петрографический состав и характер разреза отложений Тоханского покрова участка Тырныаузского рудного поля также в целом схож с охарактеризованными выше отложениями андрюкской свиты. Здесь также характерной чертой кластических пород является присутствие фтанитов и серпентинитов, а также присутствие в заметных количествах аллотигенных хромшпинелидов. Единственным и заметным отличием данного участка является то, что здесь присутствуют разности филлитов, имеющие лиловую и зелёную окраску, что, вероятно, обусловлено контактными изменениями.

Таким образом, литолого-петрографические особенности черносланцевых пород Тоханского покрова Северного Кавказа указывают на определяющую роль в их составе продуктов размыва ультраосновных пород.

Литература

1. *Богущ И.А., Исаев В.С., Глазырина Н.В.* Вещественный состав и условия формирования палеозойской черносланцевой формации зоны Передового хребта Северного Кавказа // Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии юга России и Кавказа. Материалы 4-й науч. междунар. конф. Том 1. Актуальные проблемы геологического изучения Южного Региона. Новочеркасск. 2004. С. 57-72.
2. *Богущ И.А., Черкашин В.И., Рябов Г.В. и др.* Новый тип оруденения благородных металлов на Северном Кавказе // Доклады РАН. 2016. Том 466. № 2. С. 193-195.
3. *Богущ И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А.* Черносланцевая провинция благородных металлов (Au, Pt, Pd) Северного Кавказа // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы IX-й Всерос. науч.-тех. конф. Том IX. М.: ИИЕТ РАН, 2019. С. 121-129.
4. *Гончаров В.И., Богущ И.А., Глазырина Н.В., Исаев В.С.* Литология, геохимия и золотоносность черносланцевых комплексов Северного Кавказа // Вестник ЮНЦ РАН. 2005. Т.1. № 4. С. 58-64.

О МЕТАЛЛОГЕНИИ КИММЕРИЙСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА ЮГА РОССИИ

© Н.И. Бойко
ЮФУ, Ростов-на-Дону

Аннотация. Выполненными исследованиями показано, что одним из основных факторов образования киммерийских железных руд на юге России являлись подстилающие меотические мшанковые органогенные постройки. Они сформировались в аномальных для биогермообразования условиях терригенной седиментации в Еникальском (Керченском) проливе и оказывали существенное влияние на процессы осадконакопления не только в меотическом море, но и в сменивших его понтическом и киммерийском бассейнах седиментации. При этом в киммерийское время меотические постройки, располагаясь в виде морфологически выраженного бара в единственно оставшемся проливе, соединявшем Азово-Кубанский киммерийский суббассейн с Черным морем, препятствовали выносу рудного вещества, а также способствовали его дифференциации в зоне палеопроталива.

Ключевые слова: юг России, киммерийский ярус, железные руды, органогенные постройки.

Киммерийские железорудные отложения получили широкое распространение в Азово-Кубанском регионе на юге России. Они установлены в Северном Приазовье, в восточной (Присивашской) части равнинного Крыма, на Керченском и Таманском полуостровах, в Западном и частично Центральном Предкавказье. К ним приурочены Керченское, Приазовское, Таманско-Прикубанское месторождения железных руд, а также рудоносные площади восточной части равнинного Крыма и акватории Азовского моря. Железные руды бассейна относятся к широко распространенному и хорошо изученному типу оолитовых руд. Они образовались на морском мелководье в условиях теплого и влажного климата, способствовавшего формированию на прилегающей суше мощной коры выветривания и интенсивному привносу в бассейн седиментации рудных компонентов. Доказанным также считается, что оолитовые гидрогётит-сидерит-хлоритовые руды Азово-Кубанского бассейна накапливались в прибрежно-мелководной обстановке в заливах и лагунах, а также на участках киммерийского моря с архипелаговым ландшафтом [2, 8, 13].

В настоящее время возникла необходимость существенного расширения и рационального размещения минерально-сырьевой базы железных руд на юге России. Это возможно осуществить прежде всего за счёт открытия новых перспективных объектов на сопредельных, по отношению к разрабатываемым Керченским киммерийским месторождениям, территориях прежде всего Таманского полуострова и Северо-Западного Кавказа. С этой целью нами, принимая в качестве главного поискового критерия считавшуюся достоверно доказанной фациальную приуроченность промышленных скоплений железных руд к прибрежно-мелководным участкам бассейна седиментации, был проведён литолого-фациальный анализ рудовмещающих киммерийских отложений. Азово-Кубанского региона. В составе киммерийского яруса выделены следующие основные литолого-фациальные комплексы: внешнего шельфа, внутреннего шельфа и прибрежно-мелководный [5].

Отложения внешнего шельфа неширокой полосой по северным и восточным районам Керченского полуострова, далее через одноименный пролив на Таманский полуостров, где их выходы прослеживаются в восточном направлении до городов Анапы и Крымска. В этой зоне породы киммерийского яруса залегают в локальных плоских синклиналях, разделенных антиклинальными структурами, сложенными более древними подстилающими образованиями. Отложения литолого-фациального комплекса внутреннего шельфа значительно распространены в изучаемом регионе. Однако, на дневную поверхность они не выходят, а вскрыты скважинами в пределах Западно-Кубанского и Индольского прогибов, являющихся сегментами более крупного Индо-Кубанского прогиба. Литолого-фациальный комплекс прибрежно-мелководных отложений узкой полосой оконтуривает область распространения морских киммерийских образований рассматриваемого региона. Для изучения они наиболее доступны вдоль северного склона Северо-Западного Кавказа. Здесь, как и в остальной части развития прибрежно-мелководных отложений, ввиду сравнительно редких находок фауны и однообразия литологического состава пород, подразделить киммерийский ярус на слои не представляется возможным. В основу выделения каждого из киммерийских литолого-фациальных комплексов положено детальное изучение вещественного состава, строения и условий образования образующих их пород.

Выполненные фациальные построения и палеогеографические реконструкции киммерийского осадконакопления должны были служить, как отмечалось выше, надежной основой прогнозирования железных руд. Однако анализ состава выделенных в регионе прибрежно-мелководных отложений киммерийского яруса, а также специально проведенные полевые работы не позволили выделить здесь промышленно перспективные площади на железные руды. То есть на практике оказалось, что далеко не со всеми прибрежно-мелководными отложениями связаны перспективные площади.

Начавшиеся работы по выявлению новых промышленных месторождений железных руд в киммерийских отложениях юга России показали, что считавшаяся всеобъемлющей генетическая модель этого железорудного бассейна [2,13] является не полной. Она не учитывает одну важную, а для определения направлений дальнейших геологоразведочных работ на железные руды в регионе, возможно, и определяющую, деталь палеогеографической обстановки. Эта деталь заключается в существенном влиянии на процессы киммерийского осадконакопления вообще и формирования железных руд, в частности, подстилающих меотических мшанковых органогенных построек, которые впервые были описаны еще в начале века Н.И. Андрусовым [1] и после этого никем практически не изучались. Выполненный нами литолого-фациальный анализ меотических отложений рассматриваемого региона показывает, что вмещаемые ими органогенные постройки формировались в Еникальском (Керченском) проливе, соединявшем мелководный Азово-Кубанский меотический бассейн с относительно глубоководным Черноморским бассейном [6]. Именно в этом проливе, на границе участков дна с различной глубиной, обычно на крыльях сингенетично развивающихся антиклинальных структур, создавались условия, способствующие формированию такого специфического объекта, как мшанковые органогенные постройки. Причем постройки росли одновременно с накоплением глинистого материала, что является нехарактерным для

биогермообразования. В данном случае этому способствовало сочетание ряда факторов. К таковым относятся прежде всего активная гидродинамика, небольшая глубина, обилие света. Да и сами мшанки, в связи со своими экологическими особенностями, как никакой другой организм-биогермообразователь способны приспосабливаться к аномальным условиям. Они могут сопротивляться засыпанию осадком, сбрасывая его с себя [11]. Немаловажно и то обстоятельство, что в ядрах построек мшанки образуют кустистые колонии, т.е. являются обычными каркасными организмами, а по краям приобретают стелющиеся формы, образуя совместно с водорослями крепкие волноустойчивые корки [12]. Именно такие корки повсеместно наблюдаются в составе мшанковых построек Азово-Кубанского региона.

Несомненно, биогермообразованию в Еникальском (Керченском) проливе способствовало и наличие здесь необходимого для активного развития мшанок количества питательных веществ, поставляемых направленными течениями со стороны Азово-Кубанского моря. Эти течения, обусловленные избыточно поступающей в меотический бассейн седиментации пресной водой речного стока, выносили также через Еникальский (Керченский) пролив в Черное море тонкий (преимущественно глинистый) материал. А так как в проливе в это время формировались морфологически выраженные в рельефе дна мшанковые постройки, то пелитовый осадок задерживался здесь и совместно с постройками образовывал своего рода баровый барьер между Азово-Кубанским и Черноморским бассейнами. Этот барьер, как показывает анализ геологических материалов по району исследований, существенно влиял на процессы осадконакопления не только в меотическом море, но и в сменившем его понтическом бассейне седиментации. В это время постройки из-за своей морфологической выраженности не только формировали подводный рельеф в зоне мелководного Еникальского (Керченского) пролива, но на отдельных участках, прежде всего в его западной части, представляли собой острова наподобие прекративших рост атоллов.

Аналогичная палеообстановка в зоне Еникальского (Керченского) пролива сохранилась и в киммерийское время. Подстилающие меотические органогенные постройки и в это время продолжали существенно влиять на процессы осадконакопления. Прежде всего они, будучи расположенными в единственно оставшемся проливе, соединявшем Азово-Кубанский киммерийский суббассейн с Черным морем, из-за своей морфологической выраженности продолжали играть роль бара. Именно этот бар препятствовал выносу терригенного материала и рудного вещества из Азово-Кубанского водоема. Поступавшие с северной, западной и восточной суши железо и другие рудные компоненты направленными с севера на юг течениями переносились в сторону Еникальского (Керченского) пролива, где в основной своей массе осаждались в пределах барового сооружения, представленного, как отмечалось выше, в первую очередь морфологически положительно выраженными в рельефе дна пролива меотическими постройками. Ведь, как известно, любая геоморфологическая выраженность, даже крайне незначительная, приводит к изменениям динамики среды осадконакопления, что резко сказывается на составе осадков. Как установлено [7, 10], при пересечении потоком геоморфологически выраженной структуры скорости на своде возрастают, а на крыльях и тем более в западинах и у основания – уменьшаются. Это происходит по двум причинам: 1 – через разные сечения за одно и то же время должен

пройти одинаковый объем воды; 2 – в западинах дна вода в некоторой степени выключается из активного движения. Таким образом, геоморфологически отрицательные межрифовые и пририфовые участки внешнего шельфа Азово-Кубанского киммерийского моря в силу своей меньшей энергонасыщенности являлись, с одной стороны, своего рода ловушкой для тяжелых минералов и рудного вещества, а с другой – отстойником, где накапливался тонкий (в основном пелитовый и алевроитовый) материал легкой фракции. Такую же роль, по мнению Г.А.Каледа [9], играли западины и синклинали, расположенные на относительно крупной, конседиментационно развивавшейся антиклинальной структуре Гальча-Баши (Южная Фергана).

Частично рудное вещество осаждалось и на путях миграции, прежде всего в прибрежно-мелководной зоне. Но основной его объем накапливался в зоне барового тела, преграждавшего вынос терригенного материала через палеопролив. Именно этим объясняется тот факт, что, несмотря на широкое распространение киммерийских железистых пород в рассматриваемом районе, промышленные месторождения железных руд установлены только в зоне палеопролива, причем именно в зонах биогермного палеобарьера.

Немаловажное значение меотических органогенных построек в киммерийском рудообразовании заключается также в их влиянии на распределение железных руд непосредственно в зоне палеопролива. Предыдущими исследователями показано, по крайней мере для Керченского полуострова, что наиболее богатые руды формировались по склонам антиклинальных структур, резко ухудшаясь в сторону разделяющих их синклиналей. Но при этом никто не заметил, что железные руды окаймляют не все антиклинальные зоны, а только те из них, которые сами обрамляются меотическими рифогенными постройками. А в том случае, когда такие постройки отсутствуют, отсутствуют и железные руды или их качество резко понижается.

При этом, как хорошо видно на примере Камыш-Бурунской, Керченской, Чегене-Акташской и других синклиналей, наиболее богатые железные руды залегают не по всему периметру структуры, а только непосредственно к югу за меотическими постройками. В этом случае роль построек заключалась в том, что они препятствовали разубоживанию железистых осадков терригенным материалом, выносимым направленными течениями, как отмечалось выше, из Азово-Кубанского в Черноморский суббассейн.

Нельзя не обратить также внимание на то обстоятельство, что практически все исследователи указывают на сортирующую роль морских вод в процессе накопления киммерийских железистых осадков. Не отрицая значения этого фактора, необходимо только добавить, что сложный рельеф зоны промышленного рудообразования во многом обуславливался наличием выступающих на дне органогенных построек. Именно с зонами предшествующего биогермообразования связаны наиболее богатые оолитовые и так называемые “икряные” руды.

Рассмотренные факты сопряженности киммерийской железорудной седиментации с меотическим биогермообразованием указывают на необходимость учета при построении генетических моделей рудных месторождений не только сингенетического [3, 4], но и предшествующего по времени биогермообразования. Без этого генетические реконструкции будут неполными, а в ряде случаев, возможно, и необъективными.

Выполненные исследования позволяют предположить, что существенное влияние меотические органогенные постройки оказывали и на формирование киммерийских россыпных месторождений Таманского полуострова, образование которых во многом определялось гидродинамическим фактором, часто контролируемым предшествующим по времени биогермообразованием.

Литература

1. Андрусов Н.И. Ископаемые мшанковые рифы Керченского и Таманского полуостровов // Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Том 1. С. 395-540.
2. Арбузов В.А., Бобрушкин Л.Г., Литвиненко А.У. и др. Керченский железорудный бассейн. М.: Недра, 1967. 576 с.
3. Бойко Н.И. Геохимические особенности рифогенных образований // Литология и полезные ископаемые. 1998. N 2. С.145-152.
4. Бойко Н.И. К металлогении рифогенных комплексов // Руды и металлы. 1999. N 6. С. 18-25.
5. Бойко Н.И. Происхождение киммерийских железных руд Азово-Кубанского региона // Руды и металлы. 2000. № 5. С. 44-50.
6. Бойко Н.И. Литолого-фациальные особенности и условия образования меотических отложений Азово-Кубанского региона // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 2. С. 182-186.
7. Великанов М.А. Русловый процесс. М.: Изд-во физ.-мат. литер., 1958. 395 с.
8. Голубовская Е.В. О происхождении «коричневых» руд Керченских железорудных месторождений // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 3. С. 244-251.
9. Каледа Г.А. О влиянии конседиментационных структур на формирование гранулометрического и минерального состава отложений (на примере антиклинали Гальча-Баши, Южная Фергана) // Литология и полезные ископаемые. 1969. № 1. С. 131-141.
10. Каледа Г.А. Вопросы методики изучения изменчивости состава и физических свойств горных пород на тектонических структурах // Вопросы методики изучения литологии в нефтегазоносных областях. Вып. 91. М.: ВНИГНИ 1970. С. 93-107.
11. Королюк И.К., Михайлова М.В., Равикович А.И. и др. Ископаемые органогенные постройки, рифы, методы их изучения и нефтегазоносность. М.: Наука, 1975. 236 с.
12. Кузнецов В.Г. Геология рифов и их нефтегазоносность. М.: Недра, 1978. 304 с.
13. Юрк Ю.Ю., Шнюков Е.Ф., Лебедев Ю.С., Кириченко О.Н. Минералогия железорудной формации Керченского бассейна. Симферополь: Крымиздат, 1960. 450 с.

МОЛОДЫЕ ИГНИМБРИТЫ БОЛЬШОГО КAVKAZA: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, ОСОБЕННОСТИ СОСТАВОВ И ИСТОЧНИКИ ПЕРВИЧНЫХ МАГМ

© С.Н. Бубнов, И.А. Кондрашов, Ю.В. Гольцман, Т.И. Олейникова
ИГЕМ РАН, Москва

Аннотация: Молодые игнимбриты Большого Кавказа распространены в пределах Эльбрусской неовулканической области и маркируют соответствующие фазы активности четвертичного Эльбурского и плиоценовых Тырнаузского и Чегемского вулканических центров. Рассмотрены особенности пространственного размещения этих центров, фазы их активности, а также место игнимбритов и ассоциированных с ними пирокластических образований в их вулканогенных разрезах. Проведен анализ вещественного состава игнимбритов; обозначены наиболее вероятные источники их материнских магм.

Ключевые слова: игнимбриты, эксплозивный вулканизм, неовулканический центр, мантийные и коровые источники, изотопная систематика, петрология

В пределах Большого Кавказа выделены два этапа молодого катастрофического игнимбритового вулканизма: один из них приходится на плиоценовое, другой – на четвертичное время. Продукты вулканизма этого типа, локализованные в пределах Эльбрусской неовулканической области, являются органичной частью вулканогенных разрезов молодых вулканических центров – основных фокусов неоген-четвертичного магматизма Кавказского региона. Извержения плиоценовых игнимбритов и ассоциированных с ними туфов маркируют соответствующие фазы развития Тырнаузского и Чегемского вулканических центров; продукты четвертичного игнимбритового вулканизма региона входят в состав вулканогенных разрезов Эльбурского вулканического центра.

Тырнаузский неовулканический центр в плиоценовое время был локализован в субширотной полосе от верхнего течения р. Баксан до истоков р. Кубань и ее правых притоков (рис. 1). Время проявления магматической активности центра – средний-поздний плиоцен (от ~3.0 до ~1.8 млн. лет назад) [10]. Ее начальная фаза была связана с развитием эксплозивного, преимущественно взрывного типа, вулканизма около 3-2.75 млн. лет назад (истоки рек Малка и Ирик). Среднеплиоценовые игнимбриты и ассоциированными с ними пирокластические образования слагают нижнюю часть вулканогенного разреза района ледника Уллукол, пик Липаритовый (перевал Ирикчат), останец в истоках р. Бирджалысу и обнажаются на горе Тузлук (басс. р. Малка). Один из центров эксплозивных извержений трещинного типа этой среднеплиоценовой фазы, по-видимому, располагался в районе перевала Ирикчат, где его останцы маркируются серией даек «фельзит-порфиров» [4]. Вторая (позднеплиоценовая) фаза Тырнаузского центра была преимущественно связана с развитием интрузивного кислого магматизма 2.5–2.1 млн. лет назад [10 и др.]. Ее продуктом является одно из наиболее молодых плутонических тел планеты – Эльджуртинский гранитный массив. Заключительная фаза активности центра (1.95–1.8 млн. лет назад) маркирована проявлением эффузивного, субвулканического и гипабиссального интрузивного

магматизма [10 и др.]. На этой фазе сформировались Кыртыкский гранитоидный массив, дайки и штоки риолитов и витрофиров Тырнаузского рудного поля, дайки фельзитов и туфолавы бассейна р. Бийтик-Тёбе, а также дайки фельзитов устья р. Кыртык.

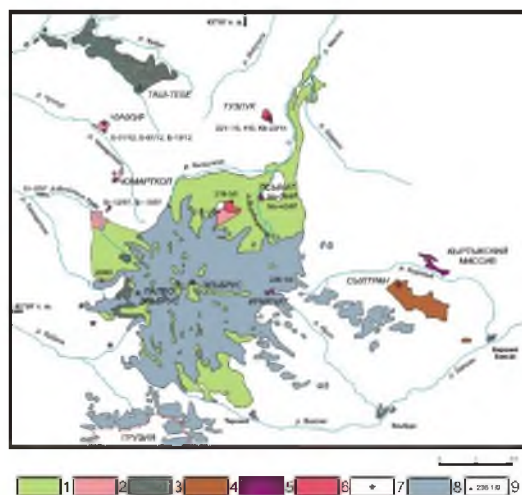


Рис. 1. Проявления неоген-четвертичного магматизма в Приэльбрусье

По [10] с изменениями и дополнениями авторов. 1 – средне-позднеплейстоценовые – голоценовые (?) лавы вулкана Эльбрус; 2 – раннелепистоценовые игнимбриты с ассоциированными пирокластическими образованиями Эльбрусского центра; 3 – раннелепистоценовые туфолавы и лавы Эльбрусского центра; 4 – эоплейстоценовые лавы Эльбрусского центра; 5 – позднелиоценовые гранитоиды; 6 – среднелиоценовые игнимбриты и ассоциированные с ними пирокласты Тырнаузского вулканического центра; 7 – достоверные и предполагаемые четвертичные вулканические аппараты; 8 – ледники и фирновые поля; 9 – места отбора проб.

Чегемский неовулканический центр расположен в междуречье рек Кестанты, Чегем, Малка и Баксан. Первая фаза активности центра (конец раннего плиоцена) связана с извержениями андезибазальтовых вулканов Сурх и Крандх (3.8-3.7 млн. лет. назад) [7 и др.]. В начале второй (эксплозивной) фазы активности Чегемского центра (конец среднего плиоцена) в верховьях р. Чегем проявлял активность внушительный вулкан, на месте которого около 2.8 млн. лет назад [12 и др.] возникла Верхнечегемская кальдера, где ассоциация игнимбритов и туфов образуют толщу мощностью более 2 км. Такой же возраст имеют игнимбриты и туфы Нижнечегемского нагорья – 2.8 млн. лет [12 и др.]. В это же время был сформирован и интрузивный массив Джунгусу, который завершает кальдерообразующую фазу активности Чегемского вулканического центра. Заключительная фаза активности центра (2.8–2.7 млн. лет назад) [12 и др.] связана с извержениями андезитовых вулканов Кумтубе и Кюйгенка.

Эльбрусский неовулканический центр расположен в водораздельной части бассейнов рек Кубань, Малка и Баксан (рис. 1). Начало его магматической активности приходится на эоплейстоцен (950-900 тыс. лет назад) и связано с проявлениями преимущественно эффузивного вулканизма в его восточной части (Тызыльский поток, вулканы Сылтран и Ташлысырт) [8 и др.]. Раннелепистоценовые игнимбриты западной части Приэльбрусья и ассоциированные с ними вулканииты являются продуктами активности вулканов

Палео-Эльбрус (р-н г. Кюкюртлюбаши), Чучхур, Чомарткол [10 и др.] и, в совокупности с близкими по возрасту средними по составу лавами вулкана Таш-Тебе, маркируют вторую фазу активности Эльбрусского центра – 840-700 тыс. лет назад. Преимущественно риодацитовый состав продуктов неоплейстоценового игнимбритового вулканизма этой фазы, их структурное положение, пространственная и временная сопряженность с продуктами эффузивного (лавового) магматизма [10 и др.] позволяют полагать, что они произошли не в результате эксплозивной активности взрывного типа, а при эксплозивно-лавовых извержениях. Следующие три фазы активности центра (225-170, 110-70 и менее 30 тыс. лет назад) связаны исключительно с лавовыми извержениями стратовулкана Эльбрус [8 и др.].

Все центры проявления молодого эксплозивного катастрофического вулканизма региона приурочены к выходам гранитно-метаморфических толщ варисийского фундамента. Нужно подчеркнуть, что плиоценовые игнимбриты Большого Кавказа большей частью произошли в результате эксплозивной активности взрывного типа (с образованием нередко кальдер обрушения), напротив, четвертичные игнимбриты и ассоциированные с ними вулканиты Эльбрусского неовулканического центра – при эксплозивно-лавовых извержениях.

Анализ вещественного состава ассоциаций плиоценовых и четвертичных игнимбритов Большого Кавказа показал, что они обладают как набором общих особенностей, так и значимыми различиями в минеральном, петрогеохимическом и изотопном составах слагающих их пород.

Типичный парагенезис кристаллокластов плиоценовых игнимбритов и туфов Чегемского центра – плагиоклаз (An_{21-42}), кварц и биотит. К ним в риолитовых разностях добавлен санидин, в дацитовых – гиперстен и амфибол. Изученные кристаллокласты плиоценовых игнимбритов Тырнаузского центра в основном представлены кварцем, биотитом и плагиоклазом (An_{18-47}). В большинстве разностей пород присутствуют санидин, реже ортоклаз; Крайне редко наблюдаются мусковит и микроклин ксеногенного происхождения. Основные минералы кристаллокластов четвертичных игнимбритов Эльбруса – плагиоклаз, биотит и кварц; устойчиво присутствует ортопироксен (обычно гиперстен), крайне редко встречается амфибол. Описаны и беспироксеновые разности игнимбритов (например, в бассейне р. Бийтик-Тёбе) [4 и др.]. В игнимбритах и заключенных в них фьямме всех вулканических центров нет принципиальных различий в наборе минералов кристаллокластов (вкрапленников) и составе матриц.

Точки составов четвертичных игнимбритов Эльбруса и плиоценовых игнимбритов Тырнаузского центра на классификационной диаграмме TAS ($SiO_2 - (K_2O + Na_2O)$) попадают в поля риодацитов, существенно реже дацитов нормальной щелочности (рис. 2). Составы плиоценовых пирокластических пород Чегемского центра более вариативны – от риолитов до дацитов нормального ряда и от трахириолитов до трахириодацитов K-Na субщелочной серии.

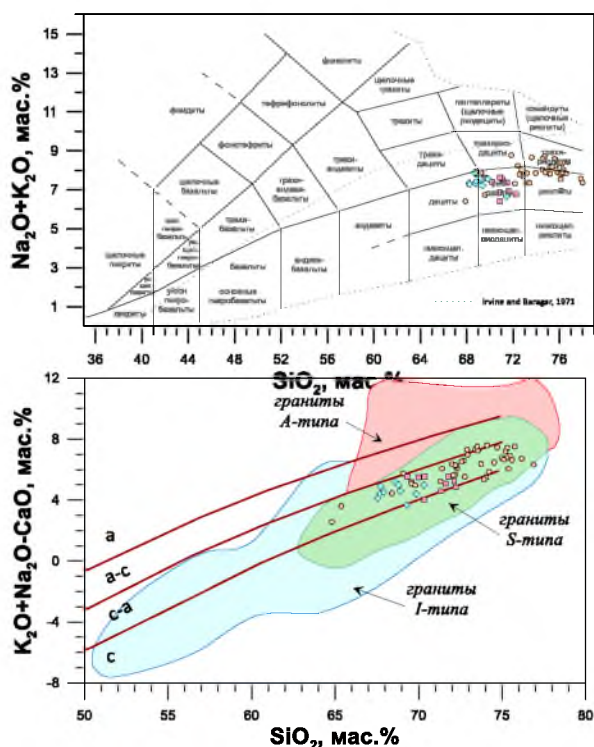


Рис. 2. Особенности составов молодых игнимбритов Большого Кавказа

Слева – Диаграмма TAS ($\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$) для молодых игнимбритов Большого Кавказа. Справа – Составы молодых игнимбритов Большого Кавказа на диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}) - \text{SiO}_2$ [11].

Кружки – плиоценовые игнимбриты Чегемского вулканического центра, прямоугольники – плиоценовые игнимбриты Тырныаузского центра, ромбы – четвертичные игнимбриты Эльбурского центра

Использованы оригинальные анализы и данные, заимствованные из работы [5].

Изученные игнимбриты Большого Кавказа по ряду геохимических характеристик вполне сопоставимы как с пост- и синколлизийными гранитоидами I- и S- типов, так и с внутриплитными гранитоидами А-типа. Так, на диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}) - \text{SiO}_2$ [11] (рис. 2) точки составов плиоценовых и четвертичных игнимбритов региона совместно образуют достаточно компактное поле, расположенное в области «перекрытия» известково-щелочных I-, S- и А-типов гранитов (рис. 2). Согласно диаграмме Nb–Y [19] все игнимбриты по своему химизму близки к островодужным и синколлизийным гранитоидам (рис. 3). По соотношению глиноземистости и алкаитности (диаграмма A/NK – A/CNK) [16 и др.] изученные пирокластические образования вполне сопоставимы с гранитоидами I- и S- типов, а точки их составов группируются в области, где обычно располагаются литий-фтористые граниты, генезис которых нередко связывают с внутриплитным мантийным диапиризмом (рис. 3).

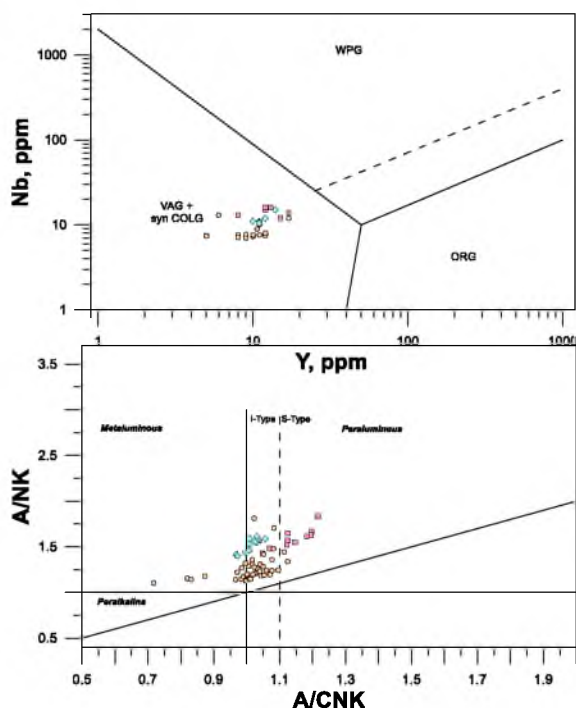


Рис. 3. Особенности составов молодых игнимбритов Большого Кавказа

Слева – Дискриминационная диаграмма Nb–Y [19] для молодых игнимбритов Большого Кавказа. Поля на диаграмме: ORG — граниты океанических хребтов; WPG – внутриплитные граниты; VAG – граниты вулканических дуг; syn-COLG – коллизионные граниты. Справа – Диаграмма A/NK – A/CNK [16 и др.] для игнимбритов Большого Кавказа. A = Al₂O₃, NK = Na₂O+K₂O, CNK = CaO+Na₂O+K₂O. I-III – поля гранитоидов: I – металоуминиевые, II – пералоуминиевые, III – перщелочные. Усл. обозначения см. рис. 2.

На диаграмме Ta/Yb – Th/Yb [18] (рис. 4) точки составов изученных пород расположены в области коровых производных вне поля составов пород активных континентальных окраин и что особенно важно вне поля составов GLOSS. Последнее обстоятельство может указывать на то, что в их генезисе вероятнее всего не участвовал субдукционный материал.

Итак, изученные игнимбриты и ассоциированные с ними пирокластические образования оказались своеобразными породами «смешанного» типа, обладающими геохимическими признаками кислых и умеренно-кислых магматических образований различных геохимических и генетических типов, сформированных в разнообразных геотектонических и геодинамических режимах.

Анализ Sr-Nd изотопной систематики плиоценовых игнимбритов и ассоциированных с ними магматических образований Большого Кавказа выявил следующее.

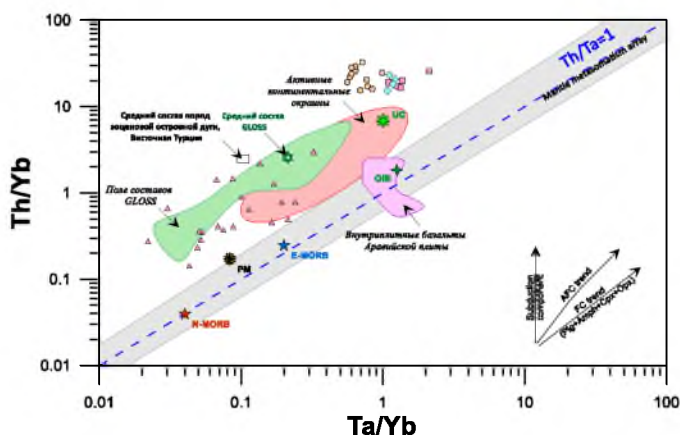


Рис. 4. Диаграмма Ta/Yb – Th/Yb [18] для молодых игнимбритов Большого Кавказа

Векторы FC и AFC взяты из [17]. Поля составов пород GLOSS взяты из [20]. Поля составов внутриплитных базальтов Аравийской плиты взяты из [22; 15 и др.]. Средние составы резервуаров E-MORB, N-MORB, OIB, PM, SC, UC и GLOSS взяты из [23; 20 и др.]. Усл. обозначения см. рис. 2.

Диапазон вариаций начальных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в четвертичных игнимбритах Эльбрусского вулканического центра составляет, соответственно, 0.70643–0.70686 и 0.51253–0.51248 (–2.2...–1.4 в единицах ϵ_{Nd}) [3]. Существенных различий в изотопном составе Sr и Nd продуктов эксплозивной активности вулкана Палео-Эльбрус и моногенных вулканов Чучхур и Чомарткол северо-западной периферии Эльбрусского центра не обнаружено: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70643\text{--}0.70648$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -2.2\text{...--}2.1$ для игнимбритов Чучхура и Чомарткола и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70645\text{--}0.70686$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -1.4\text{...--}2.2$ для игнимбритов Палео-Эльбруса. Интересна объектная изотопная систематика плиоценовых игнимбритов Чегемского центра. Начальные изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в игнимбритах и ассоциированных туфах Нижнечегемского нагорья составляют 0.70578–0.70629 и 0.51261–0.51260 (–0.5...–0.7 в единицах ϵ_{Nd}) [21; 3]. Правда, для одного образца риолитовых туфов Нижнечегемского плато опубликовано аномально высокое значение ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ = 0.71063 при существенно заниженном значении $\epsilon_{\text{Nd}} = -1.7$ [21], что можно объяснить присутствием в нем примеси ксеногенного материала. В целом близкими изотопными характеристиками обладают одновозрастные продукты катастрофической активности Верхнечегемской кальдеры: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70553\text{--}0.70756$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51259\text{--}0.51262$ (–0.9...–0.3 в единицах ϵ_{Nd}) [21; 3]. Диапазон вариаций начальных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в игнимбритах Тырнаузского вулканического центра составляет, соответственно, 0.70714–0.70804 и 0.51249–0.51251 (или –3.0...–2.5 в единицах ϵ_{Nd}) [3].

Важно отметить, что Sr-Nd изотопные характеристики изученных игнимбритов выявляют, по меньшей мере, их изотопно-геохимическое родство с синхронными по времени формирования или с близкими по возрасту эффузивными либо plutоническими образованиями в пределах всех молодых вулканических центров Эльбрусской области Большого Кавказа [3 и др.].

Нами и рядом других исследователей в свое время было показано, что в подавляющем большинстве случаев материнские магмы N-Q магматитов Кавказа генерировались за счет многокомпонентного источника: мантии и

континентальной коры [2, 9, 6, 21 и др.]. Иначе говоря, молодые магматиты региона являются преимущественно гибридными мантийно-коровыми образованиями. Специфика вещественного состава пород Кавказского региона в первую очередь обусловлена процессами ассимиляции, включающими как смешение геохимически различающихся кислых (обычно коровых) и базитовых (преимущественно мантийных) расплавов, так и контаминацию последних материалом вмещающих коровых пород. Функционирование единого умеренно деплетированного мантийного источника ОИВ-типа в Кавказском регионе в неоген-четвертичное время обосновывается в работах [3, 8 и др.]. Изотопно-геохимические характеристики этого источника, названного «Caucasus» близки к соответствующим характеристикам резервуара «COMMON» и составляют: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \sim 0.7041$, $\epsilon_{\text{Nd}} \sim +4.1$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.105\text{--}0.114$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \sim 18.72$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \sim 15.62$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \sim 38.78$ [8 и др.]. На Sr-Nd изотопной диаграмме (рис. 5) точки составов игнимбритов молодых вулканических центров образуют три компактных скопления. Точки составов этих скоплений расположены либо на, либо в непосредственной близости к гиперболе смешения вещества резервуара «Caucasus» со средним составом варисцийской гранитно-метаморфической коры Большого Кавказа [8] (рис. 5, линия смешения 6), что указывает на высокую вероятность участия этих источников в петрогенезисе молодых игнимбритов региона. При этом доля мантийной компоненты в материнских гибридных расплавах наиболее существенна для игнимбритов Чегемской структуры, доля коровой – для игнимбритов Тырнаузского вулканического центра.

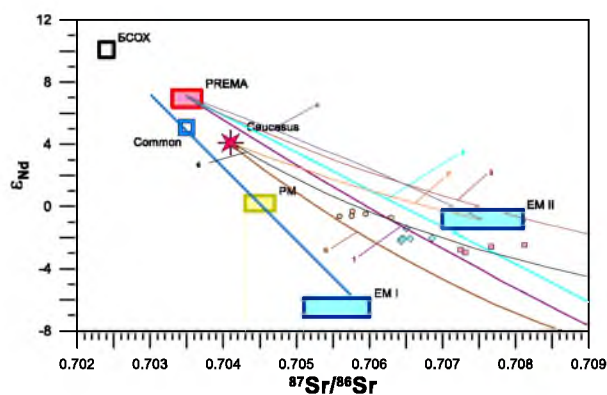


Рис. 5. Соотношение изотопных составов Sr и Nd в молодых игнимбритах Большого Кавказа.

Синяя линия – линия мантийной корреляции. Мантийные источники магм: BCOX – базальт срединно-океанических хребтов; PM – примитивная (недеплетированная) мантия; Common – «обычная» мантия; EM-I – обогащенная мантия-I; EM-II – обогащенная мантия-II; PREMA – статистически преобладающая мантия; «Caucasus» – региональный мантийный источник Кавказского региона. 1-4 – линии смешения современной статистически преобладающей мантии PREMA ($\epsilon_{\text{Nd}} = 7.06$; $\text{Nd} = 1.366$ г/т; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7035$; $\text{Sr} = 21.1$ г/т [25 и др.]) с различными резервуарами (для современного состояния): 1) нижней корой ($\epsilon_{\text{Nd}} = -10$; $\text{Nd} = 30$ г/т; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710$; $\text{Sr} = 400$ г/т [14 и др.]); 2) средней-верхней континентальной корой ($\epsilon_{\text{Nd}} = -26$; $\text{Nd} = 32$ г/т; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.717$; $\text{Sr} = 510$ г/т [1]); 3) среднем составе варисцийской гранитно-метаморфической коры Большого Кавказа ($\epsilon_{\text{Nd}} = -12$; $\text{Nd} = 30$ г/т; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.730$; $\text{Sr} = 140$ г/т [8]); 4) обогащенной мантией- II ($\epsilon_{\text{Nd}} = -0.89$; $\text{Nd} = 1.14$ г/т; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70755$; $\text{Sr} = 20$ г/т [13; 24 и др.]). 5-7 – линии смешения

«Caucasus» – регионального мантийного источника Кавказского региона ($\epsilon_{Nd} = 4.1$; $Nd=35$ г/т; $^{87}Sr/^{86}Sr=0.7041$; $Sr=800$ г/т) [8; и др.] с различными резервуарами (для современного состояния): 5) нижней корой [13 и др.]; 6) среднем составе варисцийской гранитно-метаморфической коры Большого Кавказа [8]; 7) обогащенной мантией-II [24 и др.]. Усл. обозначения см. рис. 2.

Итак, полученные данные и их интерпретация позволяют сделать следующие выводы:

1. Молодые игнимбриты Большого Кавказа несут в себе «смешанные» геохимические характеристики, обладая чертами магматических образований различных генетических и геохимических типов. Особенности их вещественного состава объяснены их гибридным происхождением, что ранее было установлено для большинства неоген-четвертичных магматических пород Кавказского региона [3; 6 и др.].

2. Изотопно-геохимические данные свидетельствуют о двух типах источников, участвовавших в формировании материнских магм изученных игнимбритов: относительно обедненного и существенно обогащенного несовместимыми компонентами. Скорее всего, первый резервуар – обладающий региональной геохимической спецификой, астеносферный (плюм-астеносферный) умеренно деплетированный мантийный источник PREMA-, либо COMMON-подобного типа. Наиболее вероятным резервуаром этого типа является региональный мантийный источник «Caucasus». Обогащенный несовместимыми компонентами источник вероятнее всего являлся гранитно-метаморфический комплекс варисцид Главного хребта Большого Кавказа.

Источник финансирования: Госзадания ИГЕМ РАН

Литература

1. Азбель И.Я., Толстихин И.Н. Численное моделирование геохронометрических систем и проблема эволюции Земли // Изотопная геохимия и космохимия. М.: Наука, 1990. С. 29-49.
2. Бубнов С.Н. Хронология извержений и источники расплавов новейших вулканических центров Большого Кавказа. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 2003. 27 с.
3. Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Курчавов А.М. и др. Плиоценовые игнимбриты Большого Кавказа: вещественный состав и источники расплавов // Науки о Земле. 2016. Вып. 2. С. 12–51.
4. Газеев В.М. Петрология и потенциальная рудоносность Эльбрусского вулканического центра (Северный Кавказ). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 2003. 26 с.
5. Курчавов А.М. Петро-геохимические различия позднекайнозойских игнимбритов Малого и Большого Кавказа как следствие геодинамических особенностей формирования этих структур // Вулканология и сейсмология. 2022. № 1. С. 18–38.
6. Лебедев В.А., Бубнов С.Н. и др. Геохронология и петрогенезис молодых (плиоценовых) гранитоидов Большого Кавказа: Джимарский полифазный массив, Казбекская неовулканическая область // Геохимия. 2009. № 6. С. 582-602.
7. Лебедев В.А., Бубнов С.Н., Чернышев И.В., Гольцман Ю.В. Основной магматизм в геологической истории Эльбрусской неовулканической области (Большой Кавказ): К-Ar и Sr-Nd изотопные данные // Доклады РАН. 2006. Т. 406. № 1. С. 78-82.
8. Лебедев В.А., Чернышев И.В., Чугаев А.В. и др. Геохронология извержений и источники вещества материнских магм вулкана Эльбрус (Большой Кавказ):

- результаты K-Ar и Sr-Nd-Pb изотопных исследований // Геохимия. 2010. № 1. С. 45-73.
9. Розен О.М., Федоровский В.С. Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры (примеры кайнозойских, палеозойских и протерозойских коллизионных систем). М.: Научный мир. Труды ГИН РАН. Вып. 545. 2001. 188 с.
 10. Чернышев И.В., Бубнов С.Н., Лебедев В.А. и др. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Том. 22. № 1. С. 100-130.
 11. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J. et al. A geochemical classification for granitic rocks // J. Petrol. 2001. V. 42. P. 2033-2048.
 12. Gazis C.A., Lanphere M., Taylor H.P. et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ studies of the Chegem ash-flow caldera and the Eldjurta Granite: Cooling of two Pliocene igneous bodies in the Greater Caucasus Mountains, Russia // Earth Planet. Sci. Lett. 1995. V. 134. P. 377-391.
 13. Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. V. 385. № 16. P. 219-229.
 14. Kempton P.D., Harmon R.S., Hawkesworth C.J. et al. Petrology and geochemistry of lower crustal granulites from the Geronimo Volcanic Field, southeastern Arizona // Geochim. Cosmochim. Acta. 1990. V. 54. № 12. P.3401-3426.
 15. Krienitz M.S., Haase K.M., Mezger K. et al. Magma genesis and mantle dynamics at the Harrat Ash Shamah Volcanic Field (Southern Syria) // Journal of Petrology. 2007. V.48. P. 1513-1542.
 16. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geol. Soc. Am. Bull. 1989. V. 101. P. 635-643.
 17. Neill I., Meliksetian Kh., Allen M.B. et al. Pliocene-Quaternary volcanic rocks of NW Armenia: magmatism and lithospheric dynamics within an active orogenic plateau // Lithos. 2013. V. 180-181. P. 200-215.
 18. Pearce J.A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins // Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva Press, U.K. 1983. P. 230-249.
 19. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. V. 25. P. 956-983.
 20. Plank T. The chemical composition of subducting sediments // Treatise on Geochemistry. 2nd edn. Oxford: Elsevier. 2014. V.4. P. 607-629.
 21. Popov V.S., Kostitsyn Yu. A. et al. Volcanic and plutonic facies in Late Pliocene-Quaternary magmatic system of the Northern Caucasus, Russia, and related mineralization // Ore-bearing granites of Russia and Adjacent Countries. M: IMGRE. 2000. P. 213-235.
 22. Shaw J.E., Baker J.A., Menzies M.A. et al. Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian Plate (Jordan): a mixed lithosphere-asthenosphere source activated by lithospheric extension // J. Petrol. 2003. V. 44. P. 1657-1679.
 23. Sun Shen-su, McDonough W. F. Chemical and Isotopic Systematics of oceanic basalts: implications for Mantle Composition and Processes // Magmatism in the Ocean Basins Spec. Publ. Vol. Geol. Soc. Lond. 1989. № 42. P. 313-345.
 24. Workman R.K., Hart S.R., Jackson M. et al. Recycled metasomatized lithosphere as the origin of the enriched mantle II (EM2) end-member: Evidence from the Samoan volcanic chain // Geochem. Geophys. Geosys. 2004. V. 5. № 4. P. 1-44.
 25. Wörner G., Zindler A., Staudigel H., Schmincke H.U. Sr, Nd, and Pb isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary alkaline volcanics from West Germany // Earth and Planet. Sci. Lett. 1986. V. 79. P. 107-119.

МЕТОД ШЛИХОВОГО АНАЛИЗА С РАСЧЕТОМ ОКАТАННОСТИ ПЕСЧАНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЧАСТИЦ СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-ДЕПОНИРОВАННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Г. ТЮМЕНЬ

©В.С. Глухов ^{1,2}, Е.А. Панкрушина ^{1,2}, А. Д. Рянская ³, Е.О. Илгашева ^{2,4},
А.А. Селезнев ^{1,2}, Г.П. Малиновский ², И.В. Яρμοшенко ²

¹УрФУ, Екатеринбург

²ИПЭ УрО РАН, Екатеринбург

³ИГТ УрО РАН, Екатеринбург

⁴УГТУ, Екатеринбург

Аннотация. В работе представлены результаты анализа окатанности частиц кварца, отобранных из гранулометрической фракции 250-1000 мкм проб урбанизированных современных поверхностно-депонированных отложений (УСПДО) г. Тюмень. Методика, включающая анализ шлихов, минеральный анализ методом рамановской спектроскопии, определение параметров формы зерен использована для анализа окатанности частиц была, расчета процентной доли (О) и класса окатанности (Ω). Параметры окатанности О и Ω были сверены с таблицей И. С. Ухова, которая содержит пять классов. По результатам анализа 400 кварцевых частиц получено, что 89 частиц (22%) относится к 4 классу окатанности, 311 (78%) частиц – к 5 классу окатанности. В пробах песчаной фракции при увеличении доли зерен 5-го класса окатанности наблюдается увеличение доли типоморфных металлов (Al, Fe, Ti) и техногенных микроэлементов (Pb, Cu, Zn) в пылевой гранулометрической фракции (2-100 мкм) проб УСПДО.

Ключевые слова: окатанность, шлиховой анализ, кварц, загрязнение, поллютант, поверхностно депонированные отложения, городская среда.

Введение

Урбанизированные современные поверхностно-депонированные отложения (УСПДО) – уплотненная или рыхлая многокомпонентная смесь, которая накапливается в пониженных участках поверхности селитебных ландшафтных зон в результате процессов современного седиментогенеза на территории города. Данные отложения состоят из минеральных, техногенно-минеральных, условно-техногенных минеральных частиц и органического вещества глинистой, пылевой, пылеватой и песчаной фракции.

Перенос и накопление УСПДО по городской катене осуществляется под действием совокупности экзогенных процессов. Процессы выветривания, приложенные к УСПДО, приводят к образованию пылевой фракции, которая в свою очередь приводит к снижению качества жизни граждан, так как накапливает в себе тяжелые металлы (ТМ), вирусы и бактерии. В состоянии взвеси пыль осаждается на архитектурных, технических и механических объектах, приводя их облик в неудовлетворительное состояние и снижая время эксплуатации [1, 3-5, 8-10].

Природные и антропогенные экзогенные процессы оставляют след на частицах. Округлость и шероховатость частицы может служить индикатором силы и условий абразивного воздействия. Изучение морфологии минеральных частиц городских УСПДО может быть использовано для анализа процессов

седиментогенеза городских территорий. Одним из морфологических свойств частиц является окатанность – стремление частицы приблизиться к гладкой шаровидной или эллипсоидальной форме [6-7].

Цель исследования – разработать метод оценки окатанности частиц кварца в составе УСДПО для решения геоэкологических задач.

Задачи: получить навески 4-6 гр. из 10 проб УСДПО г. Тюмень гранулометрической фракции 250-1000 мкм; отобрать из полученных навесок частицы кварца; создать базу данных параметров отобранных частиц; определить процент и классы окатанности отобранных частиц; сравнить полученные показатели с данными элементного и минерального состава в соответствующих пробах.

Материалы и методы

Районом исследования был выбран г. Тюмень. Рассматриваемые образцы УСДПО были отобраны в теплое время года в селитебных районах территории города [8]. Для анализа связи минерального состава проб с минеральным составом материнских горных пород территории были изучены ГТК РФ доплиоценовых и плиоценовых-четвертичных образований листа О-41 масштаба 1:1000000 [2].

Пробы СПДО прошли: предварительную подготовку, деление на гранулометрические фракции; минеральный и элементный анализ фракций [8]. Из шлиха методом квартования отбирались навески массой 4-6 грамм. Для работы с навесками УСДПО была разработана методика, включающая в себя квартование, шлиховой анализ, оптическую микроскопию, математический метод анализа формы минеральных частиц, рамановскую спектроскопию.

Из полученных навесок методом оптической микроскопии и шлихового анализа отбирались зерна кварца, которые объемно-весовым методом были выделены в четыре тонкие полоски длиной до 10 мм и шириной до 1 мм с фиксацией на промаркированном прямоугольном фрагменте скотча. Каждой частице были присвоены уникальные координаты (x =№ частицы в линии, y =№ линии) и код. Контроль идентификации минералов был произведен методом рамановской спектроскопии на приборе LABRAM HR 800 EVOLUTION в ЦКП "Геоаналитик" ИГТ УрО РАН. Используя программное обеспечение видеокамеры оптического микроскопа METALLOGRAPHIC MICROSCOPE XJP-H100, у частиц были определены: длина, ширина, периметр и площадь поверхности частицы, площадь минимального описанного и максимального вписанного эллипса. Используя методику определения класса окатанности И.С. Ухова [6] был произведен расчет поправочного коэффициента [6], процентной доли окатанности частицы (1) и класса окатанности (2):

$$O = \frac{S^2_{\text{впис.элл.}}}{S_{\text{опис.элл.}} \cdot S_{\text{част}}} * 100\% \quad (1)$$

где: $S^2_{\text{впис.элл.}}$ – площадь максимального вписанного эллипса,

$S^2_{\text{опис.элл.}}$ – площадь минимального описанного эллипса,

$S_{\text{част}}$ – площадь контура частицы,

O – процентная доля окатанности частицы

Ω – класс окатанности

$$\Omega = \log_{2.15} O \quad (2)$$

Полученные значения процента и класса окатанности были сверены на соответствие со значениями из таблицы классов окатанности И.С. Ухова [6]: резко угловатые зерна (0-4.6 % = 1 Ω), угловатые зерна (4.6-9.9 % = 2 Ω), полуугловатые зерна (9.9-21.4 % = 3 Ω), полукруглые зерна (21.4-45.9 % = 4 Ω), округлые зерна (45.9-100.0 % = 5 Ω). На рисунке 1 представлены примеры полученных значений геометрических параметров исследуемых кварцевых песчаных частиц четвертого и пятого класса окатанности по методике И.С. Ухова.

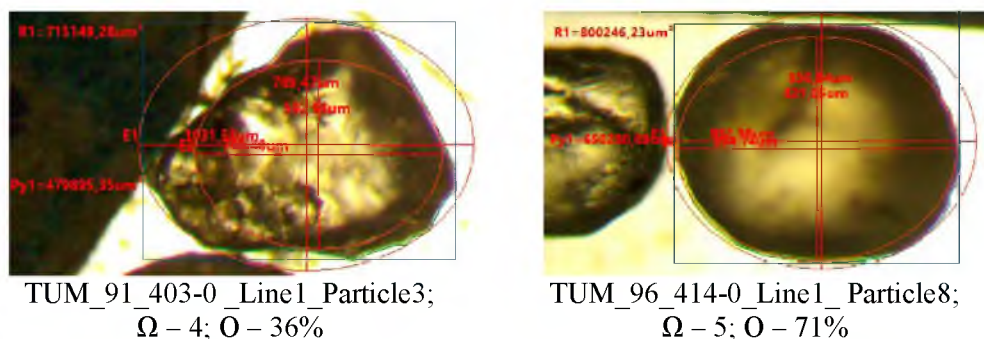


Рис. 1. Частицы кварца 4-5 класс окатанности из г. Тюмень

Результаты и выводы

Минеральный состав проб УСПДО по гранулометрическим фракциям (рис. 2), был получен методом РФА и ДТА в ЦКП "Геоаналитик" ИГГ УрО РАН. Техногенные частицы изучены и идентифицированы методом оптической микроскопии и СЭМ [3]. Минеральный состав проб обусловлен минеральным составом материнских горных пород территории листа О-41 ГТК РФ доплиоценовых и плиоценовых-четвертичных образований масштаба 1:1000000 [2].

Методом квартования из 10 проб УСПДО, отобранных в г. Тюмень, со средней массой 54,1 грамм, отобрано 10 навесок со средней массой 5,5 грамм. Методом шлихового анализа из навесок было отобрано 400 частиц (40 линий со средней длиной 0,93 мм, 8-12 частицы в линии). С использованием рамановской спектроскопией все они идентифицированы как кварцевые. Результаты оценки окатанности 400 частиц кварца из фракции 250-1000 мкм в 10 пробах УСПДО, отобранных в городе Мурманск представлены на рисунке 3.

Из 400 частиц к четвертому классу окатанности относится всего 22 % частиц (89 частиц). Большинство частиц – 78 % (311 частиц), принадлежит к пятому (максимальному) классу окатанности (данный класс окатанности преобладает во всех пробах).

Анализ нормальности распределения числа частиц по проценту окатанности для проб грязевого осадка (рис. 4) показал, что по критерию Хи-квадрат гипотеза о нормальности не отклоняется, так как полученное значение

вероятности (равное 0.53) больше уровня значимости (0,05). Прослеживается тенденция смещения к лог-нормальному распределению.

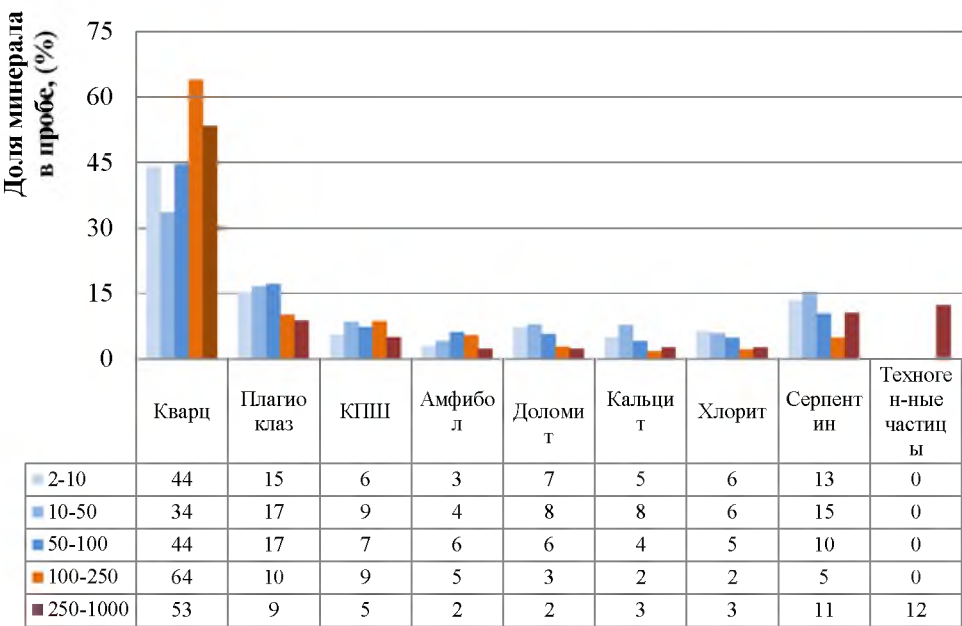


Рис. 2. Минеральный состав для 5 гранулометрических фракций 10 проб УСПДО г. Тюмень

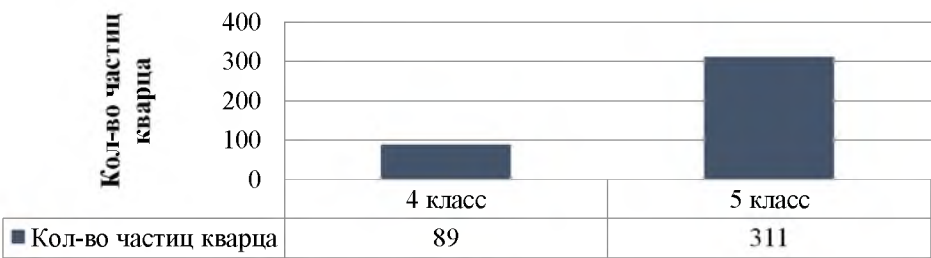


Рис. 3. Полученные классы окатанности для 400 частиц кварца фракции 250-1000 проб УСПДО г. Тюмень



Рис. 4. Частотная гистограмма распределения частиц по проценту окатанности для проб осадка. Критерий Chi-Square на нормальное распределение

Корреляционный анализ полученных данных показал отсутствие связи между долей кварца в пылевой фракции и долей частиц кварца 5 класса окатанности размером 250-1000 мкм (рис. 5). При увеличении доли частиц 5 класс окатанности снижается доля кварца в пылевой фракции. Наблюдается деление фактических данных на 3 кластера, что и влияет на корреляционную отрицательную связь. Выявляется неоднородность фактических данных.

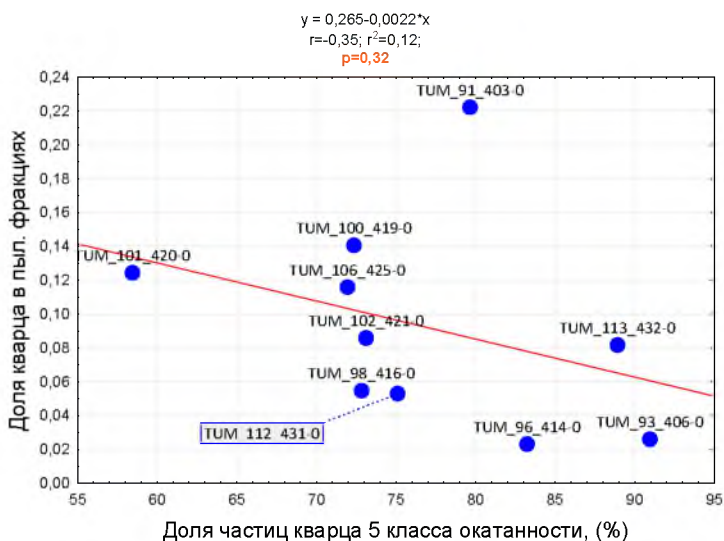


Рис. 5. Корреляционный анализ доли 5 класса окатанности и доли кварца в пылевых фракциях для проб осадка

отсутствие корреляционной связи как для доли типоморфных (рис 7), так и для доли техногенных (рис. 8) металлов в пылевой фракции от доли частиц кварца 5-го класса окатанности. Как и на предыдущей диаграмме рассеяния

наблюдается деление фактических данных на 3 кластера, что и влияет на отсутствие корреляционной связи. При увеличении доли частиц 5 класса окатанности растет доля кварца в пылевой фракции, если рассматривать кластеры по отдельности. Подтверждается неоднородность фактических данных.

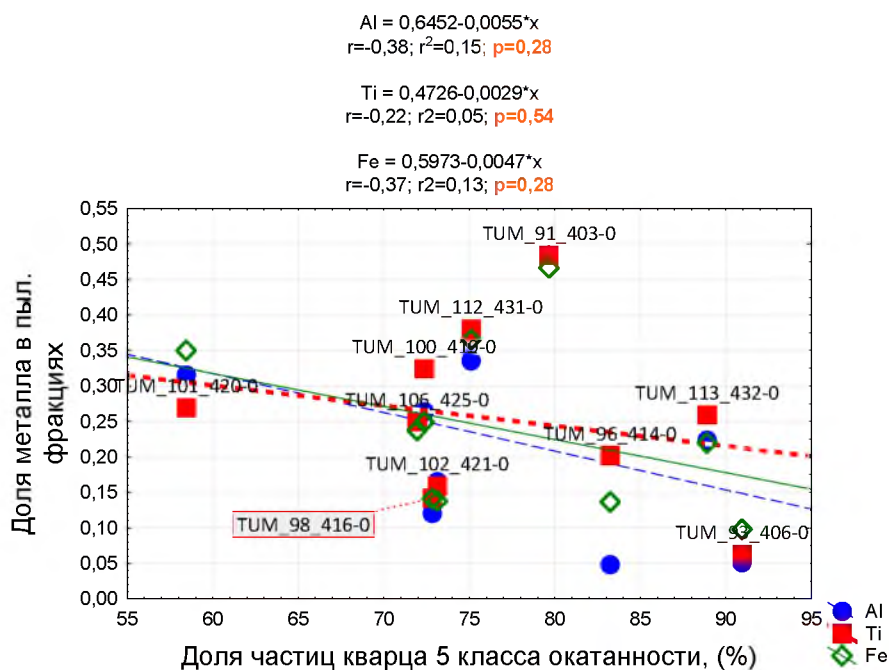


Рис. 7. Корреляционный анализ доли 5 класса окатанности и доли типоморфных металлов

(Al, Ti, Fe) в пылевых фракциях для проб осадка.

Закключение

Разработанная методика анализа серых шлихов по окатанности частиц кварца позволила определить характеристики окатанности проб различного происхождения. В ходе анализа и интерпретации полученных данных показано следующее:

природные и техногенные процессы в городской среде приводят к увеличению окатанности частиц кварца в составе УСПДО. Вследствие влияния комплекса экзогенных процессов доля частиц кварца более высокого класса окатанности (3-5 Ω) увеличивается со временем, при этом часть обломков кварца переходит в пылевую гранулометрическую фракцию. Таким образом, со временем увеличивается доля кварца, приходящаяся на пылевую фракцию. С учетом этого доля частиц высокого класса окатанности и доля кварца в пылевой фракции могут рассматриваться, как косвенные характеристики возраста образцов УСПДО и интегральным индикатором воздействия факторов среды.

Доля типоморфных и техногенных элементов и кварца в пылевых фракциях, доля частиц кварца 5 класса окатанности в УСПДО в урбанизированной среде являются неоднородными характеристиками. Данная неоднородность связана с обилием факторов, которые предстоит установить в

ходе более детального исследования. К таким факторам могут относиться: ландшафтные условия, рельеф, автомобильная нагрузка, техническое состояние участка, ремонтно-строительные работы, наличие газона и открытого грунта, климатические условия, источники грязи, геология участка и др.

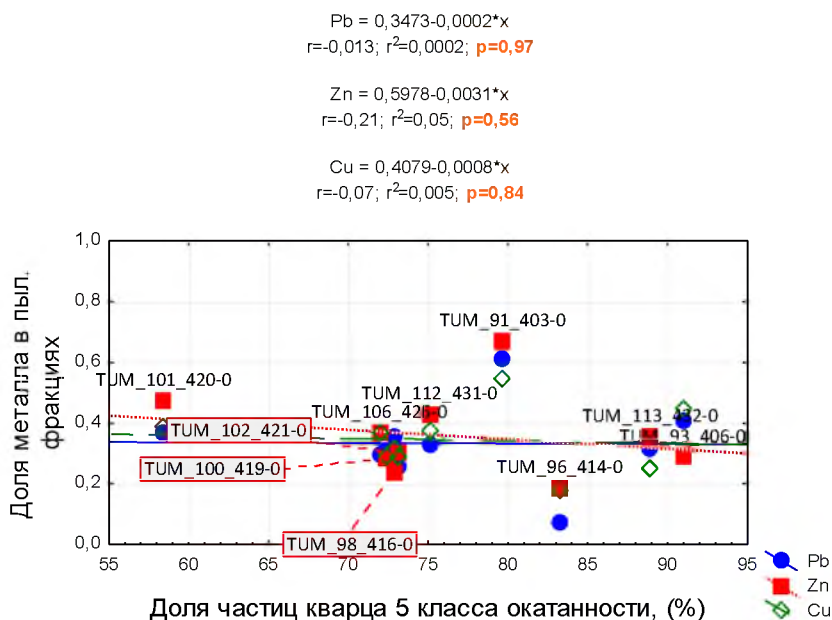


Рис. 8. Корреляционный анализ доли 5 класса окатанности и доли техногенных металлов (Pb, Zn, Cu) в пылевых фракциях для проб осадка

Благодарности

Работа выполняется при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-77-10024-П. Исследования методом комбинационного рассеяния выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Дооснащение ЦКП проведено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 075-15-2021-680).

Литература

1. Алексеев В.П. Литология: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд. УГГГУ, 2001. 249 с.
2. ВСЕГЕИ. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение) Серия Уральская. Лист О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка. СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2011, 492 с. + 6 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ОАО «УГЭСЭ»).
3. Илгашев Е.О., Селезнев А.А. Техногенные образования в составе современных антропогенных отложений на урбанизированных территориях // Минералы: строение, свойства, методы исследования. 2020. № 11. С. 104-105.
4. Касимов Н.С., Власов Д. В., Кошелева Н. Е., Никифорова Е. М., Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
5. Преображенский И.А., Саркисян С.Г. Минералы осадочных пород (применительно к изучению нефтеносных отложений). М.: Гостоптехиздат, 1954. 463 с.

6. Ухов И. С. Новая методика определения окатанности песчаных кварцевых зерен. Ярославский педагогический вестник. 2013. № 4. Том III (Естественные науки).
7. Шило Н.А. Учение о россыпях: Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Изд. 2-е, перераб. и доп. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.
8. Seleznev, A.A., Yarmoshenko, I.V. & Malinovsky, G.P. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities. Sci Rep 10, 1668 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4>.
9. Taylor, Kevin & Owens, Philip. (2009). Sediments in urban river basins: A review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. Journal of Soils and Sediments. 9. 281-303. 10.1007/s11368-009-0103-z.
10. Yarmoshenko, I.; Malinovsky, G.; Baglaeva, E.; Seleznev, A. A Landscape Study of Sediment Formation and Transport in the Urban Environment. Atmosphere 2020, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/atmos11121320>.

СУЛЬФОСОЛИ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАДУЖНОЕ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА) КАК ИНДИКАТОР УСЛОВИЙ РУДООБРАЗОВАНИЯ

© Е.Н. Кайгородова, Н.Г. Любимцева
ИГЕМ РАН, Москва

Аннотация. Впервые прецизионными методами в рудах золото-сульфидного месторождения Радужное установлен твердый раствор бурнонит-зелигманита и изучен состав блеклой руды. Блеклая руда на месторождении Радужное представлена тетраэдритом-(Zn), Ag-содержащим тетраэдритом-(Zn), реже Ag-содержащим теннантитом-(Fe,Zn). Установлена эволюция флюида в сторону обогащения мышьяком и уменьшений содержания Ag при отложении блеклой руды. Оценены температуры отложения сфалерит-тетраэдритовых и бурнонит-зелигманит-тетраэдритовых парагенезисов в рудах месторождения Радужное 120–250°C.

Ключевые слова: месторождение Радужное, Северный Кавказ, блеклая руда, температура отложения.

Золото-сульфидное месторождение Радужное расположено в центральной части Безенгийского рудного района, включающего ряд золоторудных объектов, пространственно ассоциированных с гипабиссальными интрузиями хуламского вулcano-плутонического комплекса. В тектоническом плане Безенгийский район находится в пределах Балкаро-Дигорского блока зоны Главного хребта (Эльбрусская подзона). Рудные тела месторождения локализируются во флюидно-эксплозивных брекчиях среди вмещающих их юрских терригенных толщ и вулканитов хуламского комплекса. Основываясь на данных по геологическому строению района, геодинамической обстановке, связи оруденения с умеренно-щелочным магматизмом, минеральному составу руд и химическому составу минералов в рудах, месторождение Радужное отнесено к промежуточно-сульфидизированному (IS) типу эпitherмальных месторождений [1]. Содержание Au в рудах колеблется от 0.1 до 215 г/т, Ag – от 1 до 4000 г/т. Золото связано с самородными выделениями размером 5–15 мкм в халькопирите и галените, основными минералами-концентраторами серебра являются блеклая руда и акантит [1].

Наиболее распространенными минералами на месторождении Радужное являются пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, кварц, барит, гипс, карбонаты. Второстепенные минералы представлены марказитом, сульфосолями, акантитом, ангидритом. Сульфосоли на месторождении представлены блеклой рудой и бурнонит-зелигманитом, которые обнаружены практически на всех участках месторождения и встречаются в незначительном количестве в виде спорадических выделений в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, галенитом и пиритом. Их содержание в рудах не превышает 3 об. %. Предшествующими исследователями блеклые руды относились к фрейбергиту [3] или сереброрудному тетраэдриту [2], однако прецизионными методами состав ранее не изучался.

Данное исследование посвящено изучению блеклой руды (минералов группы тетраэдрита согласно новой номенклатуре [9]) и бурнонит-зелигманита месторождения Радужное с целью оценки условий их образования в рудах. Эти

сульфосоли выбраны не случайно, на это есть ряд причин. Во-первых, минералы группы блеклой руды, в меньшей степени бурнонит-зелигманит, являются самыми распространенными минералами среди сульфосолов в гидротермальных месторождениях и обычно изучение их химического состава с помощью рентгено-спектрального микроанализа (РСМА) не вызывает трудностей. Во-вторых, они, возникая при глубоко прошедших процессах дифференциации рудоносных гидротерм с накоплением As, Sb, Bi, Te, Se и др., являются минералами-концентраторами важных элементов – Ag, Cu, Sb, Pb, реже Bi, Te, Se, Zn, Hg и др. В-третьих, эти сульфосоли часто наблюдаются в парагенезисе с самородным золотом и теллуридами благородных металлов [4, 8]. В-четвертых, являясь минералами переменного состава, они реагируют на изменение окружающей среды, следовательно, по их составу можно проследить эволюцию флюида и распределение металлов в рудах. Отложение блеклой руды происходит в широком температурном интервале – от 400° до 100°С (обычно 180–300°) [7]. Кроме того, кристаллизация блеклой руды может быть «первичной» из гидротермальных растворов, а также при воздействии гидротермальных флюидов на ранее отложенные минералы; например, в результате взаимосвязанных реакций растворения-переотложения при замещении тетраэдрита-(Zn) теннантитом-(Fe) [5] или при замещении халькопирита Sb-As-содержащими растворами, при котором избыточное железо сбрасывается в виде пирита [6]. Бурнонит-зелигманит на месторождении Радужное описан впервые.

Химический состав минералов определен на СЭМ JSM-5610LV (Япония), оснащенном рентгеновским энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) INCA-450 (Великобритания) в лаборатории кристаллохимии ИГЕМ РАН (операторы А.В. Мохов и П.М. Карташов) и на рентгено-спектральном микроанализаторе JEOL JXA-8200 (РСМА) с пятью волновыми дисперсионными спектрометрами (ЦКП «ИГЕМ-Аналитика», аналитики Е.В. Ковальчук и С.Е. Борисовский).

Блеклая руда обнаружена в тесных сростаниях с галенитом, халькопиритом и бурнонитом (рис. 1). Нередко она образуется по периферии агрегатов сфалерита, халькопирита, галенита (рис. 1А, В-Г). Со сфалеритом имеет обычно ровную границу, с другими минералами – чаще ксеноморфную взаимно-прорастающую (рис. 1Б). Также блеклая руда встречается в пирите в виде мелких изометричных включений (рис. 1В).

Содержание основных элементов (по данным 28 РСМА) в блеклой руде следующее (мас. %): Cu 33.03–39.47, Ag 0.35–4.08, Zn 4.09–6.83, Fe 1.26–4.81, Sb 12.39–29.56, As 0.50–11.57, S 23.39–27.95, Pb, Cd, Bi и Se до 0.17. Блеклая руда на месторождении Радужное представлена тетраэдритом-(Zn) (0.35–0.50 мас.% Ag), Ag-содержащим тетраэдритом-(Zn) (3–4 мас.% Ag), реже Ag-содержащим теннантитом-(Fe,Zn) (1.3–1.6 мас.% Ag) (рис. 2А); названия минералов даны в соответствие с номенклатурой IMA-CNMNC [9]. Соотношения Sb/(Sb+As) и Fe/(Fe+Zn) в блеклой руде варьируют соответственно от 0.40 до 0.97 и от 0.18 до 0.58. В блеклой руде в целом наблюдается обратная зависимость между соотношениями Sb/(Sb+As) и Fe/(Fe+Zn) (рис. 2А). Однако, интересно отметить, что в тетраэдрите-(Zn) при вариациях Sb/(Sb+As) от 0.83 до 0.97, отношение Fe/(Fe+Zn) изменяется не значительно – от 0.18 до 0.26, в то время как в Ag-содержащем тетраэдрите-(Zn) при такой же широте диапазона вариаций Sb/(Sb+As) от 0.78 до 0.91, отношение Fe/(Fe+Zn) изменяется в более широком

интервале от 0.18 до 0.43 (рис. 2Б). При этом корреляция между соотношениями $Sb/(Sb+As)$ и $Fe/(Fe+Zn)$ разная: в тетраэдрите-(Zn) слабая (коэффициент корреляции 0.46) (голубые символы на рис. 2Б), в Ag-содержащем тетраэдрите-(Zn) – средняя (0.59) (красные символы на рис. 2Б), в ряду Ag-содержащих тетраэдрита-(Zn)-теннантита-(Fe,Zn) – высокая (0.85) (часть символов на рис. 2А). В Ag-содержащем тетраэдрите-(Zn) обнаружена прямая зависимость между соотношением $Fe/(Fe+Zn)$ и концентрацией Ag (рис. 2Б).

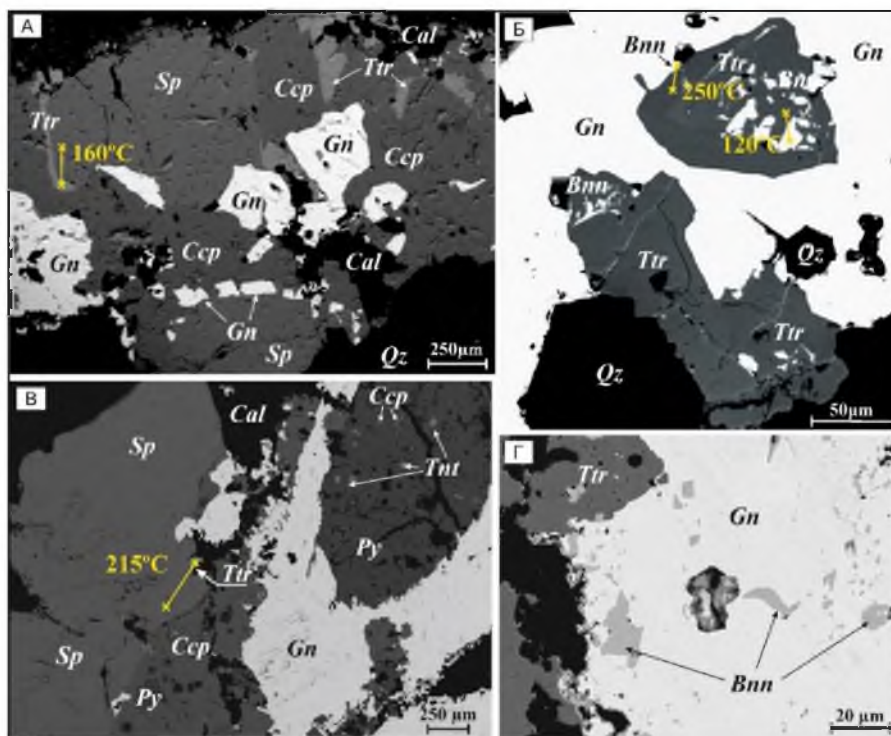


Рис. 1. Взаимоотношения блеклой руды и бурнонита с другими минералами в рудах участков «Орлиная зона» и Кишлык-су месторождения Радужное.

Аббревиатуры минералов приведены согласно [12]

А – срастание сфалерита (Sp), халькопирита (Ccp), галенита (Gn) и тетраэдрита (Ttr) в интрстициях кальцита (Cal). Тетраэдрит и галенит развиваются по контакту сфалерита и халькопирита; Б – срастание галенита и тетраэдрита. Бурнонит (Bnn) наблюдаются в виде ксеноморфных, угловатых, пламевидных и удлинённо-вытянутых выделения в тетраэдрите, а также на контакте галенита и кварца (Qz). Тетраэдрит корродирует по периферии; В – срастание сфалерита, пирита (Py), галенита и халькопирита. Теннантит (Tnt) содержится в пирите в виде мелких изометричных включений и развивается по контакту халькопирита и сфалерита; Г – ксеноморфные и цепочки мелких округлых включений бурнонита в галените. Образец А-2/2-187 (А, В) и КС-2/4 (Б, Г). Фотографии в обратно-рассеянных электронах (BSE). Крестиками обозначены сосуществующие пары минералов и указаны температуры их кристаллизации, рассчитанные по геотермометрам [10-11].

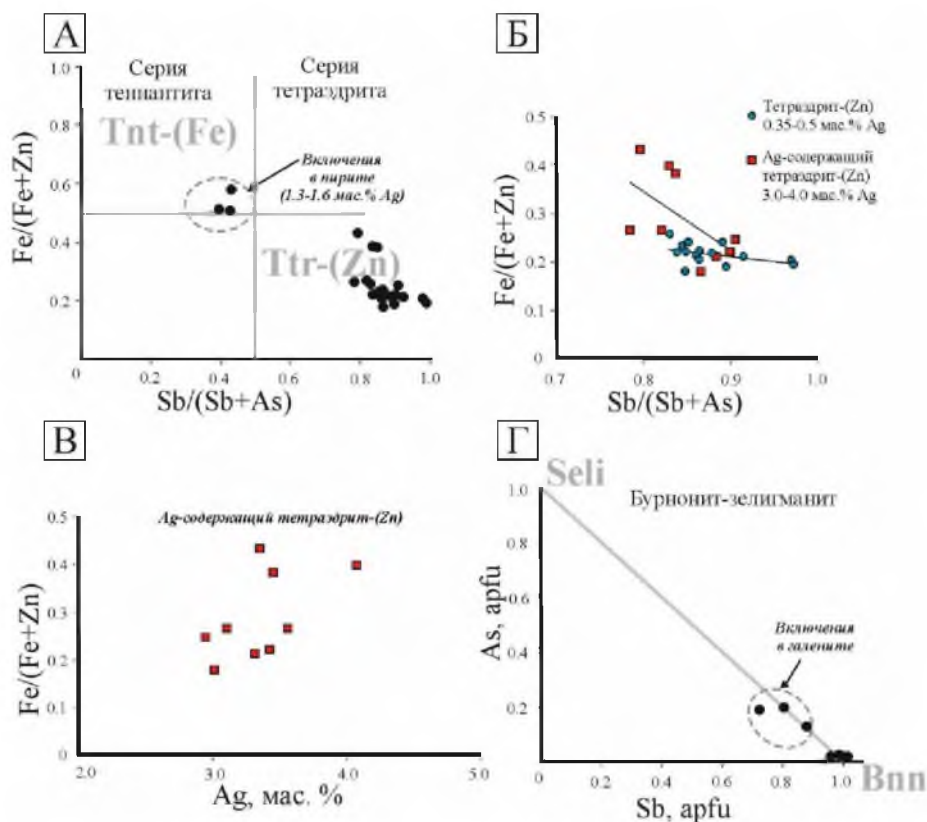


Рис. 2. Соотношения $Sb/(Sb+As)$ и $Fe/(Fe+Zn)$ и концентрации Ag (мас.%) в блеклой руде (А-В) и содержания Sb и As (в ф.к. (apfu)) в бурнонит-зелигманите (Г) из месторождения Радужное

На BSE-изображениях в блеклой руде обнаружена слабо выраженная зональность (рис. 1Б). Агрегат зональной блеклой руды сложен в центральной части из ядра тетраэдрита-(Zn) в сростании с бурнонитом, обрастающего каймой «чистого» тетраэдрита-(Zn) с содержанием 0.37 мас.% Ag и соотношениями $Sb/(Sb+As)$ 0.97 и $Fe/(Fe+Zn)$ 0.20. Внешняя часть зонального агрегата развивается концентрически вокруг центральной части треугольного сечения, она сложена тетраэдритом-(Zn) и не содержит включений бурнонита. Составы тетраэдрита-(Zn) в ядре и во внешней части схожи: концентрации Ag 0.36–0.52 мас.%, соотношения $Sb/(Sb+As)$ 0.83–0.89 и $Fe/(Fe+Zn)$ 0.22–0.26. Сложные взаимоотношения тетраэдрита и бурнонита в центральной части агрегата не позволяют однозначно установить последовательность отложения минералов. Однако, обрастание зоны «чистого» тетраэдрита-(Zn) внешней зоной тетраэдрита-(Zn), с большей концентрацией As, свидетельствует об эволюции флюида при образовании блеклой руды в сторону обогащения мышьяком.

Бурнонит-зелигманит обнаружен в виде ксеноморфных выделений в галените и тетраэдрите-(Zn). Вероятно, бурнонит образуется несколько позже этих минералов, поскольку замещает их, образуя мельчайшие цепочки выделений в галените (рис. 1Г) и тонкие короткие просечки и пламевидные выделения и в тетраэдрите, иногда цементируя его по трещинам (рис. 1Б). Однако происхождение сростаний блеклой руды и бурнонита в центральной части зонального агрегата блеклой руды не совсем ясно (рис. 1Б).

Представленные взаимоотношения блеклой руды и бурнонита могут свидетельствовать как об одновременном отложении этих минералов (срастание зерен бурнонита и тетраэдрита), так и о более позднем образовании бурнонита относительно тетраэдрита (замещение тетраэдрита или заполнение межзерновых пространств тетраэдрита бурнонитом), и наоборот. Приуроченность удлинено-вытянутых выделений бурнонита к зоне «чистого» тетраэдрита-(Zn) и их ровные границы, скорее всего, свидетельствуют об их близком времени отложения.

По результатам РСМА и СЭМ исследований (13 анализов) содержание элементов в бурноните варьирует (мас. %): Pb 39.84–46.79, Cu 11.40–14.21, Sb 17.90–26.09, As 0.19–3.10, S 18.67–20.24, Zn 0.24–0.43, Fe 0.11–0.23; Ag, Hg, Cd, Bi и Se – ниже предела обнаружения. Соотношения Sb/(Sb+As) в бурнонит-зелигманитовом твердом растворе варьируют от 0.87 до 0.99. Бурнонит с соотношением Sb/(Sb+As) 0.91–0.99 наблюдается в срастаниях с тетраэдритом-(Zn). Бурнонит-зелигманит с соотношением Sb/(Sb+As) 0.79–0.87 встречается в виде включений в галените.

Для оценки условий образования блеклой руды и бурнонит-зелигманита на месторождении Радужное использовались сфалерит-блеклорудный [11] и бурнонит-зелигманит-блеклорудный геотермометры [10].

Обнаружено, что со сфалеритом сосуществует Ag-содержащий тетраэдрит-(Zn) (3–4 мас.% Ag), при этом в сфалерите содержания Ag ниже предела обнаружения. Температуры, рассчитанные для этой пары минералов, 160° и 215±25°C.

С бурнонитом сосуществует тетраэдрит-(Zn), содержания Ag в котором 0.35–0.50 мас.%. Рассчитанные температуры их совместного отложения равны 120° и 250±25°C. Правдоподобные для гидротермального образования температуры, рассчитанные для бурнонита и тетраэдрита-(Zn), свидетельствует о достижении равновесия между этими твердыми растворами, и/или, вероятно, об их близко-одновременном отложении.

На золоторудном кварц-сульфидном месторождении Дарасун в сосуществующих твердых растворах тетраэдрит-теннантита и бурнонит-зелигманита описана взаимосвязанная эволюция состава от ранних сурьмянистых к поздним мышьяковистым разновидностям [4]. Чтобы проверить существует ли подобная «взаимосвязанная эволюция» составов этих двух твердых растворов в рудах месторождения Радужное, была рассчитана температура отложения самых мышьяковистых составов этих твердых растворов из обнаруженных в данном исследовании. Температура кристаллизации 175±65°C, рассчитанная для теннантита-(Fe, Zn) (включения в пирите) и для бурнонит-зелигманита (включения в галените), попадает в интервал температур, полученных для сосуществующих тетраэдрита-(Zn) и бурнонита. Это может свидетельствовать о взаимосвязанной эволюции состава от ранних сурьмянистых к поздним мышьяковистым в тетраэдрит-теннантитовом и бурнонит-зелигманитовом твердых растворах на месторождении Радужное. Следовательно, образование включений теннантита-(Fe, Zn) в пирите и включений бурнонит-зелигманита в галените, скорее всего, обусловлено замещением этими твердыми растворами ранее отложенных минералов (пирита и галенита), вызванное поступлением поздних растворов, обогащенных мышьяком.

Выводы

Повышенные концентрации Ag (до 3–4 мас.%) в блеклой руде обнаружены в тетраэдрите-(Zn), сосуществующем со сфалеритом. Установлено, что увеличение концентраций Ag в тетраэдрите-(Zn) связано с повышением содержаний Fe.

Предположительно, при отложении тетраэдрит-теннантитового и бурнонит-зелигманитового твердых растворов наблюдается эволюция флюида в сторону обогащения мышьяком. При этом содержания Ag в блеклой руде при эволюции от тетраэдрита к теннантиту уменьшаются.

Оценены температуры образования сфалерит-тетраэдритовых и бурнонит-зелигманит-тетраэдритовых парагенезисов в рудах месторождения Радужное 120–250°C.

Температуры, полученные по минеральным геотермометрам, лежат в диапазоне 250–115°C, что согласуется с выводами об образовании руд месторождения Радужное в эпитермальных условиях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта № 121041500220-0 “Структурно-химические неоднородности и парагенетические ассоциации минералов как отражение процессов петро- и рудогенеза” Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН).

Литература

1. Кайгородова Е.Н., Чугаев А.В., Лебедев В.А., Садасюк А.С., Гареев Б.И., Баталин Г.А. Ау-сульфидное месторождение Радужное (Северный Кавказ): геологическое строение, минералогические особенности и источники вещества // Геология рудных месторождений. 2022. Т. 64. № 5. С. 423–450.
2. Коптюх Ю.М., Семенюк Н.П., Веремеенко Л.И., Кулибаба В.М. Отчет по хоздоговору №3/82 «Изучение вулканизма и связи с ним процессов метасоматоза и оруденения в зонах активизации Кабардино-Балкарии» // Киев, 1985. 119 с.
3. Кряжев С.Г., Двуреченская С.С. Минералого-петрографические исследования вулканогенно-терригенных и метасоматических комплексов пород на флангах Левобережного рудного поля (Кабардино-Балкарская республика) // ФГУП ЦНИГРИ. Москва. 2014. 95 с.
4. Любимцева Н.Г., Бортников Н.С., Борисовский С.Е. Сосуществующие бурнонит-зелигманитовый и теннантит-тетраэдритовый твердые растворы на золоторудном месторождении Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия): оценка температур минералообразования // Геология рудных месторождений. 2019₁. Т. 61. № 3. С. 85–104.
5. Любимцева Н.Г., Бортников Н.С., Борисовский С.Е., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю. Взаимосвязанные реакции растворения-переотложения минералов теннантит-тетраэдритовой серии на золоторудном месторождении Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2019₂. Т. 61. № 6. С. 38–57.
6. Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Городецкая М.Д., Иванова Ю.Н., Япаскурт В.О. О механизмах и условиях образования мышьяковистых и сурьмянистых блёклых руд // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 5. С. 30–36.
7. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Куликова И.М., Назьмова Г.Н., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Кортаева Н.Н. Минералы группы блёклых руд – индикаторы рудогенеза // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. ИГЕМ РАН. 2008. С. 356–359.

8. Apopei A.I., Damian G., Buzgar N., Buzatu A. Mineralogy and geochemistry of Pb-Sb/Assulfosalts from Coranda-Hondol ore deposit (Romania) – Conditions of telluride deposition // *Ore Geology Reviews*. 2016. V. 72. P. 857–873.
9. Biagioni C., George L.L., Cook N.J., Makovicky E., Moelo Y., Pasero M., Sejkora J., Stanley C.J., Welch M.D., Bosi F. The tetrahedrite group: Nomenclature and classification // *Amer. Miner.: J. Earth and Planetary Materials*. 2020. V. 105. № 1. P. 109–122.
10. Sack R.O., Ebel D.S. As-Sb exchange energies in tetrahedrite-tennantite fahlores and bournonite-seligmannite solid solutions // *Mineral. Mag.* 1993. Vol. 57. № 389. P. 635–642.
11. Sack R.O., Loucks R.R. Thermodynamic properties of tetrahedrite-tennantite: constraints on the interdependence of the $\text{Ag} \leftrightarrow \text{Cu}$, $\text{Fe} \leftrightarrow \text{Zn}$, $\text{Cu} \leftrightarrow \text{Fe}$, and $\text{As} \leftrightarrow \text{Sb}$ exchange reactions // *American Mineralogist*. 1985. V. 70. № 11–12. P. 1270–1289.
12. Warr L.N. IMA-CNMNC approved mineral symbols // *Mineralogical Magazine*. 2021. V. 85. № 3. P. 291–320.

О ПРОБЛЕМЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВОСПОЛНЯЕМОСТИ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УВ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

© А.А. Даукаев

КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН, Грозный

Аннотация. Статья посвящается к 130-летию начала промышленной добычи нефти в Грозненском районе и 30-летию установления факта восполняемости запасов нефти месторождений). Описаны основные показатели восполняемости запасов месторождений нефти и газа, источники и механизмы естественного восполнения запасов нефти и газа. Приведены краткие сведения об открытии, этапах и перспективах освоения Старогрозненского месторождения.

Ключевые слова: восполняемость запасов УВ, нефть, газ, Старогрозненское месторождение, концепции образования углеводородов.

Введение

В течение прошлого века существовали, и имеются по сегодняшний день, различные взгляды об очень медленных процессах нефтегазообразования и нефтегазонакопления, и соответственно, об исчерпаемости и невозполняемости запасов нефти и газа, базирующие на несопоставимости чрезвычайно малых скоростей процессов образования и накопления в залежах нефти и газа (десятки миллионов лет) со скоростью эксплуатации месторождений [1, 2]. В течение многих десятилетий данный вывод лежал в основе теоретических положений поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа.

Однако с конца XX в. получены новые данные, свидетельствующие о скоротечности процессов генерации, миграции и формирования скоплений УВ. В последние десятилетия отмечается тенденция сближения взглядов сторонников органической и абиогенной концепций на основе идей о глобальном круговороте вещества на Земле, в частности углерода и воды, и методологии создания общей теории нефтегазоносности недр. Многие исследователи сходятся во мнении о том, что объем УВ в глубинах Земли многократно превышает начальные потенциальные ресурсы осадочного чехла.

Основные показатели восполняемости запасов месторождений нефти и газа

В 1993 г. вышла работа Б.А. Соколова и А.Н. Гусевой, где впервые в печати была озвучена мысль о возможности естественного восполнения запасов существующих УВ [21]. В работе приведен целый ряд показателей свидетельствующих о скоротечности процессов образования, миграции в ловушке и на дневную поверхность УВ: естественные выходы нефти и газа на поверхность во многих регионах мира – Австралия, США, Персидский залив, Апшерон и др. в значительных объемах за короткое время (миллиарды м³ и до нескольких миллионов тонн нефти в год); мощные толщи газогидратов в современных осадках Мирового океана, содержащих триллионы м³ газа; значительные изменения состава нефтей от скважины к скважине (Западная

Сибирь и др.); обнаружение в ряде регионов гидротермальных нефтей, возраст которых оценивается от нескольких до 4-5 тыс. лет [19].

В работах Гаврилова В.П., Муслимова Р.Х. и др. в качестве примера восполняемости запасов УВ упоминается Ромашкинское месторождение, находящееся в разработке уже более 50 лет. Как важные показатели восполнения запасов приводятся изменение физико-химических свойств нефтей и возобновление работы старых простаивавшихся эксплуатационных скважин.

Одним из важных фактов восполняемости запасов нефти является превышение суммарного объема добытой нефти над утвержденными запасами [4;16]. Еще в самом начале промышленной освоения Старогрозненского месторождения о превышении объема добычи объема ловушки караганского пласта отмечал горный-инженер Баскаков Л.И. Первый подсчет запасов был выполнен в конце XIX в. В последующем, как отмечалось выше, запасы нефти миоценовых залежей подсчитывались неоднократно. Известны факты возобновления нефтепроявлений из затрубного пространства на ряде законсервированных в 90-е годы скважин. Залежь нефти в верхнемеловых отложениях после нескольких лет естественного режима стала разрабатываться с применением системы поддержания пластового давления (ППД) путем применения законтурного заводнения. В 1990-х гг. эксплуатационные скважины простаивались по несколько лет в связи с военными действиями. Но при возобновлении работы в скважинах (№№ 701, 709, 711, 712, 713, 714 и др.) сравнительно быстро восстанавливалась добыча, которая была непосредственно до остановки. Такие процессы наблюдались и по другим залежам, приуроченным к более глубоким горизонтам. О восполняемости запасов свидетельствуют также некоторые другие критерии – наличие АВПД в залежах, пульсирующий характер работы эксплуатационных скважин, высокий газовый фактор и др. [18].

Возможные источники и механизмы восполнения запасов нефти и газа

Описанию различных источников и механизмов возобновления запасов УВ месторождений посвящены ряд работ К.Б. Аширова (2000), Р.Х. Муслимова [16] и др., А.Н. Дмитриевского [4, 10], А. Баренбаума [1] и др. В начале 2000-х гг. А.А. Баренбаум разработал так называемую Биосферную концепцию, согласно которой нефтегазообразование рассматривается как геологический, так и климатический процесс, связанный с круговоротом воды и углерода на Земле, а месторождения УВ – как ловушки подвижного углерода, циркулирующего через земную поверхность в трех основных циклах круговорота, отличающихся по времени. При этом образование УВ в самом длительном цикле вызвано глубинной дегазацией, во втором цикле – катагенезом захороненного органического вещества, а в третьем 40-летнем цикле – круговоротом углерода в биосфере [1].

В работе Дмитриевского А.Н., Баланюк И.Е. и др. [11] проблеме восполнения запасов месторождений УВ увязывают с современными движениями земной поверхности. В своей работе они отмечают, что все процессы, наблюдаемые в районах интенсивной добычи нефти и газа – волновые и колебательные движения, восполнение запасов месторождений УВ и др. обусловлены флюидным режимом и свойствами земной коры (волноводы и др.). Здесь же приводятся фактические данные о пространственно-временных связях

флюидного режима нефтегазовых залежей с геодинамической активностью недр по отдельным регионам. В частности, по Терско-Сунженскому району, где ведется разработка миоценовых залежей Старогрозненской месторождения уже более 120 лет, выявлен волновой ход динамики флюидного режима залежей (с несколькими периодами с продолжительностью 11-15 лет) совпадающие с периодами современной геодинамической активизации региона. Волновой ход в добыче жидкости из различных месторождений и залежей тесно увязываются с распределением сейсмотектонической активности региона. Так, пик аномально высокой добычи в период 1965-1976 гг. (с ежегодной добычей 15-20 млн. т) совпадает с наибольшей концентрацией землетрясений произошедших в эти годы в данном регионе. Наиболее ощутимые из них были землетрясения произошедшие 1968 г. и др. Такая же картина наблюдается и в динамике добычи нефти из высокопродуктивных верхнемеловых залежей, разрабатывающихся с конца 50-х годов.

На основе результатов повторного нивелирования В.Д. Скарятиним были выделены две группы залежей УВ ТСНО, различающие по объему и плотности запасов и другим параметрам в зависимости от современной геодинамической активности движения земной коры. В первую группу включены залежи нефти и газа с малыми значениями объемов и плотностей запасов и незначительными величинами современных движений земной коры (Ахловская, Датыхская, Минеральная Гудермесская и др), а во вторую – залежи УВ со значительными объемами и плотностями запасов и высокими значениями современных движений земной коры (Старогрозненская, Октябрьская, Эльдаровская, Брагунская, Горячеисточеская и др.)[20]. Эти основные месторождения рассматриваемой территории(более 80 % добычи нефти связана именно с этими месторождениями) приурочены к интенсивно дислоцированным антиклинальным складкам (контролируемым зонами пересечения глубинных разломов), которым характерна сквозная миграция углеводородных флюидов с концентрацией значительных объемов их под мощными флюидопорами(майкопские и верхнемиоценовые глинистые толщи), поверхностные выходы нефти, термоминеральных источников и диапиризм верхнемайкопских глин [7, 8]. То есть, характер миграции УВ, объемы и плотности запасов УВ определялись интенсивностью неотектонических и современных тектонических движений [3].

На некоторых сейсмогеологических разрезах Восточного и Западного Предкавказья прослеживаются субвертикальные зоны потери корреляции и синфазности сейсмических волн, отождествляемые с «вертикальными стволовыми каналами», по которым происходила, и продолжается по настоящее время, миграция флюидных потоков под высоким давлением с глубинных зон земной коры вплоть до поверхности Земли в периоды тектонической активизации [2]. По мнению В.А Корчина и др. [15] именно тектоническая активность земной коры, «способствует эффекту расширения каналов движения мантийных флюидов, при этом формируются так называемые «трубы дегазации» –крайне необходимый атрибут формирования скопления глубинных УВ в зонах ЗНС и далее в верхних горизонтах земной коры».

Старогрозненское и некоторые другие месторождения Терско-Сунженского нефтегазоносного района являются ярким примером скоротечности процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления [7].

Краткая история освоения залежей УВ Старогрозненского месторождения

Терско-Сунженский нефтеносный район (ТСНО) относится к одному из старейших нефтегазодобывающих регионов мира. В этом году исполняется 130 лет промышленной добычи нефти в этом районе. В октябре 1893 г. в скважине 1, пробуренной на Алханкалинской площади был получен промышленный приток нефти. Так было открыто первое месторождение нефти (Старогрозненское) на территории Чечни. С этого года и по настоящее время данное месторождение находится в разработке. Последовательно здесь были открыты залежи нефти в караганских и чокракских в песчаных пластах надвиговой и поднадвиговой зонах, майкопских отложениях, верхнемеловых карбонатных, нижнемеловых аптских и терригенных породах и газовая залежь в валанжинских отложениях. Основываясь на современных теоретических положениях образования нефти можно прогнозировать здесь залежи нефти и газа и в более глубоких горизонтах юры, триаса и даже в палеозойских отложениях.

Освоение караган-чокракских (миоцен) отложений. Детальное геологическое изучение Старогрозненского района началось в 1892 г., когда А.М. Коншиным [14] было доказано о больших перспективах этой территории. В том же году пробурили первую скважину, в которой не были получены притоки. Летом 1893 г. фирмой «Ахвердов и К°» была заложена паровая скважина №1 на Алхан-Юртовском участке, в которой из II пласта караганского горизонта с глубины 134 м был получен мощный фонтан нефти. Скважина находилась в эксплуатации до 1902 г., суммарная добыча нефти составила 80,7 тыс.т. По данным Юшкина Е.М., в период 1893-94 гг. были пробурены еще три фонтанные скважины с небольшими дебитами. Следующая скважина №7/977 была заложена в феврале 1895 г., вскрывшая нефтяной пласт II караганского горизонта на глубине 141 м, давшая мощный фонтан нефти с дебитом 16 тыс. т в сутки. Скважина фонтанировала в течение трех лет и дала более 710 тыс. т нефти. Такие результаты привлекли внимание крупных нефтепромышленников к Грозненскому району, Старогрозненская нефтеносная площадь становится известной всему миру. После фонтана в скв. 7/977 в печатных изданиях того времени появилось множество публикаций, в которых излагались совершенно разные мнения о возможном дальнейшем развитии Грозненской нефтяной промышленности. И.Н. Стрижов (1904) – составил нормальный разрез караганского горизонта. В 1905 г. известным грозненским геологом И.Н. Стрижовым был выполнен впервые подсчет запасов нефти по Старогрозненскому месторождению на основе геологических аналогий (сравнительный анализ с уже добытой нефтью). Начальные балансовые запасы нефти по месторождению составили 23,3 млн. т В 1918 г. балансовые запасы нефти были подсчитаны С.И. Чарноцким с использованием объемного и статистического методов, которые составили 40,2 млн. т Однако уже по переоценке запасов выполненной в 1923 г. В.А. Сельским балансовые запасы по месторождению составили всего 20,1 млн. т из которых уже было добыто более 18 млн. т [5, 6]. В 1920-30 гг проводилось детальное изучение строения Старогрозненской складки. В этот период результаты бурения доказали о наличии нефти в поднадвиговых пластах карагана, и уже в 1932 г. первая промышленная нефть была получена в скважине № 5-79 с глубины 1245 м дебитом 5-10 т/сут. Со следующего года заложили десятки скважин на поднадвиг. В этом же году началось бурение наклонно – направленных

разведочных скважин на XII и XVI поднадвиговые пласты Старогрозненского месторождения, а в 1945 г. возобновили эти работы на Ташкалинском участке. В том же году в нескольких скважинах, пробуренных в пределах Ташкалинской площади, были получены фонтаны нефти. Это было наиболее крупным достижением геологоразведочных работ в период войны на территории Чеченской Республики. Открытие Ташкалинского месторождения способствовало увеличению добычи нефти и обеспечению нефтеперерабатывающих заводов УВ-сырьем. В целом за 1943-1945 гг. было добыто примерно 2,5 млн. т нефти [13]. В целом, на миоценовые отложения Старогрозненского месторождения пробурено несколько тысяч скважин и накопленная добыча составила около 52,3 млн. т нефти. Залежи караганчокракских и находятся на завершающей стадии разработки, степень выработанности 99,8%. Ташкалинский участок выработан полностью.

Освоение меловых отложений. В 50-60 гг. геологоразведочная контора треста Грознефтеразведка в значительных объемах начали проводить геологоразведочные работы в Восточном Предкавказье в том числе Терско-Сунженском районе. Грозненскими геологами (Рагулиным А. и др.) оперативно были составлены проекты ГРП на верхнемеловые отложения в пределах старых промысловых площадей Старогрозненское, Октябрьское и др [9].

На верхнемеловую залежь Старогрозненского месторождения пробурено 37 скважин, из которых 27 вскрыли продуктивные отложения. Промышленный приток нефти из известняковой толщи верхнего мела на Старогрозненской площади впервые был получен в 1963 г. при открытом фонтанировании скважины № 641. Структура по кровле верхнего мела представляет собой ассиметричную складку брахиморфного типа субширотного простирания. Размеры структуры по замыкающей изогипсе минус 4250 м составляют 29,3 3,2 км при амплитуде 650 м. Верхнемеловой разрез сложен карбонатными отложениями, фораминиферовые слои представлены трещиноватыми мергелями прослоями глинистых известняков, а верхнемеловые породы толщей трещиноватых известняков. Верхнемеловой коллектор отнесен к каверно-трещинному типу. За счет трещин, пересекающих мощную толщу фораминиферовых и верхнемеловых отложений залежь представляет собой единую гидродинамическую систему. Залежь относится к массивно-пластовому типу. Размеры залежи верхнемеловых отложений составляют 30х3,2 км, этаж нефтеносности – 791 м.

Залежь нефти в аптских отложениях была установлена в 1973 г. при опробовании их в скважине 701. В последующие годы аптские отложения были опробованы еще 16 скважинах, в которых получены притоки безводной нефти. По нижнемеловым (аптским) отложениям установлено поднятие, соответствующее по форме верхнемеловой складке. Аптская залежь пластово-сводовая. Размеры залежи – 29,7х3,1 км, высота 825. Нижнемеловой аптский разрез представлен терригенными образованиями: песчаниками, алевролитами и глинами. Отличительной особенностью продуктивного аптского пласта является наличие двух типов коллекторов–каверно-трещинный и порового. В 1989 г. скважиной №728 установлена залежь углеводородов в валанжинских отложениях. Наличие углеводородов установлено при испытании последних в скважине №729, в которой из интервала 5405-5535 м был получен приток газа с большим содержанием сероводорода, в связи, с чем залежь была законсервирована. Залежь свободного газа валанжинского пласта залегает на

глубине 4900-5300 м, размеры составляют 17,0х1,0 км, этаж газоносности – 67 м [13].

Таблица 1

Свод начальных запасов нефти Старогрозненского месторождения

Дата утверждения переоценки запасов	Залежь	Начальные балансовые запасы нефти, тыс. т	Коэффициент извлечения нефти, доли ед.	Начальные извлекаемые запасы нефти, тыс. т
N ₁ ВКЗ 1952 г. №7176	надвинутое крыло	77299	0,47	37475
N ₁ ГКЗ 1955 г. №689	Ташкалинский участок	6113	0,80	4936
N ₁ ГКЗ 1956 г. №1287	поднадвиговое крыло	18456	0,6	11959
Pg ₂ фораминиферы+K ₂ ГКЗ 1977 г. №7905	Фораминиферо- верхнемеловая	49618	0,66	32747
K ₁ ГКЗ 1977 г. №7905	нижнемеловая	41621	0,4	15798

Перспективы дальнейшего освоения. Из вышеизложенного можно сделать вывод о значительном нефтегазоносном потенциале Старогрозненского и других месторождений Терско-Каспийского прогиба. Дальнейшие перспективы связаны с доразработкой нижнемеловой залежи Старогрозненского месторождения, с широким использованием современных технологий максимального извлечения нефти и газа из недр; доизвлечение нефти из караган-чокракских залежей бурением дополнительных эксплуатационных и разведочных скважин или возможно шахтным способом. Определенные перспективы связаны с доразведкой нижнемаيكопских и миоценовых отложений. Возобновление доразведки данных пластов обусловлено рядом благоприятных предпосылок высокой эффективности этих направлений: благоприятное гипсометрическое положение миоценовых горизонтов относительно нижерасположенных залежей верхнемеловых и выше залегающих сарматских отложений.

Заключение

Таким образом, к основным показателям восполнения запасов месторождения можно отнести следующие положения: продолжающая добыча нефти на месторождениях где уже извлечены балансовые запасы; естественные проявления нефти на поверхности в пределах многих районов континентов и дна океанов; длительные сроки разработки и эксплуатации отдельных скважин (более ста лет), значительно превышающие нормативы, в некоторых месторождениях в ряде регионов (Грозный, Баку и др.); случаи возобновления нефтедобычи из высокообводненных скважин после вынужденного простоя в течение 5-10 лет.

В связи с вышеизложенным в практику нефтегазового освоения территорий следует внести некоторые корректировки. В связи с концентрированным поступлением флюидов из глубин при

нефтегазогеологическом изучении территории необходимо: оценить потенциальные возможности по производству УВ очагов нефтегазообразования; проводить работы с использованием комплекса методов по выявлению и локализации путей миграции флюидных потоков и установлению месторождений, имеющих современную подпитку УВ [4]; в практику разработки месторождений «вводить специальные реабилитационные периоды, когда залежь или месторождение выводится из эксплуатации и пополняет свои ресурсы за счет естественной энергии пласта и подтока УВ флюидов» [12, 17]; организация мониторинга динамики запасов нефти месторождений и объемов добычи нефти, а так же изменение некоторых физических параметров, химического состава и свойств нефтей по площади и глубине.

Дальнейшее всестороннее изучение исследуемой территории и, прежде всего, Старогрозненского месторождения, может иметь большое значение для развития теории и практики поисков, разведки и разработки месторождения УВ, основанных на современных представлениях об образовании нефти, формировании залежей и месторождений и восполняемости их запасов.

Литература

1. Баренбаум А.А. О непригодности органической и минеральной гипотез для объяснения явления современного восполнения разрабатываемых месторождений нефти и газа // О новой парадигме развития нефтегазовой геологии: Материалы Между. научно-практ. конференции. Казань: Изд-во «Ихлас», 2020. С. 59-62.
2. Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 30-37.
3. Возобновляемые ресурсы углеводородов / Сианесян Э.С. и др. // Нефтяная отрасль Чеченской Республики: 2013. С. 97-116.
4. Гаврилов В.П. Возможные механизмы естественного восполнения запасов на нефтяных и газовых месторождениях // Геология нефти и газа, №1, 2008. С. 57-65.
5. Daukaev A.A. , Aydamirova Z G, Abubakarova E A, Shaipov A A, Movlaeva A M, Bachaeva T Kh, Zakriev Kh I, Dzharzagaliyev R Z. STAROGROZNENSKY OIL AND GAS FIELD: HISTORICAL BACKGROUND AND CURRENT STATUS //В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020). 2020. С. 012012.
6. Даукаев А.А. История и перспективы развития геологоразведочных и научно-исследовательских работ на нефть и газ на Северном Кавказе (XIX-XXI вв.). М.: Спутник, 2018. 224 с.
7. Даукаев А.А. Терская и Сунженская антиклинории Восточного Предкавказья как зоны разгрузки глубинных флюидных систем // О новой парадигме развития нефтегазовой геологии: Материалы Международной научно-практической конференции. Казань: Изд-во «Ихлас», 2020. С. 80-84.
8. Даукаев А.А. Классификация локальных структур в связи с размещением залежей нефти и газа в разрезе мезокайнозоя Восточного Предкавказья // Грозненский естественнонаучный бюллетень. №3(3). 2016. С. 50-54.
9. Даукаев А.А. Неогеновые и верхнемеловые отложения Бенойской зоны дислокаций в связи с нефтегазоносностью// Грозненский естественнонаучный бюллетень. Т. 4. №1(15), 2019. С. 17-23.
10. Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е., Каракин А.В. Один из возможных механизмов восполнения запасов углеводородов // Доклады АН, №5, том 415, 2007. С. 678-681.
11. Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е., Каракин А.В. и др. Современные движения земной коры и механизм возобновления запасов углеводородов // Геология, геофизика и разработка НГМ, №5, 2008. С. 9-20.

12. *Запивалов Н.П., Попов И.П.* Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал "Гео", 2003. 198 с.
13. *Керимов И.А., Борисенко З.Г., Даукаев А.А. и др.* Геология и перспективы нефтегазоносности Чечни и Ингушетии. Грозный, 2010. 298 с.
14. *Конишин А.М.* Геологическое описание Грозненской нефтеносной площади и нефтяных месторождений Терской области и Каспийского побережья// материалы для геологии Кавказа, серии №2. Кн.6. 1892.
15. *Корчин В.А., Буртный П.А., Карнаухова Е.Е.* Зоны низкой плотности термобарической природы в коре Закарпатского прогиба – резервуары глубинных флюидов УВ // О новой парадигме развития нефтегазовой геологии: Материалы Межд. научно-практич. конференции. Казань: Изд-во «Ихлас», 2020. С. 408-411.
16. *Муслимов Р.Х.* Роль новых геологических идей в развитии старых нефтедобывающих районов в первой четверти XXI века // Геология нефти и газа. 2004. №1. С. 2-10.
17. *Плотникова И.Н, Салахидинова Г.Т, Носова Ф.Ф., Пронин Н.В.* Геохимические критерии локализации участков восполнения нефтяных залежей // Нефтяное хозяйство. 2014. № 3. С. 84-87.
18. *Сикорская С.В., Ефанова К.С., Ашенкова Е.А.* Критерии восполняемости запасов УВ // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. VI. 2017. С. 303-310.
19. *Симонейт Б.Р.Т.* Созревание органического вещества и образование нефти: гидротермальный аспект // Геохимия, 1986. № 2. С. 236–254.
20. *Скарятин В.Д.* Слоисто-блоково-диапировая модель строения земной коры и поиски месторождений углеводородов // Труды ВНИГРИ, 1989. С. 54-65.
21. *Соколов Б.А, Гусева А.Н.* О возможности быстрой современной генерации нефти и газа // Вестник Московского университета, сер. 4. Геология. 1993. № 3. С. 39–46.

ФЛЮИДЫ ХОЛОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ НА ПОДВОДНОМ БЕРЕГОВОМ СКЛОНЕ В БУХТЕ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

© В.И. Лысенко¹, Н.В. Шик², Е.Н. Полудеткина³

¹Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Севастополь

²Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий,
Севастополь

³МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. В бухте Ласпи места выходов пузырьков газа приурочены к пляжным бактериальным постройкам. Поступления газа из сипов характеризуется не стабильным составом и не постоянными объемами выбросов из недр. Результаты исследований доказали, что во флюидах кроме углеводородов, содержится кислород, азот, углекислый газ и гелий. Концентрации углеводородных газов в пробах изменяются от 57.56 до 61.48 %. В основном это метан. В пробах присутствовали этилен, пропан, этан, пропилен, бутан и пентан, но их общая концентрация не превышала 1.204 %. По результатам гидрохимической съемки солености в бухте Ласпи установлено, что в центре сипа она изменялась от 9.5 до 16.7 ‰, а в бухте Ласпи – 18.80/‰. Впервые получены доказательства, что флюиды холодных сипов содержат гелий и сопровождаются водными растворами.

Ключевые слова: флюид, метан, азот, гелий, сероводород, водные растворы, бактериальные пляжные постройки.

В наши дни большое внимание уделяется исследованию процессов углеводородной дегазации на дне морей и океанов. Выходы газа углеводородов известны в океанических котловинах, на континентальных склонах, шельфе и мелководной прибрежной зоне. По статистике более 90 % их находятся на глубинах более 100 м [2, 5, 6, 19]. Поэтому большинство работ посвящено результатам изучения глубоководных сипов и сопровождающих их построек. Реже приводятся данные по исследованию подобных образований в мелководной прибрежной части [5, 8]. Редкие находки сипов в прибрежной зоне, можно объяснить слабой изученностью и сложностью применения гидроакустической аппаратуры на мелководье для их обнаружения [19]. Дополнительными факторами, затрудняющими их поиски, являются непостоянство процессов дегазации и незначительные размеры газовых пузырьков [5, 19]. В прибрежной зоне Крыма известно 15 площадок с пузырьковыми выходами газов, у которых пузырьки доходят до поверхности [2, 8, 9, 12, 13]. Газ из них поступает сразу в атмосферу. Исследования этих процессов являются актуальными для познания влияния дегазации на формирование атмосферы и парникового эффекта в ней [17].

Наиболее интересными объектами в прибрежной зоне являются выходы газа в бухте Ласпи, которые были обнаружены Н.В. Шиком в 2004 г. Из-за незначительных глубин, где находятся выходы пузырьков газа, здесь имеется возможность исследовать их динамику и состав флюидов [10]. Подобные процессы довольно сложно изучать на значительных глубинах, еще труднее выполнить опробование. Наблюдения за пузырьками газа в бухте Ласпи продолжают до сегодняшнего дня. В осенний период 2022 г были получены

новые данные о составе газов флюидов и выполнена гидрохимическая съемка дна бухты на соленость воды.

Целью выполненных исследований являлось изучение особенностей состава и условий формирования флюидов в бухте Ласпи.

Выходы газа приурочены к участку пересечения Ласпинского и Берегового разломов [10]. Он расположен на расстоянии от 10 до 60 м от уреза воды на глубинах от 1,5 до 3,0 м [9]. Струйные пузырьковые выходы газа находятся на трех скальных грядах. Они получили название северная, центральная и южная [10]. В образовании этих гряд активное участие принимали сообщества бактерий и архей. Поэтому их можно считать пляжными бактериальными постройками бухты Ласпи, которые имеют много общего с аутигенными карбонатами или карбонатами углеводородного просачивания на дне морей и океанов [10]. Эти пляжные постройки имеют форму куэст. Над поверхностью дна их верхняя часть возвышается до метра. Пологие склоны построек направлены от берега в сторону открытого моря, где погружаются под песчаные донные отложения [10]. Их уступы в сторону суши имеет обратное падение (до $100-110^{\circ}$). Пониженные части построек в некоторые временные интервалы были засыпаны смесью песка и гравия. Верхние их части, в отличие от окружающих рыхлых отложений дна, покрыты водорослями, мшанками, раковинами серпулид, спирибусов, моллюсков. В некоторых местах на поверхности пляжных построек отмечаются налеты коричнево-черной, коричневатого-оранжевой и розовато-оранжевой бактериальной слизи.

В разные периоды времени насчитывалось от 10 до 20 точек струйных выходов. Обычно из точки дегазации наблюдается поток от 5 до 40 пузырьков газа за одну минуту, которые имеют размеры от 1,5 до 10,0 мм. Их сопровождают и более мелкие пузырьки. Диаметры пузырьков при поднятии к поверхности несколько увеличиваются, что связано с падением давления водной толщи от дна к поверхности. Выбросы газа происходят поэтапно. В начале происходит отрыв двух-пяти мелких пузырьков, затем рой (15-30) более крупных и наступает затишье на 20-40 (или более) секунд. После цикл повторяется. Кроме струйного выделения газа, в песке около микро кратеров и пляжных карбонатных бактериальных постройках отмечается диффузионный метан. Его присутствие было определено при взятии образцов из постройки и отбора проб газа. При нарушении сплошности бактериальных строений, с её сколов кратковременно выделялись пузырьки газа, а в воде чувствовался резкий запах сероводорода. Подобные процессы наблюдались, если разгребать песок вокруг выходов кратеров сипов.

Кроме визуальных наблюдений, были выполнены определения объемов выбросов газа с помощью мерного сосуда. У газовых струй центральной постройки он колеблется от 8,6 до 37,6 мл в минуту (12,3-54,2 л/сутки). Ниже дебит поступления газа у сипов южной и северной зон. Общий дебит газовых флюидов бухты Ласпи равен 97-330 мл/мин или 140-480 л/сутки. Измерения объемов выбросов газа производилось в теплые периоды в течение нескольких лет. Данные измерения дебита газовых струй за несколько лет позволяют высказать предположение, что имеется тенденция усиления процессов дегазации. По результатам визуальных наблюдений установлено, что интенсивность и объемы выделения газа сипов изменяются в течение суток и года. Сезонные годовые изменения связаны с зависимостью растворимости

газов в воде от температуры, поэтому в холодные периоды происходит понижение интенсивности объемов дегазации.

Поступление пузырьков газа в бухте Ласпи имеет много общего с выбросами грязевых вулканов [18]. У них спокойная дегазация сопровождается спонтанными катастрофическими выбросами до нескольких тысяч метров кубических. Такие объемы поступления материала в атмосферу происходят в течение нескольких минут [18]. Наблюдается связь катастрофических поступлений газа из сипов и грязевых вулканов с сейсмическими процессами. Эти факты были зафиксированы по наблюдениям в Охотском, Черном и других морях, а также на грязевых вулканах суши [14, 18]. Возможно, подобные катастрофические явления могут происходить в бухте Ласпи. За время наблюдения поступление флюидов всегда происходило в спокойном режиме. На непродолжительные существенные выбросы метана и сероводорода в бухте Ласпи, возможно, указывают заморы рыбы у побережья. Это временами отмечали местные рыбаки в осенний и зимний периоды. Можно предположить, что значительные объемы газа будут выброшены во время сейсмической активности, как во время Крымского землетрясения 1927 г. [4].

Как отмечалось выше, выходы газовых пузырьков в Ласпи приурочены к зоне Берегового разлома. Он является границей раздела вздымания Горного Крыма и опускания бухты [9]. Существенные амплитуды нетектонических движений подтверждают фрагменты террас голоцена на берегу бухты Ласпи [9]. Значительное влияние на поступление газовых флюидов оказывают сейсмические процессы на Форосском выступе, где отмечаются гипоцентры землетрясений. Потоки пузырьков газа являются индикаторами состояния тектонических процессов. Постоянные наблюдения за ними нужны для прогноза состояния сейсмических процессов на Южном берегу Крыма [3].

Для отбора проб на состав газа был выбран сип с постоянным выделением пузырьков. Пробы отбирались в пластмассовые емкости объемом 100 мл, которые закрывались двумя пробками в подводном положении. Материал для анализов отбирался в 10, 11, 12, 13 и 14 часов. Время отбора пробы газа составляло от 8 до 15 мин.

Результаты анализов состава газов доказали предположение В.И. Лысенко, что флюиды бухты Ласпи имеют комплексный многокомпонентный состав [10]. Их непостоянные объемы выбросов, сопровождаются различным газовым составом. Газовый состав флюидов характеризуется изменчивым содержанием газов в течение нескольких часов.

В составе проб преобладали углеводородные газы. Они представлены в основном метаном. Его концентрации изменяются от 55,7 до 60,4 %. Во флюидах присутствовали этилен, пропан, этан, пропилен, бутан и пентан.

Кроме углеводородных газов в составе флюидов присутствовали: азот (9,62-23,61 %); кислород (4,76-8,96 %); углекислый газ (0,23 до 0,34 %); гелий (0,43-1,19 %) и сероводород. Присутствие сероводорода было установлено органолептическим методом. Кроме этого в пробах присутствуют неопределенные газы (от 14,9 до 24,5%). Предположительно, в них входят сероводород, аммиак, неон и аргон. У авторов отсутствовала возможность их определения. Низкие концентрации углекислого газа, возможно, связаны с хорошей его растворимостью в воде. При повышенном давлении за промежуток времени опробования 10-15 мин., его некоторое количество могло раствориться в водной толще. Концентрации состава газов во флюиде имеют связь с

соотношением их молекулярных весов. Чем он выше, тем ниже содержание этого газа в растворе. Можно представить их соотношения в виде следующего ряда: [(молекулярный вес) формула соединения (содержания в %)]:

(16)CH₄(55,7-60,4); (28)N₂(9,6-23,6); (32)O₂(4,8-8,9); (34)H₂S(1,5-4,0); (44)CO₂(0,236-0,341). При проведении анализов у нас отсутствовала возможность определения сероводорода во флюидах, но по положению его в этом ряду можно предположить, что концентрации сероводорода находятся в интервале 1,5-4,0%. Второй ряд включает инертные газы и тяжелые углеводороды и представлен: (4)He(0,43-1,19); (28)C₂H₄(0,97-1,03); (44)C₃H₈(0,0019-0,0023); (58)C₄H₁₀(0,0004-0,0005); (72)C₅H₁₂(0,00017-0,00037). В приведенных соотношениях хорошо видно, что чем тяжелее молекулярный вес углеводородов, тем меньше его содержание во флюидах.

Присутствие в составе флюида бухты Ласпи высоких содержаний кислорода было неожиданным фактором. Если брать соотношения N₂/O₂, N₂/CO₂ и O₂/CO₂ в анализах флюидов, то они резко отличаются от подобных данных для атмосферы. Возможно, это указывает на глубинную природу образования кислорода. Нахождение его совместно с метаном и сероводородом можно объяснить низкими температурами поступления флюидов в бухте Ласпи. Подобное наблюдается в гидротермальных источниках подводного вулкана Пийпа, где температура выбросов больше ста градусов [15]. Даже такая температура является недостаточной для реакций окисления метана и сероводорода кислородом. Содержание кислорода в общей массе земной коры составляет 46,1-49,1%. Поэтому можно предположить, что образование кислорода во флюидах Ласпи связано с эндогенными процессами. Вероятно, на значительных глубинах существуют условия для реакции разложения воды или высвобождения кислорода из кристаллических решеток минералов.

Наличия во флюидах бухты Ласпи CO₂, CH₄, H₂S, N₂ и He является дополнительным фактом их связи с эндогенными процессами. Похожий набор газов имеют холодные сипы, грязевые вулканы, фумарольные и эруптивные газы вулканов Пийпа, Безымянный и других [11]. Они также характеризуются довольно непостоянным составом и объемами выбросов. Подобное разнообразие газов во флюидах было выявлено при изучении газовых включений в гераклитах, кварцевых и кальцитовых жилах Крыма и ряда месторождений [19, 20]. При их изучении была установлена связь подобных флюидов с магматическими очагами гипабиссального уровня. Они генерируют парогазовую смесь, представленную H₂O, CO₂, N₂, H₂S и CH₄ [20]. Подобный состав газов флюидов бухты Ласпи и данные изотопов углерода метана ($\delta^{13}\text{C} - 35,22\text{‰}$) подтверждают эндогенную природу их образования [10]. Более высокие концентрации метана, азота и сероводорода и невысокие концентрации кислорода и углекислого газа во флюидах свидетельствует о восстановительной среде в местах выходов флюидов бухты Ласпи [20].

Флюиды бухты Ласпи по составу имеют сходство с газами источника Аджи-Су (Черные воды). Он расположен в зоне Севастопольско-Ульяновского разлома глубинного заложения в породах таврической серии [1]. Из этого источника вместе с водой поступает газ в объеме около 1,5 л/сут. В его состав входит метан (23%), тяжелые углеводороды (0,91%), углекислый газ (0,4%), сероводород (0,1%), кислород (1,8%) и азот (72%). Кроме этого, в составе флюидов присутствуют в незначительных количествах гелий, неон, аргон и ксенон [1]. В своем составе газы Ласпи имеют более высокие содержания азота

и более низкие значения других компонентов, чем флюиды источника Аджи-Су. Подобные по составу выбросы газа наблюдались при проходке скважин по породам таврической серии в Ялте и Алушке. При бурении скважин на глубинах от 34.0 до 2257 были встречены участки пород, из которых поступали следующие газы: метан – 5.1-94.6 %; водород – 10-15.5%; углекислый газ – 2.7-4.3%; кислород – 0-1.39% и азот – 3.7-83.0% [1].

Следует отметить, что флюиды бухты Ласпи по разнообразию и составу газов имеют некоторое отличие от подобных выбросов холодных сипов Черного моря и грязевых вулканов [7, 18]. На северо-западном шельфе в состав флюидов входили следующие газы: метан (98.7%), тяжелые углеводороды (0.15%), азот (1.05%), углекислый газ (0.077%). При сжигании взятой пробы газов чувствовался запах сероводорода [16]. Подобные содержания метана (94.9-99.0%), азота (0.17- 5.10%), углекислого газа (0.00-0.90%) и водорода (0.00-0.25%) были в анализах, которые были отобраны из сипов Днепровского каньона [7]. При этом отмечалось, что пробах, отобранных на большей глубине, характеризуются более высокие содержания метана, чем вблизи поверхности [7, 19]. С чем связаны различия в содержаниях проб, отобранных на разных глубинах? Это объясняется методикой опробования. Обычно для взятия проб использовалось газоприемное устройство объемом около литра или больше. Отбор газа занимал значительный временной интервал. За этот период времени в емкости происходило разделение смеси газа по плотности, а часть его растворялась в воде. Поскольку материал для анализа брали из верхней части емкости, то в ней оказывался в основном метан. Подобные результаты были у авторов при взятии первых проб большими емкостями в 2013 г [10]. Отбор газа занимал от 35 до 45 мин., а содержание метана в анализах изменялось от 81.9 до 91.9%. Наблюдалась зависимость, чем больше время опробования, тем выше концентрации метана [10].

В настоящее время в науке устоялось мнение, что из сипов поступает в основном метан и незначительное количество других газов [6, 7, 12]. Поэтому все основные расчеты и исследования связаны с изучением свойств не флюида, а метана. Газовый флюид содержит букет различных газов. Эта газовая смесь резко отличается по физико-химическим свойствам от чистого метана. Только этим можно объяснить существование пузырьков флюида на глубине свыше нескольких километров. Там по теоретическим расчетам температуры и давления пузырьки метана должны были существовать в виде газогидратов [6]. Можно предположить, что растворение пузырьков в водной толще связано с изменением состава флюида за счет дифференциации газов по весу и с растворением некоторых из них. Возможно, в дальнейшем при изучении свойств смеси газов при высоких давлениях будет решена задача по созданию методики добычи газа из газогидратов.

За десятилетний период проведения наблюдений в бухте Ласпи в атмосферу поступило метана от 1054.6 м³ до 7138.2 м³, азота от 311.5 м³ до 2113.72 м³, кислорода от 128.3 м³ до 807.5 м³, углекислого газа от 4.8 м³ до 33.2 м³ и гелия от 14.6 м³ до 98.9 м³. В целом это невысокие цифры для общего объема атмосферы. На дне морей и океанов таких мест дегазации насчитывается несколько сот тысяч, а может, и больше нескольких миллионов. Время их существования миллионы и сотни тысяч лет. Продукты их выбросов составляют, без сомнения, многие миллионы кубических метров, а такие

поступления газовых флюидов обязаны оказывать влияние на состав атмосферы и гидросферы.

Дополнительные данные о составе флюидов были получены в ходе гидрохимической съемки солености у выходов сипов и в бухте Ласпи. Работы выполнялись в течение нескольких дней. Отбор воды из воронок сипов в моменты выбросов газа производился через час. Всего было отобрано двенадцать проб. Соленость в них изменялась от 9.5 до 16.7 ‰. Для сравнения были взяты девять пробы воды со дна бухты на удалении от сипов. Показатель солености в них изменялся от 18.5 до 18.8 ‰, что соответствует солености в данном секторе Черного моря [13]. Приведенные результаты доказывают, что многокомпонентные газовые флюиды сопровождаются «гидротермальными растворами», которые визуальнo не фиксируются. Выбросы опресненных вод имеют незначительные объемы и некоторую периодичность. Это доказали пробы воды, отобранные в метре от сипов с четырех сторон. Они имели солёность 18.6 - 18.8 ‰.

Пониженная соленость растворов у выходов сипов, соответствует результатам опробования сопочных вод грязевых вулканов Керченского полуострова. У них минерализация всегда ниже, чем у морской воды [18]. Предположительно, гидротермальные растворы из сипов имеют повышенные концентрации рудных химических элементов. На это указывают результаты геохимических анализов карбонатного цемента «пляжных бактериальных построек» бухты Ласпи [9]. Для его создания сообщества бактерий и архей используют современные углеводородные флюиды сипов бухты Ласпи, которые характеризуются повышенными концентрациями геохимических элементов.

На сегодняшний день отсутствуют данные постоянных наблюдений за объемами выбросов и составом газовых струй бухты Ласпи. В настоящее время не вызывают сомнения существования тесных связей между составом и объемом газов дегазацией с тектонической активностью региона [14]. Возможно, современная активность выходов газов в бухте Ласпи имеет связь с сейсмическими процессами на Форосском поднятие, в Мраморной балке, на западном выходе Севастопольской бухты и в Южнобережной сейсмической зоне. Газовые струи по составу и объемам являются индикаторами состояния недр. Южный берег Крыма относится к восьми бальной сейсмической зоне [3]. Современная традиционная сейсмология и геофизика пропустили прогноз катастрофического землетрясения в Японии и Турции. Многие ученые высказали предположение, что сейсмический мониторинг не отражает все разнообразия процессов в земной коре и является недостаточным для прогноза. Поэтому необходимо создать круглогодичную службу систематических наблюдений за газовыми выходами в бухте Ласпи. Результаты наблюдений являются информацией об изменениях напряжений в массивах горных пород земной коры и будут служить данными для прогноза землетрясений. Дополнительно, многолетние результаты наблюдения за дегазацией в бухте Ласпи позволят рассчитать воздействие эндогенных флюидов на состав парниковых газов в атмосфере.

Результаты исследований дегазации сипов подтвердили наше предположение о том, что флюидные потоки в бухте Ласпи имеют эндогенную природу образования [9]. Впервые было установлено, что они имеют многокомпонентный газовый состав с присутствием холодных растворов. На глубинный генезис формирования флюидов указывают следующие признаки:

приуроченность их выходов к зоне пересечения разломов; периодичность и пульсирующий характер извержений; непостоянство объёмов выбросов и состава газов; присутствие метана, этана, пропана, этилена, пропилена, бутана, пентана, азота, углекислого газа, гелия и сероводорода; тяжёлый изотопный состав углерода; наличие водных растворов и повышенные содержания Ni, Co, Zn, Cu Mn и V в карбонатном цементе построек. Впервые получены доказательства, что пузырьки газа сопровождаются гидротермальными растворами и содержат гелей. Возможно, в будущем подобный состав флюидов будет установлен для многих сипов, которые находятся в прибрежных и глубоководных частях морей и океанов.

Литература

1. Альбов С.В. Самулева В.И. Районирование и характеристика минеральных вод / Гидрогеология СССР. Т. 8. Крым. М.: «Недра», 1970. С. 263-276.
2. Геворкьян В.Х., Бураков В.И., Исагулова Ю.К., и др. Газовыделяющее построение на дне северо-западной части Черного моря // Докл. АН УССР. 1991. № 4. С. 80-85.
3. Гобаренко В.С., Муровская А.В., Егорова Т.П., Шеремет Е.Е. Современные коллизийные процессы на северной окраине Черного моря // Геотектоника. 2015. № 4. С. 68-87.
4. Двойченко П.А. Черноморское землетрясение 1927 г. в Крыму // Природа. 1928. № 6. С. 523-542.
5. Димитров Л.И. Газово-акустические аномалии осадочного чехла Болгарского Черноморского шельфа // Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. София.: из-во Болгарской академии наук, 1990. С. 362-380.
6. Егоров В.Н., Артемов С.Б., Гулин С.Б. Метановые сипы в Чёрном море средообразующая и экологическая роль. Севастополь.: НПП «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 345 с.
7. Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей: количественные оценки // Геохимия. 2005. № 4. С. 438-453.
8. Луцик А.В., Морозов В.И., Палин В.П. и др. Особенности формирования подземных вод в западной части Равнинного Крыма (на примере района бухты Очеретай) // Геологический журнал. 1985. Т. 45 № 3. С. 101-107.
9. Лысенко В.И., Шик Н.В. Современные процессы образования карбонатов, связанные с углеводородной дегазацией, в бухте Ласпи (Южный берег Крыма) // Пространство и Время. 2013. Том 2. № 12. С. 151-157.
10. Лысенко В.И., Шик Н.В. Состав флюидов современной дегазации и процессы карбонатной цементации в пляжной зоне бухты Ласпи (Южный берег Крыма) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. Изд-во Моск. ун-та (М.). 2015. Том 90. № 1. С. 81-89.
11. Макдональд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 431 с.
12. Малахова Т. В., Канапацкий Т. А., Егоров В. Н. и др. Микробные процессы и генезис струйных газовыделений прибрежных районов Крымского полуострова // Микробиология. 2015. Том 84. № 6. С. 743-752.
13. Тихонова Е.Н., Тарновецкий И.Ю., Малахова Т.В. и др. Идентификация аэробных метанокисляющих бактерий в прибрежных осадках Крымского полуострова // Микробиология. 2020. Том 89. № 6. С. 737-747.
14. Обжиров А.И. Увеличение газовой составляющей при сейсмотектонической активизации и участие газа в возникновении землетрясений (Охотское море) // Тихоокеанская геология, Том 32, № 2, 2013. С. 86-89.

15. Полоник Н.С. Изучение газонасыщенного гидротермального флюида подводного вулкана Пийпа // Материалы XXI региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Изд. ИВиС ДВО РАН. 2018. С. 197-199.
16. Рязанов А.К. Газ и газовые туманы на шельфе Черного моря // Докл. АН УССР. 1996. № 4. С. 90-94.
17. Фёдоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.Н. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуокиси углерода в атмосфере // Жизнь Земли. 2018. Т. 40 (1). С. 12-21.
18. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар.: ООО «ГлавМедиа», 2005. 176 с.
19. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Пасынков А.А. Газовый вулканизм Черного моря. Киев.: «Логос», 2013. 383 с.
20. Feng, D., Chen, D.F., Peckmann, J., Bohrmann, G., Authigenic carbonates from methane seeps of the northern Congo fan: microbial formation mechanism. Mar. Pet. Geol. 2010. V. 27, P. 748–756.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБРАЗОВАНИЮ КАРБОНАТА ЗА СЧЁТ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНА СООБЩЕСТВОМ ПРОКАРИОТ И АРХЕЙ

© В.И. Лысенко

Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Севастополь

Аннотация. Экспериментальными работами установлено, что главными условиями образования современных и древних «карбонатов просачивания углеводородов» являются поступления метана из недр и присутствие сообществ бактерий и архей по его переработке. Данные опытов позволяют отказаться от предположения, что ведущую роль в окислении метана осуществляли сульфатредуцирующие бактерии

Ключевые слова: карбонаты углеводородного просачивания, метанотрофные бактерии, архей, углеводородные флюиды, ботриоиды, эксперимент, карбонат

В наши дни большое внимание уделяется изучению образования карбонатных пород с участием бактерий и архей. Большинство исследователей считают, что их формирование связано с процессами жизнедеятельности цианобактерий. В шестидесятых годах XX в. в северо-западной части Тихого океана на больших глубинах были обнаружены аутигенные карбонатные постройки над выходами метана (Campbell, 2006). Это открытие нарушило монополию гипотезы об образовании карбоната и органического вещества за счёт процессов фотосинтеза. В англоязычной литературе подобные образования получили название «карбонатов углеводородного просачивания» (Aharon, 1994; Campbell, 2006). Их создание происходило в афотической зоне и отличается от условий формирования построек цианобактерий. Сейчас много внимания уделяется экспериментам для выяснения механизма образования карбонатного вещества за счёт бактериального хемосинтеза. Уже накоплен значительный объём результатов исследований по этой теме, но нет ответа на вопрос о последовательности реакций создания карбоната.

Автор много лет изучал карбонатные постройки прокариот из миоценовых пород Крыма, известных как гераклиты (карбонаты просачивания углеводородов). У них отсутствуют следы воздействия процессов катагенеза и метагенеза (Лысенко и др., 2019). Это позволило выдвинуть предположение о сохранности в гераклитах спорового материала сообществ бактерий и способности их к возрождению. Для подтверждения гипотезы автором были выполнены эксперименты по возрождению спорового материала миоценовых сообществ архей и бактерий в искусственной водной среде, что позволило приблизиться к ответам на вопросы образования карбоната прокариотами за счёт переработки метана.

Для опытов использовался мелко истёртый порошок и дробленый материал гераклитов. Эксперименты проводились в морской воде Чёрного моря. Для создания углеводородного органического вещества сообществу архей и бактерий всегда требуется азот и сера. Поэтому в водный раствор добавили азотную кислоту и сульфид натрия. Бурный продув метана осуществлялся от 10 до 15 мин. от трёх до пяти дней в неделю из баллончика «Турист». Было выполнено два эксперимента. В первом опыте, который длился полгода, кратковременное воздействие рассеянного света составляло не более часа в

неделю. Второй эксперимент длился десять месяцев. При его выполнении ёмкости с материалом были покрыты светозащитной плёнкой, что позволило исключить влияние солнечной энергии на происходящие процессы. Но эти различия не оказали влияние на конечные результаты опытов.

По окончании экспериментов хорошо было видно, что поверхность обломков гераклитов покрыта бактериальным обрастанием, которое имеет зональную окраску. Верхняя часть представлена оранжевой или розовой мохнатой плёнкой мощностью до 2,0 см. По оттенкам цветов бактериальное обрастание делится на две части. Верхняя зона темно-оранжевого цвета имеет волокнистое строение, а нижняя - представлена светло-оранжевой желеобразной массой. Перед прокачкой метана наблюдалось своеобразное увядание верхней бактериальной поросли, а с началом поступления газа происходило резкое поднятие тёмно-оранжевого ветвистого материала. На границе раздела цветовой окраски отмечаются точечные новообразования белого кальцита, который имеет комковатую форму сростков сферолитов. Ниже находится зона черно-коричневого цвета с довольно резкими границами. Её окраска связана с органическим веществом. На дне экспериментальных сосудов под чёрным материалом находится зона белого цвета. Она имеет резкие контакты с верхней зоной. В этой зоне стенки химического стакана и крупнообломочный материал гераклитов покрыты белым налётом новообразованного карбоната.

После проведения опытов значительно изменился внешний вид поверхностей обломков гераклитов. Большая их часть была покрыта серо-коричневой или белой плёнкой карбоната мощностью 0,5-2,5 мм, с характерными микро дырчатыми отверстиями. Встречаются отдельные поверхности на гераклитах, покрытые сотовыми образованиями с вертикальными микротрубочками. Наружность некоторых обломков гераклитов покрыта присыпками белого карбоната пластинчатой и сферолитовой формы. В промытом материале эксперимента встречаются новообразования карбоната различной формы размером до трёх миллиметров. Это своеобразные «стяжения» удлинённой неправильной формы с дырчатой поверхностью в виде микрократеров. Они напоминают описание «микрометанолитов» «шлаковидных» гераклитов и современных «карбонатов углеводородного просачивания». Кроме этого, встречаются сферолитовые образования, плоские пластинки и войлочные скопления удлинённых кристаллов арагонита.

Карбонатные новообразования наших экспериментов вступали в реакцию с кислотами через некоторый промежуток времени, а высушенные – мгновенно. Это доказывает, что они были покрыты бактериальной плёнкой, которая защищает карбонат от кислоты и разрушается в воздушной среде. После растворения карбонатных новообразований на предметном столе остаются чёрные точки. Предположительно, это следы органического вещества бактерий.

При детальном осмотре в конечном продукте между новообразованиями были обнаружены пластинки самородной серы размером до 2,0 мм. При их прокаливании выделялся сернистый газ с характерным запахом.

В ходе эксперимента были выполнены замеры щёлочности и температуры раствора прибором рН-метром Inolab pH Level-2. Измерения в разные дни перед началом прокачки установили, что рН раствора изменялся от 5,750 до 6,674 (морская вода характеризуется первичным рН=8,264). В момент прокачки метаном происходит увеличение щёлочности раствора на 0,525-0,925 от предшествующего значения. Абсолютные значения рН особенно сильно

увеличивались после первых 5 мин. поступления газа. После окончания процедуры прокачки происходило медленное увеличение кислотности до первоначального значения.

Через 30-40 мин. после начала прокачки и её остановки наблюдался медленный рост температуры раствора. В течении 2-6 часов она повышается на $0,3^{\circ}$ - $0,5^{\circ}$, а после этого температура раствора и pH понижалась до первоначальных величин.

За время проведения опытов произошло значительное изменение состава раствора. В первичной морской воде содержание катионов составляло $\text{Ca}^{+2} = 14,5$ ммоль/дм³ и $\text{Mg}^{+2} = 39,25$ ммоль/дм³. По окончании опытов в растворе увеличилась концентрация Ca^{+2} до 150,3 ммоль/дм³ и уменьшилась – Mg^{+2} до 29,8 ммоль/дм³. Высокие содержания кальция связаны с растворением карбонатного вещества гераклитов в кислой среде. Изменение катионов Mg^{+2} в растворе указывают на их участие в образовании карбоната. Значительные перемены в растворе связаны с изменениями концентраций SO_4^{-2} . В конце проведения эксперимента содержание сульфатов в нём составляло 4,704 г/л, а в первичной морской воде – 1,152 г/л, что можно объяснить окислением материала сульфида натрия.

Выше сообщалось о присутствии чёрной органики в осадке. Кроме этого, по данным анализов в растворе присутствует более тридцати органических соединений. Значительная их часть представлена органическими кислотами и эфирами. Наш раствор являлся своеобразным реактором по производству высокомолекулярного органического вещества, которое использовалось для построения новых клеток микроорганизмов.

В научной литературе приводятся многочисленные описания опытных работ по образованию карбонатного вещества сообществом прокариот, за счет деятельности сообществ цианобактерий. Считается, что они создавали постройки строматолитов и микрофитолитов, для которых характерны микротрубчатые, сферолитовые и полосчатые структуры (Крылов, 1975). Их находки являются доказательством образования пород цианобактериями в хорошо освещённых условиях.

Наши опыты доказали, что карбонат, созданный сообществом архей и бактерий за счёт переработки метана, имел довольно сложную структуру и текстуру на микроуровне. Разнообразие бактериального выделения карбоната довольно трудно изучать по отдельным срезам в шлифах. При исследовании микритовых образований древних и современных «карбонатов просачивания углеводородов» с помощью электронного микроскопа хорошо видно, что они представлены сплетением пластинчатых, трубчатых, нитевидных, округлых, хлопьевидных и гантелеобразных форм, которые являются продуктами фоссилизации бактерий (Лысенко и др., 2019). Создание подобных разнообразных форм новообразований карбоната происходило и в наших экспериментах.

Сферолитовые образования присутствуют в материале новообразования карбонатов всех экспериментов. Их внешняя морфология наличия микрократеров, трубчатых образований имеет большое сходство с поверхностью современных и древних «карбонатов углеводородного просачивания» (Леин, 2004; Campbell, 2006). В русскоязычной литературе первые описания сферолитовых образований на поверхности современных карбонатных построек приводятся в работах Е.Ф. Шнюкова с соавторами

(Шнюков и др., 1997; Леин, 2004), а англоязычной литературе они известны, как botryoids или nodular masses (Campbell, 2006). Позже в бактериальном обрастании матов В.Ф. Гальченко обнаружил мелкие включения «карбонатного жемчуга», которые через некоторый промежуток времени срастаются между собой в карбонатную корку (Гальченко, 2001). В наших опытах точечные образования карбоната в бактериальном обрастании являются аналогами зародышей «жемчужин».

Поведение бактериальной «поросли» при прокачке, обрастание пузырьков газа кристаллами кальцита, а также изменения в растворе рН и температуры свидетельствуют, что метан является главным компонентом для создания карбоната и органического вещества сообществами прокариот. Их формирование не связано с солнечной энергией. Сферолитовые, микро трубчатые, сотовые и пластинчатые обрастания поверхности обломочного материалов в экспериментах имеют внешнее сходство с описанием образований, которые известны как микрофитолиты и тромболиты (Крылов, 1975). В то же время подобные микроскопические, морфологические формы выделения карбоната характерны для современных и древних «карбонатов просачивания» (Aharon, 1994; Campbell, 2006). Подобное сходство морфологических микро образований, созданных за счёт разных видов энергии и материала, можно объяснить тем, что цианобактерии и сообщества метанотрофных и метаногенных бактерий являются родственниками одного царства прокариот.

Значительное разнообразие форм выделения карбонатов свидетельствует, что существует многообразие объединений различных микроорганизмов, связанных кооперацией по созданию органического вещества из метана для продолжения жизни. В настоящее время нет единого взгляда на химические реакции преобразования CH_4 в карбонатное вещество в анаэробных условиях. Существует больше двадцати формул реакций преобразования метана и углекислого газа в биогенное углеводородное вещество и карбонат. Большинство исследователей связывают окисление метана с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий, которые используют кислород из сульфатов морской воды. В результате проведения наших экспериментальных работ концентрация SO_4^{-2} в растворе увеличилась в четыре раза и появилась самородная сера, что связано с окислением добавок сульфида натрия. Этот факт позволил отказаться от предположения, что ведущую роль в окислении метана осуществляли сульфатредуцирующие бактерии. Сера является обязательным компонентом создания органического вещества, но в растворе прокариоты окисляют её до сульфатов.

Откуда берётся кислород? Он необходим для создания органического вещества бактерий, окисления метана и серы. Прокариоты метаногенов и метанотрофов известны с архея, когда в гидросфере отсутствовали соединения с кислородом. Поэтому для окисления CH_4 в анаэробных условиях, по нашему предположению, прокариоты научились добывать кислород за счёт разложения воды. В дальнейшем эту методику получения кислорода переняли у них цианобактерии и растения. Можно предположить, что в наших опытах бактериальные сообщества для создания биогенного углеродистого вещества используют не только энергию окисления метана, а также энергию образования конечного продукта карбоната. Энергия Гиббса окисления метана до CO_2 – 394.4 кДж/моль и H_2O – 228,6 кДж/моль, а получение кристаллического кальцита – 1127,2 кДж/моль. Поэтому в клетках бактерий происходит полный цикл

окисления метана с образованием карбоната. В солевом составе вод Мирового океана содержание катионов кальция в три-четыре раза меньше, чем магния. Почему же для создания современных и древних карбонатных построек архей и прокариоты образуют в основном арагонит и кальцит, иногда магнезиальный кальцит и очень редко доломит? Возможно, это связано с энергетической причиной. Энергия Гиббса образования молекулы CaCO_3 (1128 кДж/моль) несколько выше формирования MgCO_3 (1029 кДж/моль). Магний использовался бактериальным сообществом в моменты значительных выбросов метана, когда в воде создавался дефицит катионов кальция для получения карбоната.

В кислой среде растворов наших опытов происходит образование карбонатного вещества, предположительно, в клетках прокариот. Живые организмы создают контролируемые щелочные условия, необходимые для осаждения карбонатов. Возможно, разнообразие форм выделения новообразований карбоната в эксперименте можно объяснить эластичностью и пластичностью мембраны клетки. Можно предположить, что усложнение морфологии карбонатных новообразований связано со срастанием аморфных кальцитовых частиц. Данный процесс дополнительно может контролироваться коагуляцией коллоидных систем клетки и кристаллографическими законами образования арагонита, а также преобразования его в кальцит с изменением объема.

Экспериментальные работы подтвердили, что главными условиями образования высокомолекулярного углеродистого биогенного вещества и построек «карбонатов просачивания углеводородов» являются поступления метана из недр и присутствие сообществ бактерий и архей по его переработке. Процессы поступления метана, углекислого газа, сероводорода и других из недр происходили с момента образования атмосферы и гидросферы на Земле и продолжают в наши дни. В разные этапы геологического развития выбросы метана, азота, углекислого и других газов контролировались тектоникой и имели разную интенсивность. Наиболее значительные поступления газового дыхания происходили в период 4,0-2,5 млрд. лет. В это время поверхность Земли была покрыта плотной сеткой разломов, через которые шло активное поступление флюидов для формирования атмосферы и гидросферы. Первичная вода в палеоокеанах была насыщена метаном, который являлся пищей для метанотрофных прокариот и архей. Когда «санитары» очистили гидросферу от метана, места обитания простейших сместились к активным тектоническим зонам. Благодаря их деятельности по переработке углеводородов происходит значительное уменьшение поступления метана в атмосферу и гидросферу. Прокариоты, перерабатывая метан, создают органическое вещество с избытком. Поэтому в наши дни к площадям интенсивного поступления флюидов с углеводами приурочены участки биопродуктивности с рыбопродуктами (Перуанская котловина, Гвинейский и Калифорнийский заливы, Ньюфаундлендская банка, районы Исландии и Сейшельских островов). Жизнь на Земле связана с солнечной энергией и поступлением углеводородов из недр. Переработка глубинных флюидов сообществом прокариот в органическое вещество и карбонат являются защитой от поступления метана в географическую оболочку. Такие процессы происходили в прошлом, настоящем и будут продолжаться в будущем.

Выполненные нами экспериментальные работы подтвердили, что главными условиями образования современных и древних «карбонатов

просачивания углеводородов» являются поступления метана из недр и присутствие сообществ бактерий и архей по его переработке.

Литература

1. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.
2. Крылов И.Н. Строматолиты рифей и фанерозоя СССР. М.: Наука, 1975. 243 с.
3. Леин А.Ю. Аутигенное карбонатообразование в океане // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 1. С. 3-35.
4. Лысенко В.И., Азовскова О.Б., Михайличенко Т.В. Геохимические особенности микробиолитов миоцена (Юго-Западный Крым) по результатам ICP-MS исследований // Литосфера. 2019. Том 19. № 4. С. 625-639.
5. Шнюков Е. Ф., Щербakov Е. Е., Шнюкова Е. Е. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев: «Чернобыльинформ», 1997. 287 с.
6. Aharon P. Microbial processes and products fueled by Hydrocarbons at submarine seeps // Microbial sediments. Riding R.E. and Awramic S.M. (Eds). Springer. Verlag Berlin Heidelberg. 2000. P. 270-281.
7. Campbell, K.A. Hydrocarbon seep and hydrothermal vent paleoenvironments and paleontology: Past developments and future research directions // Palaeogeography Palaeoclimatolog. Palaeoecology 2006. V. 232. P. 362-407.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПО НОВЫМ ДАННЫМ ГРР

© Н.И. Немцов¹, М.Б. Скворцов¹, И.А. Титаренко⁴, А.В. Ступакова³,
А.Е. Березий¹, С.В. Можегова¹, И.Н. Немцов¹, И.Л. Пайзанская¹,
Т.В. Гейдеко², В.Г. Грошев², А.В. Мордасова³, Н.М. Меркулова⁴

¹ВНИГНИ

²АО «Центральная геофизическая экспедиция»

³МГУ им. М.В. Ломоносова

⁴АО «Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики»

Аннотация. Создана региональная сеть взаимно-увязанных опорных геолого-геофизических профилей и обновленная геолого-геофизическая информационная база регионального прогноза нефтегазоносности. Уточнены схемы тектонического и нефтегазгеологического районирования. Выявлены перспективные ловушки разного типа. Уточнены особенности строения и потенциальной продуктивности клиноформенных комплексов майкопских, сарматских и плиоценовых отложений. На основе 3D бассейнового моделирования уточнены строение и перспективы нефтегазоносности выявленных и перспективных зон нефтегазонакопления (ЗНГН), построены карты перспектив нефтегазоносности и выполнена оценка ресурсного потенциала каждого НГК. Определены приоритетные направления и даны рекомендации по первоочередным ГРР.

Ключевые слова: региональные ГРР, 3D бассейновое моделирование, нефтегазоносные комплексы, клиноформы, ловушки УВ, перспективы нефтегазоносности, оценка ресурсов УВ, тектоническое и нефтегазгеологическое районирование, приоритетные направления ГРР.

Введение

В 2020-2022 гг. в Северо-Кавказском ФО (восточная часть Причерноморско-Северо-Кавказской НПП) проведены госбюджетные региональные геологоразведочные работы (ГРР) по двум объектам «Создание региональной сети взаимно-увязанных опорных геолого-геофизических профилей с целью создания объемной модели Терско-Каспийской, Центральной и Восточно-Предкавказской нефтегазоносных областей (НГО) и оценки ресурсной базы основных нефтегазоносных комплексов палеозой-кайнозойских отложений на основе 3D бассейнового моделирования, новых данных сейсморазведки и бурения» и «Региональные сейсморазведочные работы МОГТ-2D на территории Шелковского участка». Работы выполнялись коллективами ФГБУ «ВНИГНИ», АО «Росгеология», его дочерних предприятий АО «ЦГЭ», АО «НВ НИИГГ» и АО «Ставропольнефтегеофизика», а также геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова.

Осуществленный ВНИГНИ на современном технологическом уровне комплекс лабораторно-аналитических исследований кернового материала глубоких скважин позволил уточнить представления о петрофизических, литолого-петрографических и геохимических особенностях верхнепалеозойских и мезозойских отложений, в том числе об их фильтрационно-емкостных

свойствах, распространении в разрезах нефтематеринских пород и оценке их генерационного потенциала, другие характеристики по созданию объемной модели нефтегазоносных комплексов (НГК).

В результате региональных ГРП, проведенных в 2020-2022 гг. и ранее (РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина и АО «Ставропольнефтегеофизика» в 2014-2016, 2016-2018 гг. на подсолевые юрские, верхний мел – эоценовые и хадумские отложения) впервые получен структурный каркас по 13 опорным и целевым отражающим горизонтам от палеозоя до неогена в пределах Северо-Кавказского ФО и уточнено строение выявленных и перспективных зон нефтегазонакопления основных нефтегазоносных комплексов (НГК) палеозой-кайнозойских отложений, базирующихся на результатах отработки сети новых региональных профилей МОГТ-2D (в объеме 1025 пог. км) и переобработки на современном программно-методическом уровне ретроспективных полевых записей по сейсморазведочным профилям (в объеме 1000 пог. км), в совокупности со структурной интерпретацией временных разрезов ретросейсмопрофилей протяженностью 15 тыс. км, а также результатами бурения, исследований и испытаний 280 глубоких скважин. Таким образом была подготовлена надежная информационная сеть временных и глубинно-динамических разрезов МОГТ высокого качества.

К наиболее значимым, основанным на комплексном анализе палеотектонических и палеогеографических условий осадконакопления, бассейнового моделирования, относятся следующие результаты.

Уточнение схем тектонического и нефтегазогеологического районирования.

В основу уточнения тектонического районирования положены, в первую очередь, структурные карты по кровле палеозоя и по кровле верхнего мела, карта толщин рифтогенного пермо-триасового комплекса. В результате уточнились границы структурно-тектонических элементов I и II порядков, границы более мелкого порядка не уточнялись, учитывая региональный масштаб построений и обобщения, выполненных в данной работе.

Корректировка тектонического районирования коснулась следующих структурно-тектонических элементов (рис.1):

- Предлагается расширить границы Северо-Кавказской части НГП за счет смещения ее южного края до границы выхода (выклинивания) пород верхней юры (J3) на северном моноклиальном склоне мегантиклинория Большого Кавказа. Тем самым расширяется перспективная площадь для проведения ГРП с целью поисков «горной нефти» в полосе предгорий Кавказа на ширину от 10 до 40 км (Южно-Дагестанская складчатая зона или Дагестанский клин). В качестве дополнительных аргументов такого расширения границ НГП следует напомнить об открытии нефтегазовых залежей на месторождениях Датыхском и Бенойском (Республики Ингушетия и Чечня), расположенных на северном склоне Большого Кавказа.

- Расширены контуры Терско-Каспийского прогиба (ТКП) за счет включения в его состав в качестве северо-западного периклинального замыкания Восточно-Ставропольской впадины, что подтверждается структурой поверхности герцинского фундамента, депрессионным характером выполняющих впадину осадочных мезозойско-кайнозойских комплексов и

объединенных в 28 объектов по их унаследованности на различных стратиграфических уровнях.

Наибольший интерес представляют возможные ловушки в подсолевом верхнеюрском карбонатном комплексе ТКП, с которым связываются основные перспективы нефтегазоносности и ожидаемые объемы прогнозных ресурсов УВ. В пределах этой структуры выявлено свыше 20 перспективных в нефтегазоносном отношении ловушек рифогенного генезиса. Реализация этих перспектив сдерживается низким уровнем изученности данного комплекса сейсморазведкой и бурением, сложностью расшифровки сейсмических волновых полей. Этим определяются различные подходы к трактовке строения и состава данного комплекса со стороны авторов настоящего доклада.

По мнению исследователей НВ НИИГГ, в пределах Терско-Каспийского прогиба в позднеюрское время были распространены органогенные постройки шельфового типа небольшой высоты. В АО «ЦГЭ» считают, что строение подсолевых верхнеюрских карбонатных отложений, в том числе изменений их мощностей, определяются развитием системами дуплексов (взбросо-надвиговых дислокаций).

По оценкам ВНИГНИ (что принимается в процессе дальнейшего анализа) карбонатное осадконакопление в позднеюрское (оксфордское) время сопровождалось в регионе широким распространением биогерм и рифовых построек. При этом, в бортовых зонах ТКП формировались в основном рифовые постройки шельфового типа, в то время как в центральных частях ТКП, в условиях относительно глубоководного шельфа с некомпенсированной седиментацией в разрезе подсолевой толщи карбонатных отложений оксфордского яруса верхней юры выделяются крупные карбонатные массивы (рис. 2), характеризующиеся увеличенными (до 500-600 м) толщинами и осложненные рифовыми постройками внутрибассейнового (островного) типа высотой несколько сотен метров, замещаемые по периферии преимущественно депрессионными высокоуглеродистыми фациями (экраны для УВ) меньшей мощности. Именно такого типа карбонатные постройки представляют наибольший поисковый интерес в силу своих размеров по высоте и площади. Вероятно, такого типа карбонатные постройки наблюдаются в обнажениях на южном борту Терско-Каспийского прогиба, где в разрезе фиксируется чередование рифогенных (обнажения по рекам Урух, Ардон, Фиагдон, Асса), органогенно-обломочных и депрессионных фаций высокоуглеродистых карбонатных пород (обнажения по р. Терек и др.). Экспертно оцененные извлекаемые ресурсы такого типа рифогенных ловушек категории Дл могут составлять от десятков до 150 млн. т УУВ.

Один из таких крупных верхнеюрских карбонатных массивов выделяется по сейсмическим данным между месторождениями Заманкул и Карабулак-Ачалук. Предполагаемые размеры карбонатного массива 15х7 км, мощность верхнеюрских карбонатных отложений - до 800 м, массив осложнен рифовыми постройками, а в меридиональном направлении – и взбросовыми дислокациями (сейсмопрофили 081508, 1105010 и др.) [4].

глубоководная (200-400 м), глубоководная (>400 м), карта зон развития различных типов ловушек в клиноформах (рис. 4).

С учетом результатов бурения и исследований скважин, интерпретации сейсмических данных и анализа цикличности создана концептуальная модель распределения литотипов пород и возможных типов ловушек УВ в клиноформах майкопской серии. Установлено, что возможные песчаные коллекторы приурочены к регрессивным частям циклитов клиноформ М2, М3, М8, М10, М16. Наибольшим количеством песчаных пропластков характеризуется 8 клиноформа склона шельфа, песчаники которой приурочены как к ундаформе, так и к фондоформе. На временных сейсмических разрезах в ундаформе клиноформы М8 наблюдается увеличение амплитудности осей синфазности, что может быть связано с наличием выдержанных песчаных пропластков.

О перспективности майкопского НГК в Терско-Каспийском прогибе свидетельствуют результаты ГРП ОАО «Грознефтегаз» в 2022 г. на Хаян-Кортовском месторождении (Терско-Сунженская зона), где проведено переиспытание в старом фонде 4-х скважин пропущенных объектов в нижнемайкопских песчаных пачках IV-V, доказана их промышленная нефтеносность.

Таким образом, основные перспективы нефтегазоносности в клиноформах майкопа Восточного Предкавказья приурочены к клиноформам М8, М10 и М16, в которых прогнозируются в основном структурные ловушки с элементами литологического экранирования в ундаформе и литологически экранированные ловушки, связанные с конусами выноса в фондоформе и с клиноформами субаквальной дельты (см. выше рис. 4). При этом глинистые отложения майкопских клиноформ будут играть роль локальных флюидоупоров. Источником УВ могут служить как нижезалегающие обогащенные ОВ отложения хадумской свиты, так и глинистые породы залегающих выше пачек майкопской серии.

О перспективности майкопского НГК в Терско-Каспийском прогибе свидетельствуют результаты ГРП ОАО «Грознефтегаз» в 2022 г. на Хаян-Кортовском месторождении (Терско-Сунженская зона), где проведено переиспытание в старом фонде 4-х скважин на участках пропущенных объектов в нижнемайкопских песчаных пачках IV-V и доказана их промышленная нефтеносность.

Выделены также клиноформы: в сармате – 3, меотисе – 5, понте – 2, акчагыле – 2 клиноформы. Однако перспективы открытия залежей нефти и газа в этих отложениях представляются невысокими в силу их низкой генерационной способности. Наибольшая вероятность открытия залежей УВ в неогеновых отложениях, по нашему мнению, в зонах распространения разломной тектоники, по которым возможна миграция УВ из нижних нефтегазопродуцирующих толщ хадума и майкопа, прежде всего в центральных частях Терско-Каспийского прогиба (Терско-Сунженской зоне и др.).

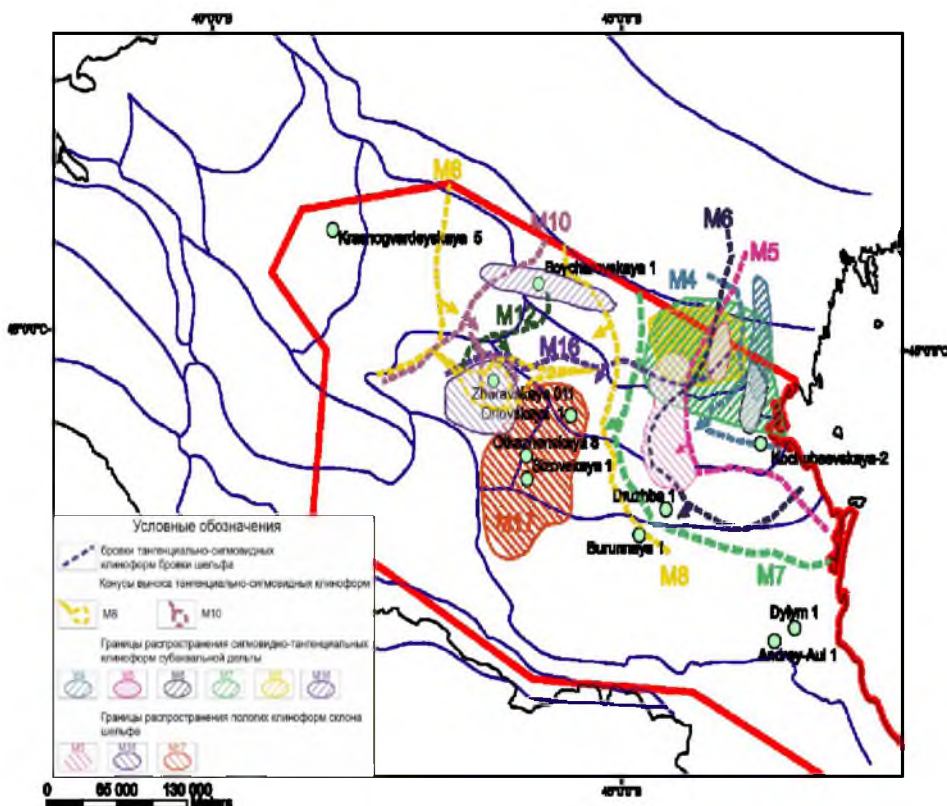


Рис. 4. Схема распространения прогнозируемых структурно-литологических и литологически-экранированных ловушек в клиноформах различных типов Восточно-Предкавказской НГО

Перспективы нефтегазоносности нетрадиционных коллекторов в палеогеновых отложениях

Результаты исследований нефтегазоносности Центрального и Восточного Предкавказья нетрадиционных коллекторов сланцевой нефти рассмотрены в работах ВНИГНИ, МГУ им. М.В. Ломоносова, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Кавказнедра и других организаций [5,6,7]. По оценкам В.И. Рыжкова, А.В. Постникова, С.Н. Вертия и др. [5] промышленная нефтегазоносность установлена в нетрадиционных коллекторах кумской и керестинской свит верхнего палеоцена, а также хадумской и баталпашинской свит олигоцена в фациях глубоководной некомпенсированной седиментации глинисто-кремнисто-карбонатных и кремнисто-карбонатно-глинистых углеродистых пород.

В Восточном Предкавказье эти фации в пределах депрессионных зон Терско-Кумской палеовпадины общей площадью около 70 тыс. км². Мощность керестинской-кумской свит нерасчлененных 10-70 м, хадумской свиты 15-80 м, баталпашинской – от 120- до 200 м. Баталпашинские и хадумские отложения часто обозначаются как хадумиты. Хадумиты в настоящее время рассматриваются как наиболее перспективный источник сланцевой нефти.

По упомянутым выше данным [5] содержание общего органического углерода (ТОС) ОВ гумусово-сапропелевого типа в горизонтах углеродистых

пород хадумской свиты меняется в пределах 1-7,5% (среднее - 2,8%), баталпашинской свиты до 5,7%, (среднее 1%), кумской свиты до 5,9% (среднее 2,1%). Значения генерационного потенциала (S_1+S_2) в хадумских отложениях варьируют в пределах 0,3-51 мг УВ/г породы, а в кумских отложениях – от 0,5 до 23, 4 мг УВ/г породы.

Глубина залегания поверхности хадумских отложений меняется от 1200 до 2900 м в границах Прикумской зоны поднятий, Ногайской ступени и Восточно-Ставропольской впадины до 4000 – 5000 м в депрессионных зонах Терско-Каспийского прогиба, чем определяются благоприятные условия для генерации нефти в пределах большей части целевой территории.

По Предкавказью (прежде всего в Ставропольском крае, а также на юге Краснодарского края) накоплен значительный опыт разведки и промышленной отработки месторождений УВ в олигоценовых отложениях. К началу 1986 г. в пределах Прикумской зоны поднятий и прогибов, Восточно-Ставропольской впадины и северо-западной части Терско-Каспийского прогиба олигоценовые отложения испытаны на 36 площадях в 151 скважине. Притоки нефти получены в 62 скважинах.

Кроме того, в гранулярных коллекторах хадумских отложений Центрального Предкавказья разведаны и уже отработаны крупные месторождения газа (Северо-Ставропольское, Тахта-Кугультинское и др.). В пределах южных бортов Западно-Кубанского и Терско-Каспийском прогибов среди хадумитов в песчаных и алевроитовых гранулярных поровых, а также в трещинно-поровых коллекторах открыты и отрабатывались в основном мелкие по запасам промышленные месторождения нефти, выявлены десятки мелких месторождений и множество нефтепроявлений.

Результаты испытаний скважин показали, что выявленные залежи нефти и все наиболее интенсивные нефтепроявления приурочены к интервалам распространения углеродистых, весьма неоднородных по строению и компонентному составу, тонкослоистых кремнисто-карбонатно-глинистых насыщенных раковинным и водорослевым детритом, нередко сидеритизированных, либо пиритных пород хадумской и подреперной части разреза баталпашинской свит при обычной мощности продуктивных зон от 8-10 до 30-40 м.

В настоящее время добыча нефти из хадумитов успешно проводится компанией НДП «Чепакское» на одноименном месторождении в Ставропольском крае с применением современных технологий горизонтального бурения и многостадийного гидроразрыва пласта.

Начальные суммарные геологические ресурсы УВ хадумитов оцениваются в регионе от 8,0 (ВНИГНИ) до 22,8 (РГУ нефти и газа) млрд. т УУВ, извлекаемые – соответственно – от 1,0 до 3,4 млрд. т УУВ. В 2016 г. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина в хадумитах выделено 73 перспективных объекта с извлекаемыми ресурсами Дл 280 млн. т нефти.

В связи с обозначенными выше значительными перспективами нефтегазоносности палеогеновых (майкопских и хадумских) отложений компаниям необходимо активизировать и увеличить объемы поисково-разведочных работ на эти комплексы: на уже имеющемся фонде скважин путем возврата с ниже- или вышезалегающих пластов, или добуривания недостающего интервала, забуривания второго или бокового ствола и испытания этих объектов.

Уточнение строения и перспектив нефтегазоносности зон нефтегазонакопления по данным 3D бассейнового моделирования

По данным 3D бассейнового моделирования, в котором учтены структурные, литолого-фациальные и геохимические 3D модели каждого НГК, определены основные этапы тектонического развития и времени формирования структурных элементов, контролирующих зоны нефтегазонакопления в условиях сложной тектоники региона; определены условия формирования нефтегазоматеринского потенциала, катагенетической преобразованности ОВ в основных нефтегазоматеринских толщах, генерации и эмиграции УВ.

Выполнено обоснование прогноза очагов генерации УВ и зон нефтегазонакопления. Прослежена эволюция катагенетической зрелости ОВ основных НГМТ (в разрезах нижнетриасовых, среднеюрских, верхнеюрских, нижнемеловых, палеоцен-эоценовых, майкопских отложений). Построены результирующие карты и глубинные сейсмогеологические разрезы, моделирующие процессы генерации и формирования УВ-скоплений и ЗНГН; построены карты перспектив нефтегазоносности и выполнена оценка ресурсного потенциала каждого НГК. Выполнен прогноз эволюции термического режима недр, как одного из основных факторов нефтегазообразования. При моделировании процессов миграции и аккумуляции УВ учитывались также характеристики геобарического поля.

На основе бассейнового моделирования уточнены перспективы, строение выявленных и обосновано выделение новых потенциальных ЗНГН (рис. 5).

По результатам количественной оценки, выполненной в рамках настоящих работ, суммарные извлекаемые ресурсы УВ категорий D_0+D составили 1376 млн. т.у.т., что на 578 млн. т.у.т, или на 72.4% больше последней официальной оценки ресурсов. Основной прирост связан с принципиальной переоценкой ресурсов УВ триасового, верхнеюрского и майкопского НГК.

Приоритетные направления и рекомендации по проведению дальнейших первоочередных ГРП в Северо-Кавказском ФО

Исходя из того, что основные перспективы нефтегазоносности осадочного чехла и выявление крупных залежей УВ на рассматриваемой территории связаны с наименее изученными глубокопогруженными комплексами юрских отложений. С целью более достоверного картирования не вскрытых бурением верхнеюрских подсолевых карбонатных массивов и выявления крупных залежей УВ в центральной части Терско-Каспийского прогиба, в первую очередь, в районе выделенного карбонатного массива между месторождениями Заманкул и Карабулак-Ачалук, рекомендуется проведение по линиям новых профилей комплексных зонально-региональных геофизических исследований в составе:

- сейсмозаведка МОГТ-2D (в объеме не менее 300 пог. км);
- сейсмозаведка МОГТ-2D-WL (в объеме 200 пог. км); как показали предыдущие исследования подсолевые отложения недостаточно уверенно картируются сейсмозаведкой МОГТ-2D, поэтому нужны опытно-методические работы МОГТ-2D-WL;
- электроразведка МТЗ (в объеме 400 пог. км);

Заключение

Таким образом, на основе проведенных госбюджетных региональных ГРР создана региональная сеть взаимно-увязанных опорных геолого-геофизических профилей и обновленная геолого-геофизическая информационная база регионального прогноза нефтегазоносности. Полученные результаты на основе новых данных сейсморазведки, бурения и 3D бассейнового моделирования позволили уточнить: схемы тектонического и нефтегазогеологического районирования; строение и перспективы нефтегазоносности выявленных и перспективных зон нефтегазонакопления (ЗНГН) и отдельных локальных объектов, в первую очередь в верхнеюрских подсолевых отложениях, а также в клиноформенных комплексах клиноформ майкопской серии (олигоцен-нижний миоцен) и средне- верхнемиоценовых толщ; определить основные этапы тектонического развития и время формирования структурных элементов, контролирующих ЗНГН; разработать региональный комплекс ГИС и методики определения литологического состава, содержания ОВ и фильтрационно-емкостных свойств пород по данным ГИС и керна, слагающих малоизученные ранее на современном уровне нефтегазоносные комплексы; определить приоритетные направления и дать рекомендации по первоочередным ГРР в Северо-Кавказском ФО.

Литература

1. Керимов И.А. Прогнозирование структурных особенностей глубокопогруженных горизонтов Терско-Каспийского прогиба по данным гравиразведки и сейсморазведки // Известия ВУЗов. Нефть и газ. 1990. № 11. С. 24-30.
2. Керимов И.А. Применение гравиразведки и сейсморазведки для поисков рифовых ловушек нефти и газа в юрских отложениях Терско-Каспийского прогиба // Труды Грозненского государственного нефтяного института им. акад. М.Д. Миллионщикова. Вып. 2. Грозный. ГГНИ, 2002. С. 51-67.
3. Козуб А.П., Немцов И.Н., Немцов Н.И. Перспективы нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов Терско-Каспийского прогиба // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том IX. М.: ИИЕТ РАН, 2019. С. 258-266.
4. Немцов Н.И., Гумаров Р.К., Капалин, Р.М. Алиев. Новые объекты поисков УВ на российском шельфе Каспия (Республика Дагестан) // Геология нефти и газа. 2011. № 2. С. 56-63.
5. Рыжков В.И., Постников А.В., Вертий С.Н. и др. Сланцевая нефть Центрального и Восточного Предкавказья: перспективы и риски // Геофизика. 2022. №1. С. 4-15.
6. Фортунатова Н.К., Березий А.Е., Зорин А.Б., Фадеева Ю.Б. Критерии прогноза нефтегазоносности хадумских отложений Восточного Предкавказья // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том IX. М.: ИИЕТ РАН, 2019. С. 337-350.
7. Яндарбиев Н.Ш., Керимов И.А. Хадумская свита – потенциальный резерв восполнения углеводородной базы на юге России // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том IX. М.: ИИЕТ РАН, 2019. С. 351-372.

МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗАПАСОВ ФЛИШОИДНОГО ГАЗА ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА

© А.С. Новикова, О.В. Еременко

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва

Аннотация. Разработка запасов природного газа в Оренбуржье началась более 50 лет назад, и сегодня ресурсная база практически исчерпана, при том, что в регионе сформирован крупнейший газоперерабатывающий комплекс, загрузка которого находится на критически низком уровне. Все это требует переориентации ГРП на поиск новых месторождений, а также работу с нетрадиционными запасами углеводородов. К таковым относятся флишюиды Предуральского краевого прогиба, освоение которых позволит обеспечить загрузку газоперерабатывающих заводов, а также добывающей и транспортной инфраструктуры недропользователей. В этой связи в статье представлены методы проведения геофизических исследований по доизучению перспективности объектов участков.

Ключевые слова: участок недр, флишюидный газ, геолого-геофизическая изученность, опробование, геолого-экономическая эффективность, ресурсы.

Газовый комплекс Оренбургской области представлен 46 газонефтяными, 2 нефтегазовыми, 8 газовыми, 7 газоконденсатными и 18 нефтегазоконденсатными месторождениями с начальными суммарными ресурсами 2,3 млрд. т нефти и более 3,3 трлн. м³ свободного газа, из которых к категории АВ₁С₁ относят 688,8 млрд. м³ газа, В₂С₂ – 63,9 млрд. м³, АВ₁С₁С₂ – 739,9 млрд. м³, перспективным (Д₀) – 409,2 и к прогнозным (Д₁₊₂) – 741,5 млрд. м³ [1]. Самым крупным в области по уровню разрабатываемых запасов газа (92,8% от всех запасов в регионе) является Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ), открытое в 1966 г. и обеспечившее в 2022 г. около 17% ВРП, свыше 10 тыс. рабочих мест в основном производстве [5].

Текущее состояние ресурсной базы газового комплекса области формировалось в результате планомерной промышленной разработки ОНГКМ, начиная с 1974 г. (степень выработанности запасов которого на сегодня превышает 76%) и постоянного проведения комплекса ГРП, сместивших акцент с 1993 г. от доразведки действующих месторождений на поиск и оценку новых [6].

Главным оператором в газовом комплексе Оренбуржья считают ДО ПАО «Газпром» – ООО «Газпром добыча Оренбург», являющегося пользователем четырех лицензионных участков (табл.1) [1], три из которых предоставлены ему с целью геологического изучения, разведки и добычи УВС, а последний – Ирекский – для поиска и оценки, подготовки к поисковому бурению перспективных объектов в карбонатах башкирского яруса и нижнепермских флишюидах [11]. ОНГКМ представляет собою сложно построенный объект с диапазоном нефтегазоносности от отложений среднего карбона до кунгурского яруса нижней перми: известняковыми и доломитными коллекторами с мощной покрывкой толщи кунгура, представленной в основном солью с подчиненным значением сульфатных отложений [7].

Общие текущие геологические запасы в пределах лицензионных участков ООО «Газпром добыча Оренбург» по категории А+В₁+С₁ составляют: газ свободный и газ газовых шапок – 575,51 млрд. м³; конденсат – 86,97 млн. т; нефть – 189,99 млн. т; растворенный газ – 31,51 млрд. м³. При этом разработка запасов Оренбургского ЛУ месторождения находится на поздней стадии, в связи с чем все усилия сосредоточены на мероприятиях, позволяющих снизить темпы падения добычи и поддержать ее до 2035г. на уровне 10 млрд. м³ [9].

Таблица 1
Извлекаемые запасы и ресурсы углеводородного сырья лицензионных участков (ЛУ) ключевого оператора оренбургского газового узла

ЛУ	А+В ₁ +С ₁			В ₂ +С ₂			D ₀		
	Газ, млрд. м3	Нефть, млн. т.	Конденсат, млн. т.	Газ, млрд. м3	Нефть, млн. т.	Конденсат, млн. т.	Газ, млрд. м3	Нефть, млн. т.	Конденсат, млн. т.
Оренбургский-2	384,1	61,6	12,7	16,8	40,5	0,6	-	-	-
Акобинский	13,7	-	0,8	-	-	-	-	-	-
Нагумановский	5,6	1,4	1,6	-	0,7	-	41,2	21,1	6,9
Ирекский	-	-	-	-	-	-	792,7	-	32,2
Всего	403,3	63,0	15,1	16,8	41,3	0,6	833,9	21,1	39,1
	481,4 мл. т.у.т.			58,6 млн. т.у.т.			894,1 млн. т.у.т.		

После этого (рис. 1) прогнозируется резкое падение добычи (до 5 млрд. м³) ниже текущего внутреннего потребления (≈8,5 млрд. м³), обуславливающее переход области из состояния поставщика УВС (нетто-экспортера) в покупателя (нетто-импортера) с точки зрения регионального платежного баланса [10].

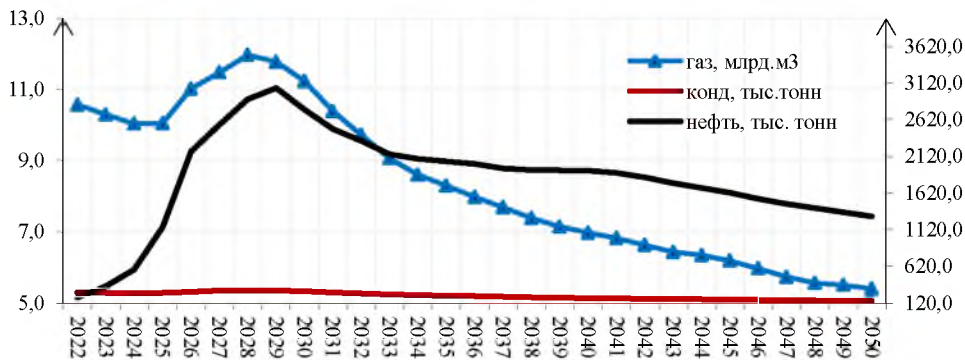


Рис.1. Прогноз изменения добычи УВС до 2050 г.

Переломить прогнозируемый тренд развития газового комплекса Оренбуржья может реализация следующих направлений:

1. Новые направления работ на нефть и газ:

-по изучению перспектив газоносности терригенно-карбонатных отложений нижнего девона юга Оренбургской области, суммарные ресурсы которых по данным геолого-геофизических исследований превышают 380 млн. т.у.т. по категориям D₀ и D₁ [6];

-завершению оценки объектов Ордовикской структуры, по которым в 2019г. была проведена сейсморазведка МОГТ, подтвердившая наличие ресурсов категории D₁ в объеме, превышающем 1400 млн. т. у. т;

-изучению перспектив нефтегазоносности отложений нижне-среднекаменноугольного возраста востока Оренбургской области, в которых предполагается наличие лито-фациальных условий (коллекторы и покрышки) для формирования залежей углеводородов работы по оценке перспектив нефтегазоносности региона.

2. Разработка новых технологий освоения нетрадиционных резервуаров нефти и газа:

-флишоидов нижней перми Предуральяского прогиба - толщи карбонатно-терригенных отложений верхнедевонско-нижнепермского возраста мощностью до 7,5 км., накопление которой происходило, в основном, в мелководных морских условиях в процессе формирования Уральского орогена. Эту толщу называют нейтральным термином «флишоиды» [3]. Ресурсы категории D₂ и приведенные запасы газа флишоидов составляют, соответственно 43,7/5,2 трлн. м³, что в сравнении с остаточными ресурсами газа четырёх самых больших газоносных сланцевых полей США (Marcellus – 41,8 трлн. м³, Haynesville-Bossier – 24,7 трлн. м³, Eagle Ford – 13,5 трлн. м³, Barnett – 9,3 трлн. м³) являются существенными:

-карбонатно-терригенных отложений девонско-нижнепермского возраста передовых складок Урала, которые изучены геологической съемкой и региональной сейсморазведкой МОГТ, в результате чего выявлено пять локальных нефтегазоперспективных объектов, представленных антиклинальными складками (Южно-Курмаинская, Актакальская, Новоуральская, Бурангуловская и Куруильско-Алимбетовская) с ресурсами категория D₁ на уровне 5,9 трлн. м³:

-доманикоидов франско-турнейского возраста – типичной нефтематеринской толщи с диапазоном концентрации органического вещества – 0,1-30,0 %. Толщу следует рассматривать как единую неструктурную залежь углеводородов, сосредоточенных, главным образом, в карбонатных коллекторах с низкой пористостью и проницаемостью, для которой пока не существует коммерческих технологий разработки.

Наиболее коммерчески привлекательным выглядит направление доизучения флишоидов, участок недр которых к настоящему времени охвачен структурно-геологическими съемками, гравиметрическими исследованиями, магниторазведкой, электроразведкой, а также сейсморазведкой КМПВ, МРНП, МОГТ. Работы здесь ведутся давно и датируются первой половиной 30-х годов XX столетия, когда была организована геологическая съемка Урала, по результатам которой была составлена геологическая карта масштаба 1:200 000.

Все проведенные работы, результаты гравиметрических исследований по региональным профилям в комплексе с сейсморазведочными работами МОГТ ШП, позволили детализировать строение соляных куполов, гряд и тем самым существенно повысили точность и достоверность структурных построений по подсолевым горизонтам. По результатам комплексной интерпретации

построены структурные карты по 13-ти маркирующим границам перми, карбона, девона, ордовика и кристаллического фундамента, карты изохрон, интервальных времен, изопахит: даны рекомендации на глубокое бурение двух скважин. В настоящее время необходимы поисково-оценочные работы на карбонатные отложения среднекаменноугольного возраста на структуре, а также доизучение перспективных флишвидов нижней перми.

Эти работы позволят установить факт наличия промышленных запасов углеводородов на участке недр; установить фазовое состояние углеводородов и дать характеристику пластовых углеводородных систем; уточнить физико-химические свойства углеводородов в пластовых и поверхностных условиях, определить их товарные качества; определить эффективные толщины, значения пористости, нефтенасыщенности; ФЕС коллекторов и произвести подсчет запасов углеводородов по категориям C_1 и C_2 .

В процессе бурения, с учетом данных керна и ГИС, с целью предварительной оценки нефтегазоносности башкирских отложений на Ирекской структуре предусматривается их опробование испытателем пластов на бурительных трубах. В интервалах газопроявлений возможны испытания в открытом стволе. Перед опробованием в открытом стволе испытателем пластов на трубах предусматривается проведение комплекса ГИС для предварительной характеристики пласта, оценки состояния ствола скважины и уточнения интервала испытания. Наряду с опробованием продуктивных горизонтов предусматривается испытание продуктивных горизонтов в эксплуатационной колонне. Для вскрытия продуктивных пластов структуры рекомендуется использование буровых растворов на водной основе (глинистых растворов). Учитывая, что продуктивный пласт по разрезу и в пределах радиуса контура питания скважины представлен преимущественно поровым или порово-трещинным типом коллектора с невысокой пористостью и проницаемостью, эксплуатационную колонну скважины рекомендуется спустить до забоя, зацементировать её до устья, а при испытании для установления газогидродинамической связи пласта со скважиной провести перфорацию.

По окончании перфорации в скважину спускается буровой инструмент, забой и ствол скважины промывается от продуктов перфорации рассолом с плотностью, соответствующей плотности бурового раствора. Приток пластового флюида вызывается путем создания регламентируемых депрессий за счет снижения плотности технологических жидкостей последовательным переводом скважины на водный раствор ПАВ, снижения уровня жидкости в скважине закачкой азота. Для обработки вскрытого продуктивного интервала предусматривается использование мицеллярного раствора объемом 0,7-1,0 м³ на один метр перфорированного интервала, но не более 50 м³ [2]. В случае отсутствия притока следует произвести снижение уровня жидкости закачкой азота в затрубное пространство.

В процессе бурения при проведении геолого-технологических исследований следует вести постоянный контроль шлама и промывочной жидкости с отбором проб, которые подвергаются анализу на содержание тяжелых и легких углеводородов. Образцы керна из перспективных продуктивных горизонтов нужно отбирать на определение физико-коллекторских свойств через 0,5 м поднятого керна, а в случаях видимого нефтегазонасыщения – через 0,2-0,3 м [8]. Кроме этого, нужны глубинные пробы нефти, газа и воды. для проведения анализов в лаборатории научно-

исследовательских организаций. Весь перечень запланированных работ представлен в таблице 2.

Таблица 2

Необходимый перечень работ по доизучению (оценке) запасов флюидного газа

Наименование вида работ	Единица измерения	Объем работ
Строительство 3-х поисково-оценочных скважин:	шт./м	3/18180
Отбор керн для скважины	м	860
Отбор шлама для скважины:	интервал	через 5 м проходки, через 2 м в интервалах нефтегазоперспективных горизонтов
Испытания объектов в процессе бурения (ИПТ)	объект	4
Испытание объектов в эксплуатационной колонне	объект	4
Отбор проб керн на исследования	образец	1720
Отбор проб флюидов для скважины № 1, - газа и конденсата, воды:	проба	12 4
Мероприятия по охране окружающей среды	комплекс	1
Ликвидация/консервация скважин		3
Составление отчета о бурении поисково-оценочной скважины	шт.	3
Составление отчета по подсчету запасов УВ и постановка их на Государственный баланс	шт.	1

По результатам ГРП на изучаемом участке недр планируется открыть и разведать два месторождения углеводородного сырья – Ирекское в башкирских отложениях среднего карбона, Восточно-Ирекское – в нижнепермских флюидных отложениях, а также оценить их геологические запасы по категории C_1+C_2 .

Литература

1. Еременко О.В. Приоритеты инновационного развития и особенности оценки эффективности проектов в газоперерабатывающих и газохимических производствах. Уч. пособие. М.: Берлин: Директ-Медиа, 2017. 171 с.
2. Жданов М.А. Нефтегазопромысловая геология и подсчет запасов нефти и газа. М.: Недра. 1981. 412 с.
3. Мартынов В.Г., Мурадов А.В. Формирование инновационной экономики России: монография. М.: Недра, 2011. 547 с.
4. Новикова А.С., Еременко О.В. Инновационные технологии решения экологических проблем оренбургского нефтегазохимического комплекса // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. XVIII Всеросс. научно-практ. конференции / Отв. редактор Т.Н. Ледащцева. Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2017. С. 342-347.

5. *Новикова А.С., Еременко О.В.* Приоритетные инструменты интеллектуализации геологии // Новые идеи в геологии нефти и газа: Сб. науч. трудов / Отв. ред. А.В. Ступакова. Москва: Издательство «Перо», 2019. С. 348–350.
6. *Шпаков В.А., Еременко О.В., Волянская Е.В. и др.* Приоритеты стратегии развития ресурсного потенциала нефтегазового комплекса Оренбургской области // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2021. № 1-6 (175). С. 14-19.
7. *Alvarez H., Coates R.* Technologies for cyclic solvent injection for heavy oil recovery / Russian oil and gas technologies. 2020. No. 17. P. 82-872016.
8. *Dengaev A., Verbitsky V. [et al.]* Water-in-Oil Emulsions Separation Using a Controlled Multi-Frequency Acoustic Field at an Operating Facility // Energies. 2022. Vol. 15. No 17. P. 6369. DOI 10.3390/en15176369.
9. *Novikova, A.S., Eremenko, O.V.* Intellectualization tools that increase the efficiency of oil and gas condensate field development // Youth Technical Sessions Proceedings-Proceedings of the 6th Youth Forum of the World Petroleum Council - Future Leaders Forum, 2019: 6th, St. Petersburg–St. Petersburg, 2019. P. 190-197. DOI 10.1201/9780429327070-26.
10. *Novikova A.S., Gancharov S.A.* Scientific-technical developments that ensure the growth of the resource potential of the regional oil and gas complex // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. P. 012035. DOI 10.1088/1757-899X/1019/1/012035.
11. *Novikova A.S., O.V Eremenko., T.A. Kuryakova, I.N. Vashuk.* Priority eco-innovations of Russian oil and gas companies // 20th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2020, Sofia: СТЕФ92 Техноложии, 2020. P. 623-630. DOI 10.5593/sgem2020/5.1/s20.078.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

© С.Г. Парада
ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону

Аннотация. В Восточном Донбассе в сравнении с относительно хорошо изученным Западным Донбассом широко распространены интрузивные породы, с которыми могут быть генетически связаны известные рудопроявления золота и цветных металлов. Выявление такой связи может быть осуществлено на основе изучения закономерностей их пространственного размещения и локализации. Цель исследования. Выявить особенности размещения и локализации интрузивных пород и рудопроявлений в пределах Восточного Донбасса. Методы исследования. Металлогенический анализ на основе геологических и геофизических данных. Результаты исследования. По отношению к выявленным ранее изометричным аномалиям магнитного поля скопления интрузивных тел и рудопроявлений разделены на два типа. К первому типу отнесены интрузии несветаевского комплекса и связанные с ними рудопроявления золота и цветных металлов. Все они локализованы в контурах интенсивных магнитных аномалий, интерпретируемых как центры интрузивного магматизма несветаевского комплекса. Ко второму типу следует отнести ареалы рассредоточенных даек миусско-керчикского комплекса и связанных с ними рудопроявлений цветных металлов, которые не обнаруживают связи с изометрическими аномалиями магнитного поля, что может быть связано с глубинным (мантийным) расположением очагов лампрофирового магматизма. Поскольку с обоими типами скоплений магматических пород пространственно связаны проявления рудных минерализаций гидротермального происхождения, то это дает основание для выделения рудно-магматических систем двух типов – связанных с несветаевским интрузивным комплексом и связанных с миусско-керчикским лампрофировым комплексом.

Ключевые слова: Магматизм, рудопроявления, золото, цветные металлы, интрузивные породы, лампрофиры, магнитные аномалии, рудно-магматические системы.

В Восточном Донбассе в сравнении с относительно хорошо изученным Западным Донбассом широко проявлена магматическая деятельность. В структурном плане магматические образования приурочены к зонам влияния крупных тектонических нарушений глубинного заложения, таких как Персиановский и Сулино-Константиновский разломы. Все магматические тела приурочены к палеозойскому структурному этажу, прорывая, либо залегая субсогласно в виде малых гипабиссальных тел и даек. Магматиты разделены на два разновозрастных комплекса: несветаевский трахиандезит-андезитовый и миусско-керчикский лампрофировый.

Несветаевский комплекс трахиандезит-андезитовый. Впервые выделен в качестве самостоятельного комплекса с таким названием А.В.Зайцевым в 1999г. при составлении легенды Донецкой серии листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1:200000 [3]. Назван по р. Несветай в Ростовской области. Морфология интрузивных тел достаточно проста – это штоки, силы и дайки. Силы и дайки, как правило, ориентированы параллельно общему простиранию вмещающей толщи (на запад-северо-запад), но имеют более крутое падение (60-85°). Мощность даек и силлов достигает 75 м, а возможно и более. Протяженность (с учетом геофизических данных) – до 2-3 км.

Интрузивные тела прорывают отложения верхнего карбона. Имеются определения абсолютного возраста андезитов из скважин Керчикского рудопрооявления 165-188 млн. лет, выполненные К-Аг методом в ИГФМ АН УССР.

Петрографический состав интрузивов однообразен: в подавляющем большинстве случаев – это дациты, редко переходящие в андезидациты и риодациты. Иногда отмечаются андезиты, андезибазальты и трахибазальты. В изменении состава наблюдается четкая тенденция: если на востоке, в бассейне р. Несветай, установлены только кислые породы, то к западу, в верховьях р. Тузлов, среди редких представителей комплекса отмечаются только средние и основные разности.

Выходы магматических пород несветаевского комплекса тяготеют в основном к зоне Персиановского разлома и локализуются в его северном приподнятом крыле, в присводовой части Южной антиклинали, где они, в соответствии с рис. 1, характеризуются узловым распределением.

Максимальные количества интрузий несветаевского комплекса и наибольшие их размеры отмечается в юго-восточной части исследуемой территории. В северо-западном направлении количество и размеры интрузий уменьшаются. В единичных случаях дайки этого комплекса отмечается в зоне Сулино-Константиновского разлом, вытянутого в запад-северо-западном направлении вдоль оси Главной антиклинали, где они имеют такое же северо-западное простирание.

С интрузивными породами несветаевского комплекса связаны различного типа метасоматиты, гидротермалиты и золотоносные минерализации Керчикского и Чернореченского рудопрооявлений. Каменноугольные терригенные отложения в поле развития интрузивных тел интенсивно изменены и превращены в биотитовые роговики и кварцево-серицит-хлоритовые метасоматиты, известняки подвержены скарнированию, в пластах углей развиваются массивные пирит-пирротиновые образования с амфиболом и пироксеном. Сами андезиты и трахиандезиты в эндоконтактных зонах также подвержены окварцеванию, серитизации и каолинизации. Абсолютный возраст серицит-кварцевых метасоматитов из скважин Керчикского рудопрооявления, определенный К-Аг методом в ИГФМ АН УССР составляет 165-180 млн. лет., что совпадает с возрастом андезитов [3]. Мощность ореолов метасоматических изменений пород в экзоконтактах интрузивных тел зависит от их размеров и крутизны контактов и достигает первых сотен метров.

Миусско-керчикский лампрофировый комплекс был выделен Н.В. Бутурлиновым в 1978г. [5]. К нему отнесены тела, сложенные лампрофитами среднего, основного и ультраосновного состава. Область их распространения значительно шире, чем интрузивных пород несветаевского комплекса (рис. 1). Интрузии миусско-керчикского комплекса обычно отмечаются в виде круто залегающих даек преимущественно северо-восточного простирания. Мощность их достигает 5-7 м, протяженность до 1 км. Возраст всех этих интрузивных образований считается средне-позднеюрским [4]. Позднеюрский возраст лампрофитов определяется секущим их положением по отношению к магматитам несветаевского комплекса, а также данными определения абсолютного возраста К-Аг методом в лаборатории ИГЕМ РАН 162-166 млн. [1].

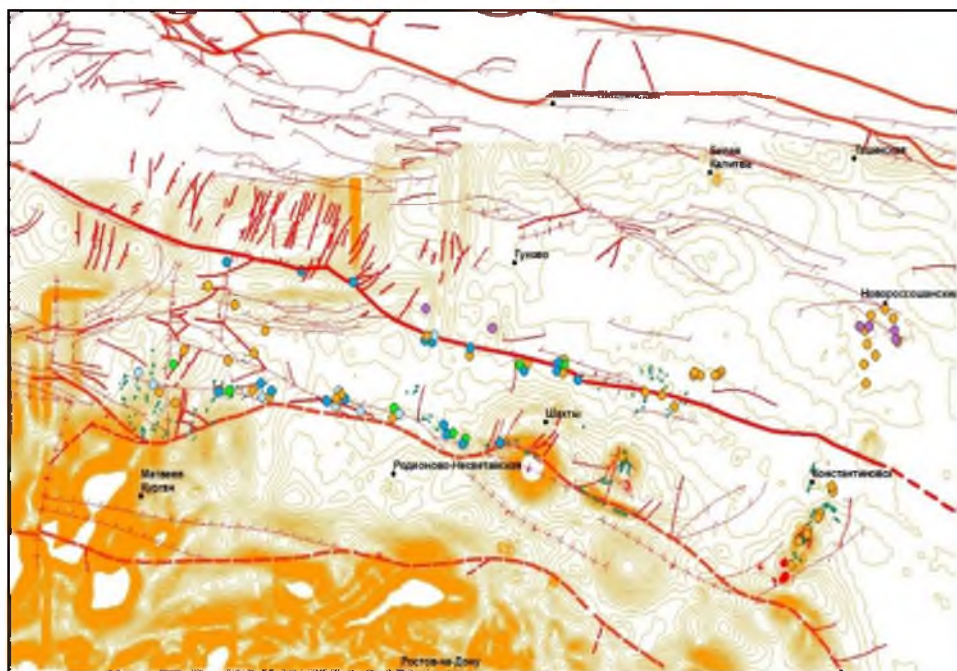


Рис. 1. Приуроченность рудопоявлений цветных металлов и золота к ареалам проявления интрузивных пород несветаевского комплекса (красные пятна и штрихи) и миусско-керчикского комплекса (зеленые штрихи относительно неоднородностей магнитного поля (коричневые изолинии). Цветные кружки – рудопоявления золота (оранжевый); свинца и цинка (синий и голубой); меди (зеленый); железа (фиолетовый)

Сближенные дайки объединяются в дайковые поля, преимущественно вытянутой формы, протягивающийся цепочкой в запад-северо-западном направлении вдоль Персияновского и Сулино-Константиновского разломов и поперечно относительно Донбасских структур в северо-восточном направлении. В последнем случае они контролируются системами коротких крутопадающих поперечных малоамплитудных разрывов. Вместе с тем, по отношению к разрывным нарушениям дайки ведут себя независимо, лишь изредка «залечивая» тектонические швы, амплитуды смещения по ним невелики.

Наибольшее количество лампрофировых даек отмечается в западной части исследуемой территории Восточного Донбасса. Эти дайки образуют обширные ареалы. Также эти дайки отмечаются в пределах узлов локализации интрузий несветаевского комплекса, где они, являясь более поздними, пересекают последние. Количество и размеры ареалов даек миусско-керчикского комплекса увеличивается с юго-востока на северо-запад. То есть, в этом отношении их распределение имеет прямо противоположную тенденцию, чем распределение интрузий несветаевского комплекса.

В петрографическом составе даек преобладают мончикиты и камптониты, реже отмечаются спессартиты и керсантиты. Лампрофиры несут следы сильных аутометасоматических изменений, проявленных в хлоритизации и карбонатизации породообразующих минералов.

Участки распространения интрузий миусско-керчикского лампрофирового комплекса иногда (в районах наиболее изученных Керчикского и Чернореченского рудопоявлений) пространственно совпадают с участками распространения несветаевского комплекса. Вместе с тем считается, что

миусско-керчикский интрузивный комплекс является пострудным по отношению к золотому оруденению [1].

Рассмотрение магматических проявлений в масштабе Донецкого бассейна показывает, что они приурочены в основном к узлам сгущения малоамплитудных разрывов в слабо выраженных структурах, напоминающих зарождающиеся поперечные поднятия. Более выражена тенденция преимущественной локализации большинства проявлений интрузивного магматизма к южной части Донбасса, где они приурочены к северному крылу Персияновского разлома.

В этой части Восточного Донбасса в результате интерпретации элементов локальных полей выделены изометричные объекты, образующие положительные магнитные аномалии разного размера и различной интенсивности (рис. 1).

Магнитные аномалии, расположенные южнее Персияновского разлома в западной части изучаемого района могут быть обусловлены геологическими структурами Ростовского выступа Украинского кристаллического щита (РВ УКЩ). Проведенные нами процедуры дальнейших преобразований магнитного поля позволили частично погасить влияние структур РВ УКЩ на структуру магнитного поля Донбасса. Другие магнитные аномалии, расположенные южнее Персияновского разлома в центральной и восточной частях изучаемого района, могут быть связаны с очагами магматизма несветаевского комплекса. Однако территория их проявления скрыта под мощных чехлом мезозойско-кайнозойских отложений и недоступна для изучения.

Согласно рис. 1 скопления штоков, даек и силлов магматических пород основного, среднего и умеренно-кислого состава, относящихся к несветаевскому комплексу приурочены к изометричным аномалиям магнитного поля, расположенным в северном крыле Персияновского разлома. Значительно реже в контурах этих аномалий отмечаются дайки миусско-керчикского комплекса. Большинство выявленных ареалов, образуемых дайками миусско-керчикского комплекса, не обнаруживают связи с аномалиями магнитного поля. Вместе с тем дайки миусско-керчикского комплекса обладают повышенными магнитными свойствами и, в связи с этим, каждая из них может отражаться в локальных аномалиях магнитного поля, выявляемых при крупномасштабной магнитной съемке (рис. 2).

Рудопроявления цветных металлов и золота, согласно рис. 1, пространственно приурочены и к ареалам малых интрузий несветаевского комплекса и к ареалам лампрофировых даек миусско-керчикского комплекса, что, безусловно указывает на тесную связь магматизма и оруденения в Восточном Донбассе [10].

Отчетливых гравитационных аномалий магматические тела как несветаевского, так и миусско-керчикского комплексов не образуют. Из этого следует, что сами тела не обладают плотностями, превышающими $2,7 \text{ г/см}^3$ (плотность пород герцинского этажа), а скорее всего, характеризуются средними плотностями несколько ниже этого значения, и, кроме того, непосредственно под ними не залегают более плотные массивы основного состава. Вместе с тем, они часто локализованы на участках пониженного остаточного гравитационного поля.

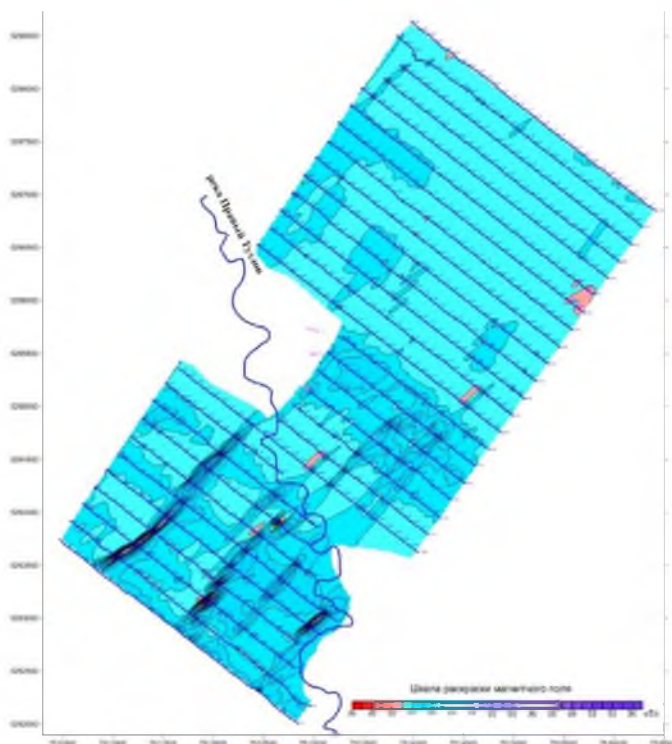


Рис. 2. Отображение лампрофировых даек миусско-керчикского комплекса в локальных аномалиях магнитного поля (по результатам крупномасштабной магнитной съемки)

С помощью дальнейших преобразований гравитационного поля удалось получить в отдельных случаях пространственное совпадение ареалов магматизма и локальных положительных гравитационных аномалий. Однако такое совпадение не является повсеместным и универсальным. В основном же, в гравитационном поле хорошо отображаются линейные антиклинали, оси которых в общих чертах пространственно совпадают с цепочками положительных гравитационных аномалий (рис. 3).

Из разломов только Персияновский находит отображение в гравитационном поле. В северном крыле разлома непрерывно прослеживается цепочка положительных аномалий поля, связанных с осью частично сохранившейся Южной линейной антиклинали Донбасса. В южном крыле разлома прослеживается цепочка отрицательных аномалий гравитационного поля, связанных серией манычских грабенов.

Таким образом, сместитель Персияновского разлома располагается в локальной области высокоградиентного перехода положительного гравитационного поля к отрицательному. При этом, изменение в плане положения линии сместителя Персияновского разлома сопровождается подобным изменением положения линейной зоны высокоградиентного гравитационного поля. Это подтверждает глубинный характер Персияновского разлома и крутое залегание плоскости сместителя.

Некоторое количество даек и силлов магматических пород несветаевского комплекса пространственно приуроченны непосредственно к зоне сместителя Персияновского разлома и характеризуются близвертикальным

залеганием, что еще раз подтверждает крутое положение самого разлома. Отдельная группа штоков, даек и силлов магматических пород несветаевского комплекса установлены в зоне предполагаемого секущего Кондаковского разлома, имеющего северо-восточное простирание. Однако, даже будучи пространственно приуроченными к зонам разломов предполагаемого северо-восточного простирания сами дайки и силы, тем не менее, характеризуются северо-западным простиранием, что является еще одним поводом сомневаться в существовании поперечного Кондаковского разлома.

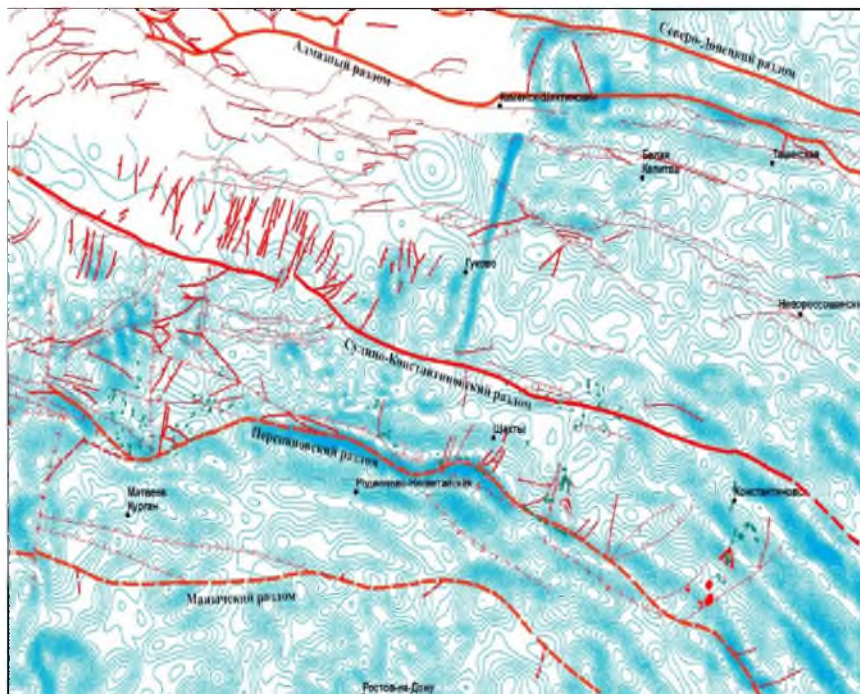


Рис. 3. Приуроченность ареалов магматизма к локальным градиентам аномального гравитационного поля. Красные штрихи и пятна – малые интрузии несветаевского комплекса, зеленые штрихи – дайки миусско-керчикского комплекса

Таким образом, геофизические данные подтверждают наличие в пределах Донецкого складчатого сооружения штокообразных, дайкообразных и силлообразных интрузивных тел основного, среднего и умеренно-кислого состава, локализованных внутри герцинского структурного этажа и отнесенных к ранне-среднеюрскому несветаевскому и средне-позднеюрскому миусско-керчикскому интрузивным комплексам. Наибольшее их количество отмечается в южной части Донбасса, где они приурочены к наиболее крупному и протяженному Персияновскому разлому и, в меньшей степени, к Сулино-Константиновскому разлому.

По отношению к изометричным аномалиям магнитного поля скопления интрузивных тел можно разделить на два типа. К первому типу нами отнесены скопления магматических пород несветаевского комплекса, которые концентрируются в контурах интенсивных магнитных аномалий, которые отражают глубинные аномалиеобразующие объекты. Исходя из опыта выделения Тырныаузской и других РМС на Юге России [6, 8, 11] такие объекты, образующие магнитные аномалии мы интерпретируем как центры интрузивного

магматизма несветаевского комплекса. Минимальная глубина от поверхности таких центров определяется по геофизическим данным, в соответствии с которыми верхняя кромка аномалиеобразующих тел, располагается на глубинах не менее 5 км. Максимальная глубина – определяется положением поверхности Кюри, ниже которой физические тела утрачивают магнитные свойства и, соответственно не отображаются в магнитном поле. Глубину такой поверхности определяем, исходя из значения геотермического градиента, установленного для Восточного Донбасса 23°C и температуре точки Кюри для магнетита 580°C . В результате получаем положение поверхности Кюри примерно 25 км. Результаты расчета совпадают с полученными ранее данными о распределении температур в коре и верхних горизонтах мантии Донбасса вдоль профиля ГСЗ-ХІ [2] (рис. 4), согласно которым глубина 25 км является верхней кромкой вторичного внутрикорового магматического очага.

Ко второму типу следует отнести ареалы рассредоточенных даек миусско-керчикского комплекса, не обнаруживающие связи с изометрическими аномалиями магнитного поля, то есть, не обнаруживающие связи с определенными центрами магматизма. Учитывая высокую магнитную восприимчивость лампрофиров, полагаем, что отсутствие приуроченности ареалов лампрофировых даек к магнитным аномалиям может быть связано с расположением центров лампрофирового магматизма ниже поверхности Кюри. Очаги лампрофировой магмы располагаются в мантии на глубине более 50 км и не создают промежуточных очагов в земной коре (рис. 4).

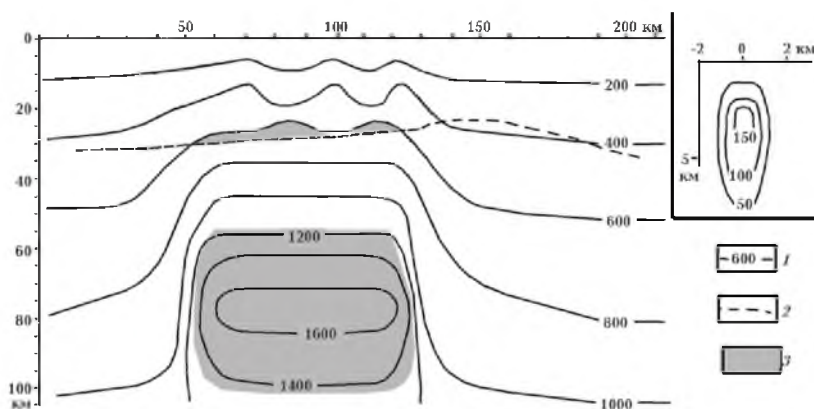


Рис. 4. Распределение температур в коре и верхних горизонтах мантии Донбасса вдоль профиля ГСЗ ХІ с юго-запада на северо-восток. На врезке – аномальные температуры, дополняющие модель, связанные с одним из вариантов конвекцией в проницаемой зоне Персияновского разлома: 1 – изотермы, $^{\circ}\text{C}$, 2 – скоростная граница 6,8 км/с по данным с профилей ГСЗ-ХІ и D, 3 – зоны частичного плавления. По [2]

С обоими типами скоплений магматических пород пространственно связаны рудопроявления и пункты минерализаций золота и цветных металлов гидротермального происхождения [9]. Следовательно, оба типа магматизма создают условия для формирования гидротермальных рудных минерализаций, то есть, представляют рудно-магматические системы (РМС).

Таким образом, в соответствии с установленными особенностями проявления интрузивного магматизма нами предлагается разделить выявленные рудно-магматические системы Восточного Донбасса на два типа: 1) РМС центрального типа, связанные с определенными по геофизическим данным

центрами магматизма несветаевского комплекса, и 2) РМС ареального типа, связанные с рассредоточенными скоплениями даек лампрофиров, не обнаруживающих связи с определенными центрами магматизма.

Литература

1. Бутурлинов Н.В. Эволюция магматизма, минеральных ассоциаций и эндогенного рудообразования в Донецком бассейне // Минералогия рудных месторождений Украины. К.: Наукова думка, 1984. С. 36–44.
2. Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В. Тепловое поле Донбасса // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. № 6. С. 3–23.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Изд. 2-е. Серия Донецкая. Лист L-37-V (г. Шахты) / Объяснительная записка. СПб., изд-во ВСЕГЕИ: 2000. 183 с.
4. Зеленищikov Г.В., Курбанов Н.К., Кучеровский П.Г., Радаева Т.П. Перспективы золотоносности Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена // Руды и металлы. 2001. № 2. С. 26–35.
5. Кимберлитовые породы Приазовья. М.: Наука. 1978. 320 с.
6. Матишов Г.Г., Давыденко Д.Б., Парада С.Г. Выбор рудоперспективных площадей по результатам дистанционной флюидоиндексации как фактор рационального недропользования в условиях горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2010. Т. 2. №3. С. 57–62.
7. Невалённый Ю.В. Ресурсы металлических полезных ископаемых // В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2005. С. 71–84.
8. Парада С.Г. Оценка потенциальной золотоносности Тырныаузского рудного узла на основе дистанционных геофизических данных (Северный Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12. № 1. С. 109–118. DOI: 10.46698/VNC.2022.39.85.008.
9. Парада С.Г. Перспективные геолого-промышленные типы рудопроявлений золота в Ростовской области // Вестник Южного научного центра РАН. 2014. Т. 10. №4. С. 53–60.
10. Парада С.Г., Гамбург К.Ю. Основные закономерности размещения рудопроявлений цветных металлов и золота в Донбассе // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа Т. XI. / Под ред. И.А. Керимова, В.А. Широковой, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 122–130. doi:10.34708/GSTOU.2021.66.75.022.
11. Парада С.Г., Столяров В.В. О роли палеозойских интрузий в локализации золотоносных минерализаций на Северном фланге Тырныаузского рудного поля // Вестник Южного научного центра РАН. 2012. Т. 8. №2. С. 33–40.

ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОНКСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

© Т.Н. Пинчук¹, А.Б. Фурсина²

¹КубГУ, Краснодар

²КВВАУЛ, Краснодар

Аннотация. Статья посвящена фациальной характеристике конкских отложений Западного и Центрального Предкавказья, которые стратиграфически приурочены к картвельским, сартаганским и веселянским слоям, но в представленных районах имеют отличительные черты в осадконакоплении. Конкский бассейн осадконакопления по территории Предкавказья представлен глубоководными, батинальными и шельфовыми фациями с накоплением глин, песчаников, мергелей, известняков и доломитов.

Ключевые слова: конкский региоарус, фация, бассейн, моллюски, фораминиферы, шельф, глубоководье.

Конкский региоарус относится к среднему миоцену неогеновой системы (рис. 1). Стратиграфически конкские отложения подразделяются на картвельские, сартаганские и веселянские слои, имеющие характерный комплекс палеофауны. Предкавказье в неогеновый период была покрыта водами океана Восточный Паратетис, с колебаниями режима солености, глубины, границ бассейна, зависящих от климатических, тектонических, регрессивно-трансгрессивных факторов, при которых фации осадконакопления резко изменялись. Конкский бассейн особенно широким был в картвельское время, затем он сократился в сартагане и вновь несколько расширился в веселянское время. Такая динамика изменения границ бассейна показывает, что трансгрессия Восточного Паратетиса определялись зоной пролива, связи со Средиземноморьем, при ухудшении связи бассейн начинал наполняться и расширяться, а при открытой связи излишки воды свободно сливались в Мировой Океан.

По территории Западного и Центрального Предкавказья конкские отложения хорошо изучены в полосе выходов по разрезам рек Убин, Пшеха, Белая, Кужора, Фарс, Лаба и других, а также на горе Зеленского на Тамани. На закрытой территории разрез конкских отложений вскрыт многочисленными скважинами, керн которых сложен породами разного состава, с палеонтологическими комплексами, указывающими на осадконакопление в разных фациальных условиях в конкское время. По корреляции местных стратиграфических схем Западного и Центрального Предкавказья выделились районы с близкими и различными фациальными обстановками осадконакопления (рис.2). На закрытой территории по керну скважин границы конкских отложений выделены по микрофауне (фораминиферы, нанопланктон), из-за бедного состава моллюсков и плохой сохранности. Фациальный анализ проведен в основном на основе палеонтологических данных.

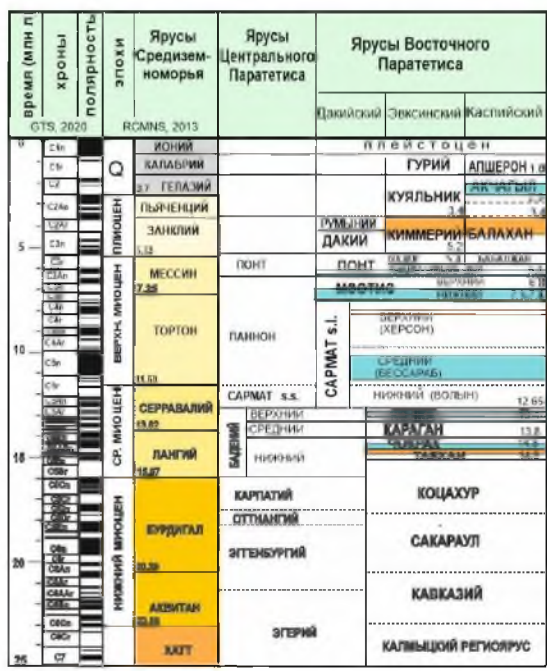


Рис. 1. Стратиграфическая схема неогена Восточного Паратетиса и ее корреляция со Средиземноморьем и Центральным Паратетисом [4]

Таманский полуостров в конкское время был в зоне прогибания бассейна с относительно глубоководными фациями, с накоплением глинистых осадков, формировавшихся в условиях внешнего шельфа с глубинами не менее 150 м. В разрезах скважин конкские осадки представлены глинами серыми, слоистыми, местами песчанистыми, с прослоями доломитизированных мергелей, алевролитов и песчаников, общей мощностью от 10-15 м до 134 м [1]. В сводах антиклинальных складок и в сокращенных разрезах конкские отложения нередко залегают трансгрессивно на размытом карагане, чокраке и майкопе и содержит в подошве прослой мелких конгломератов (Курчанские поднятия). По разрезам скважин в нерасчлененных отложениях карагана и конки в центральных районах Тамани выделены три мощных промысловых горизонта песчаников (до 30-35 м). В породах встречены редкие обломки раковин моллюсков (*Abra*, *Ervilia*), разнообразные фораминиферы нормально-морских родов *Nodobaculariella*, *Articulina*, *Reussella*, *Cassidulina* (Вернигорова и др., 2006), и характерных видов: *Varidentella reussi sartaganica*, *Nodobaculariella konkensis*, *Articulina vermicularis*, *Nonion tauricus*, *Discorbis kartvelicus*, *D. supinus* и др. Смена комплексов фораминифер, установленная в разрезе горы Зеленского в относительно глубоководных отложениях [2], свидетельствует о неоднократном изменении гидрологии в верхних слоях конки.

В Темрюкской синклинали объединенные конкско-караганские отложения представлены глинами с прослоями известняков, мергелей, тонких мелкозернистых песчаников и алевролитов (3-20 см). В синклинали зонах алевро-песчаные и карбонатные прослои собраны в пачки в кровле, средней части и подошве и сопоставляются с XIV, XV и XVI продуктивными горизонтами по номенклатуре Анастасиевско-Троицкого месторождения.

Северо-западное Предкавказье. От Анапы до р. Убин конкские отложения представлены в основном раковинными и оолитовыми известняками и глинами, в нижней части с фауной барней, а выше – с более разнообразными мелкими двустворками, накопление которых проходило в мелководных шельфовых фациях. К северу от полосы выходов конские слои фациально изменяются, и представлены в основном глинами серыми, карбонатными, песчанистыми с тонкими прослоями песков и мергелей, мощностью 10-20 м, накопление которых проходило в условиях погруженного шельфа и батиаля.

В Анапском районе в узкой мелководной зоне конкские отложения, как и подстилающие, целиком сложены оолитовыми и раковинными известняками с *Ervilia pusilla trigonula*, *Dosinia* sp., *Lucina* sp., *Mytilaster incrassatus*, *Mohrensternia inflata hydrobioides*, *Bittium reticulatum*, *Acteocina lajonkaireana* и др., мощностью 1.5-2 м. К северу известняки быстро замещаются глинами с подчиненными прослоями мергелей, содержащих остатки морских ежей, обломки раковин абр, лимацин и разнообразных фораминифер [1], мощность увеличивается до 10-15 м.

От р. Адагум до р. Убин, в полосе выходов на поверхность отложения конкского регионаруса сложены песками и глинами с тонкими прослоями известняков и мергелей, иногда гравелитов и мелких конгломератов. К северу от выходов, по южному борту Западно-Кубанского прогиба (ЗКП) породы представлены карбонатными глинами с прослоями мергелей, иногда доломитизированных, небольшой мощности, от 10 до 40 м, характеризующих погруженный шельф и верхнюю часть батиаля.

Для сартаганских и веселянских слоев характерны *Abra alba scythica*, *Limacina konkensis* и разнообразные фораминиферы: *Globigerina bulloides*, *G. triloculinoides*, *Hastigerina micra*, *Adelosina konkensis*, *Quinqueloculina badenensis*, *Q. konkensis*, *Articulina tenella konkensis*, *Elphidium kudakoense*, *E. horridum*, *Protelphidium martcobi*; отолиты рыб, радиолярии, личиночные двустворки, остракоды.

В осевой зоне прогиба конкские отложения представлены известковистыми глинами с примесью песчано-алевритового материала. Картвельская часть разреза слабо охарактеризована фауной имеет небольшую мощность (15-20 м). В разрезе Кубанской сверхглубокой скважины (СК 12000, инт. 2606-2626 м) осадки верхних слоев конкского яруса представлены переслаиванием прослоев глин, песчаников и известняков (прослой 10-60 см). Глины темно-серые, известковистые, слюдистые, слоистые. Песчаники светло-серые сильно известковистые, доломитизированные, мелкозернистые, с многочисленными включениями обломков фауны и флоры, фораминиферами *Ammonia beccari*, *Discorbis kartvelicus*, *Bolivina* sp., *Globigerina* sp., моллюсками *Limacina* aff. *andrussovi*, личиночными гастроподами и отолитами, обитавших в условиях погруженного шельфа и верхней части батиаля.

ОБЩАЯ		КОРРЕЛЯЦИЯ МЕСТНЫХ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ						Стратиграфическая							
СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ПОДОТДЕЛ	РЕГИОН	РЕГИОПОДЪЯРУС	ЗАПАДНО-ПРЕДКАВКАЗСКАЯ ЗОНА				ЦЕНТРАЛЬНО-ПРЕДКАВКАЗСКАЯ ЗОНА		схема смежных регионов				
					ТАМАНСКАЯ ЗОНА		ЗАПАДНО-КУБАНСКАЯ ПОДЗОНА	АДАГУМСКАЯ ПОДЗОНА	АФИНСКАЯ ПОДЗОНА	ВОСТОЧНО-КУБАНСКАЯ ПОДЗОНА	ЗАПАДНАЯ ПОДЗОНА	ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПОДЗОНА	Восточный Паратетис Южная Украина (Невская, 1975)	Центральный Паратетис (Невская, 1975)	
					1	2а									2б
НЕОГЕН	МИОЦЕН	С Р	В Д Н И Я	К О Н К С К И Й	Нижний	ЗЕЛЕНСКАЯ ТОЛЩА	нижняя подтолща. Глины известковые и неизвестковые с прослоями и линзами мергелей. <i>Abra reflexa</i> Eichw. 50-200 м	ЗЕЛЕНСКАЯ ТОЛЩА	нижняя подтолща. Глины с прослоями алевролитов, песчаных, мергелей с <i>Mactra edwardsi</i> Lask., <i>Abra reflexa</i> Eichw. и др.	нижняя карбонатная толща. Известняки ракушечники, прослойки гипса, известняков с моллюсками 50-100 м	СУРЕВСКАЯ ТОЛЩА. Глины известковые, прослойки известняков, мергелей, песков. <i>Abra reflexa</i> (Eichw.), <i>Mactra edwardsi</i> Lask. 200 м	ФАРОСКАЯ ТОЛЩА. Глины песчаные 60 м	СВЕТЛОГРАДСКАЯ СВИТА. Мергели, известняки, гипсы, известняки, <i>Mactra edwardsi</i> Lask., <i>Cyrtomactra pesantaris</i>	Вольнский подъярус	Сармат
						КАМЕНСКАЯ ТОЛЩА	верхняя подтолща. Глины известковые и сарго-бурые, прослойки мергелей, песков, в основании - прослойки доломитизированных мергелей (до 20 м, "нижний караганский минимум") <i>Abra albaviridis</i> Sok., <i>Spiralis konkensis</i> Zhzh., <i>Spaniodontella gentilis</i> Eichw. 90-110 м	ПЕТРОВСКАЯ ТОЛЩА. Глины с прослоями мергелей, песков, алевролитов, песчаных с <i>Spaniodontella gentilis</i> Eichw., <i>S. pulchella</i> Baily, <i>Spiralis konkensis</i> Zhzh. и др. до 350 м	МОЛДАВСКАЯ ТОЛЩА. Пески, песчанники, известняки Молтошки 10 м. Глины с прослоями мергелей Молтошки, фораминиферы 10 м. Известняки с прослоями песков <i>Spaniodontella gentilis</i> Eichw. 40-180 м	СЕВЕРСКАЯ ТОЛЩА. Глины известковые, прослойки доломитизированных мергелей <i>Spaniodontella gentilis</i> Eichw. 70-225 м	КОСТРОМСКАЯ ТОЛЩА. Пески, песчанники, известняки, алевролиты, гипсы, прослойки ракушечников 40-60 м. Песчанники, гравелиты, ракушечники с <i>Barea fragilis</i> Paly. Пески, песчанники, алевролиты, гипсы с <i>Spaniodontella pulchella</i> Baily	БОЛЬШЕЯНКУЛЬСКАЯ СВИТА. Глины, пески, прослойки песчаных, мергелей, известняков. <i>Spaniodontella pulchella</i> Baily, <i>S. opistodon</i> Andr., <i>S. umbonata</i> Andr., <i>Spiralis</i> sp.			
						Слои с <i>Envilla</i>	Слои с <i>Spaniodontella gentilis</i>								
						Слои с <i>Barea</i>	Слои с <i>Spaniodontella gentilis</i>								

Рис. 2. Схема корреляции местных стратиграфических подразделений Западного и Центрального Предкавказья.

На востоке ЗКП в разрезе р. Пшеха картвельские слои сложены глинами темно-бурыми, почти черными слоистыми некарбонатными с многочисленными караваеобразными сидеритовыми конкрециями (15-35 см в диаметре), известковой галькой и гравием (видимой мощностью до 5м). Выше залегают глины зеленовато- и светло-серые тонкослоистые карбонатные с прослоями плитчатых мергелей. В нижнем прослое (15 см) тонколистоватых сланцев с отпечатками рыб с преобладанием сельдевых (видимая мощность около 30-35 м), накопление которых проходило в относительном глубоководье.

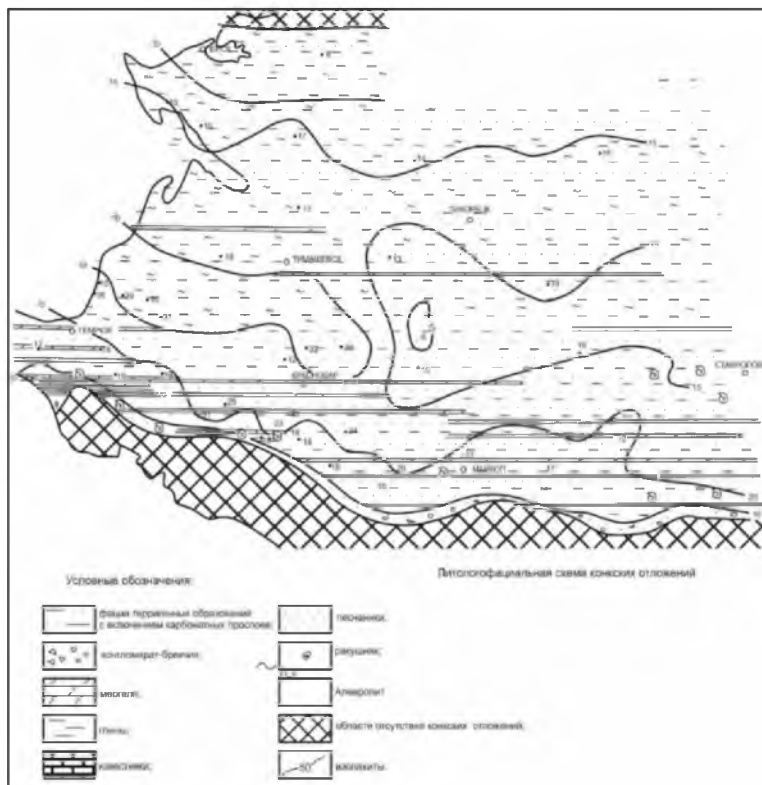


Рис. 3. Схема литофаций конкских отложений Западного Предкавказья

Сартаганские слои также сложены глинами темно-серыми до черных, плотных, жирных, тонкослоистые, известковистые, с отпечатками рыб. с богатым комплексом бентосных и планктонных полигалинных фораминифер с характерными конкскими формами: *Elphidium* aff. *kudakoense* Bogd., *Neobulimina* ex gr. *elongata* (d'Orb.), *Bolivina* sp., *Globigerina bulloides* d'Orb., *G.* aff. *tarchanensis*, *Globulina* sp., *Globorotalia* sp., массу отолитов, кости, чешуи и зубы рыб, споры водорослей *Ovulites renata* Livental, личиночные гастроподы (видимая м. 6-7 м). Веселянские слои сложены мергелями тонкослоистыми плитчатыми нанопланктонными с отпечатками рыб. Конкские отложения по р.Пшеха накапливались в глубоководных условиях морского бассейна.

На северном борту ЗКП в разрезах скважин нерасчлененные конкско-караганские отложения сложены глинами известковистыми неслоистыми песчано-слюдистыми с прослоями мергелей, песков и песчаников (1.5-2 м) и алевролитов, общей мощностью 270-290 м. Для верхнеконкской части характерно переслаивание известковистых алевролитистых глин с тонкими

прослоями мергелей и известняков (8-20 м), с характерным осадконакоплением в шельфовой зоне бассейна. В восточном Приазовье был поднят керн с тонкостенными раковинами остракод, двустворок и комплексом фораминифер с *Neobulimina elongata*, *Elphidium* sp., *Quinqueloculina* sp. морских фаций полносоленого бассейна. Распределение фаций проходило по Западного Предкавказью с юга на север от глубоководных до мелководных на севере (рис.3).

Контакт конки с нижним сарматом согласный, отбивается по «конкскому реперу», хорошо выраженному на каротажных диаграммах. Далее на севернее ЗКП мощности конки быстро сокращаются, а часто конкские отложения отсутствуют из-за размыва сарматской трансгрессией.

На Тимашевской ступени отложения конкского регояруса залегают согласно на карагане и представлены глинами темно-серыми, иногда песчанистыми с пропластками мергелей или мергельных глин (до 0.2 м). В глинах встречены моллюски – *Limacina konkensis*, *Lutetia sokolovi*, *Abra alba scythica* и др., фораминиферы: *Articulina tenella konkensis*, *Quinqueloculina lucida*, *Neobulimina elongata*, *Elphidium* aff. *kudakoensis* и др., иглы морских ежей, характеризующие шельфовые фации тепловодного морского бассейна. Мощность 15-20 м.

В северной платформенной части Западного Предкавказья конка сложена глинами (10-15 м) с подчиненными прослоями песчаников, контакт с караганом несогласный. Далее на север скважинами вскрыты маломощные отложения конки, представлены пачкой песчаников с тонкими прослоями мергелей и раковинами моллюсков: *Abra reflexa*, *Barnea pseudoustjurtensis*, *Varicorbula* sp. мелководного шельфа. Далее к северу, у Ростовского выступа отложения конки местами отсутствуют и на майкопе залегают породы нижнего сармата. В случаях наличия конки, в основании разрезов прослеживается базальный горизонт из грубозернистых песков с галькой, указывающий, на близость береговой линии бассейна с литоральными и мелководными фациями.

На продолжении Таганрогского залива, у г. Новочеркаска В.В. Богачевым (1903) [1] описан полный разрез конкского региояруса, начинающийся белыми песками с барнеями (видимая мощность 1.7 м), выше залегают мелкозернистые зеленые пески с богатой морской фауной (1.3 м) с *Turritella atamanica*, *Acanthocardia platowi*, *Apporhais respellicani*, которые с размывом перекрыты слоем песков крупнозернистых с галькой, гравием и доминированием эвригалинной фауны с *Ervilia*, *Donax*, *Polititapes vitaliana*, а выше - темными глинами с *Abra reflexa*, принадлежащими уже нижнему сармату.

Центральное Предкавказье. В зоне Адыгейского выступа (рр. Белая, Кужора, Фарс, Лаба) отложения конкского региояруса представлены в основном желтыми мелкозернистыми песками значительной мощности (нижние «картвельские» слои – 30-50 м, на Лабе – 100-120 м, средние «сартаганские» и верхние «веселянские» – около 15 м). Восточнее (рр. Уруп, Зеленчук) вновь начинают преобладать глины с прослоями мергелей, местами переходящие в глинистые пески [1], мощность сартаганских и веселянских слоев около 20 м.

По разрезу р. Белой картвельские слои сложены глинисто-алевритовой толще с прослоями (до 10 см) мелкозернистых песков, с постепенным переходом - пески рыжие волнисто слоистые с прослоями бурых глин и серых алевритов (мощность 45 м). Пески грубозернистые косослоистые, волнисто

слоистые, с неправильными корявыми прослоями песчаников. В песках и песчаниках – масса *Ervilia trigonula*, *Barnea pseudoujratamica*, *Davidaschvilia* (Zh.) *gentilis* и др. указывающих на прибрежно-шельфовые условия осадконакопления и близость источников сноса с Кавказского острова. Сартаганские и веселянские слои сложены алевролитами темно-серыми глинистыми толстоплитчатыми с *Limacina*, с прослоями мергелей, содержащими моллюски: *Mastra basteroti*, *Ervilia trigonula*, *Varicorbula gibba*, *Parvicardium* cf. *ruthenicum* и др. К кровле происходит постепенных переход к пескам желтым слюдыстым среднезернистым, глинистым, волнистослоистым, с подчиненными прослойками бурых глин и алевроитов с *Abra alba*, *Mastra basteroti*, *Varicorbula gibba*, *Aequipecten diaphana* (Dub.) и др. (мощность 20 м)

По р. Большой Зеленчук конкские отложения сложены глинами темно-серыми тонкослоистыми карбонатными с толстоплитчатой отдельностью с редкими прослоями тонких мергелей (3-4 см) желтовато-кремовых песчаных с растительными остатками, указывающих на погруженный шельф с близостью источников сноса, выраженных обуглившимся растительным детритом.

К северу от полосы выходов и в осевой части Восточно-Кубанского прогиба развиты глины темно-серые с редкими прослоями мергелей, 50-70 м мощности.

В северной платформенной части у границы Краснодарского и Ставропольского краев объединенные конкско-караганские отложения сложены глинами серыми с прослоями алевроитов, глинистых песков (2-5 м), от 40 до 200 м мощности.

На Сало-Маньчском междуречье верхнеконкские отложения установлены по скважинам: здесь вскрыты переслаивающиеся темные глины и пески (до 10 м), с конкской фауной: *Varicorbula gibba*, *Barnea ustjurtensis*, *B. ujratamica*, *Ervilia trigonula*, *Dentalium* sp., *Limacina* sp. и др. Северная граница развития морских конкских отложений проходит от г. Новочеркасска по р. Сал до Веселовского водохранилища, поворачивая затем по р. Маньч и Миоценовой гряде Приманьчья.

В районе с. Приятное в Маньчском прогибе конкские отложения имеют мощность около 20 м и представлены глинами темными слоистыми, с присыпками песка по плоскостям наслоения. Большая часть этой толщи принадлежит картвельским слоям с характерной малакофауной – *Barnea ustjurtensis*, иногда с *Ervilia*. Фауна моллюсков, характерная для верхних сартаганско-веселянских слоев – *Varicorbula gibba*, *Abra* sp., *Nucula* sp. – встречена лишь в одной скважине (скв. 79 Приятной).

Выводы

В целом осадконакопление в конкское время на территории Западного и Центрального Предкавказья было связано с шельфовыми, батинальными и относительно глубоководными фациями. В прогибах, глубоководных частях моря накапливались карбонатные илы, часто с тонкими прослоями мергелей или доломитов, периодически туда поступали тонкозернистые хорошо сортированные пески. Эти осадки либо лишены фауны, или же в сартаганской части содержат раковинки крылоногих моллюсков, планктонных фораминифер, местами радиолярий.

В Таманской части прогиба в конкское время начался рост антиклинальных складок, что устанавливается по сокращению мощностей и несогласному залеганию на их сводах. В веселянское время ухудшение связи Восточного Паратетиса с Мировым океаном обусловило смену полигалинной фауны и микрофитопланктона на более обедненные, эвригалинные ассоциации. Эстуарный тип циркуляции с резкой стратификацией вод обусловил резкий рост численности моновидовой ассоциации наннопланктона *Reticulofenestra pseudoumbilicus* [3], которая сформировала мощный маркирующий пласт наннопланктонного мергеля, прослеженный вдоль всего южного борта Западно-Кубанского прогиба. Северные и восточные берега конкского моря были равнинными, усложненными заливами, с накоплением песчано-раковинных отложений в относительно мелководной фации.

На юге формировался обширный Кавказский остров, обрамленный мелководным шельфом [4]. В самой западной (Анапской) части кавказского шельфа в условиях слабого поступления терригенного материала продолжали накапливаться биогенные и хемогенные осадки: раковинные и оолитовые известняки малой мощности (первые метры). Восточнее они замещались песками и глинами с прослоями известняков, местами гравелитов и конгломератов. В зоне Адыгейского выступа и Лабинской дельты преобладали песчаные грунты, на которых обитала богатая бентосная фауна. Значительные мощности (до 100-120 м) свидетельствуют об интенсивности поступления сюда песчаного материала, но отсутствие грубообломочных фаций говорит о небольших уклонах и не горном характере рек.

Работа выполнена в рамках гранта РФФ 22-17-00047.

Литература

1. Богданович А.К., Бурак В.Н. Передовой прогиб Западного Предкавказья // Стратиграфия СССР. Неогеновая система. 1 п.т. М., Недра, 1986. 158 с.
2. Вернигорова Ю.В., Головина Л.А., Гончарова И.А. К характеристике конкских отложений Таманского полуострова // Біостратиграфічні критерії розчленування та кореляції відкладів фанерозою України. Київ: Інститут геол. наук. 2006. С. 231-242.
3. Головина Л.А., Гончарова И.А., Ростовцева Ю.В. Новые данные по биостратиграфии (наннопланктон, моллюски) и литологии среднего миоцена Таманского полуострова и Западного Предкавказья // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2004. Т. 11. №6. С. 103-112.
4. Попов С.В., Антипов М.П., Застрожнов А.С. и др. Колебания уровня моря на северном шельфе Восточного Паратетиса в олигоцене-неогене // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. М. РАН. Том 18. №2. С. 3-26.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕКТониКИ, ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-КУБАНСКОГО ПРОГИБА И БОЛЬШОГО КАВКАЗА

© С.Д. Полина, К.И. Данцова, Г.И. Файзуллин
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва

Аннотация. Статья посвящена вопросам геологии Северо-Западного Кавказа. Рассматриваемая территория, приуроченная к зоне Адыгейского выступа, имеет длительную историю геолого-геофизической изученности и обширную базу фактического материала. Несмотря на накопленный материал по району, до сих пор остаются существенные пробелы в понимании механизма и истории заполнения их бассейнов и их кайнозойской геодинамической эволюции. Не решены вопросы об источниках сноса для толщ разного возраста и о тектонической природе Западно-Кубанского прогиба и палеогеографических реконструкций Северного Причерноморья с использованием сейсмостратиграфических профилей. В работе представлены результаты собственной интерпретации сейсмостратиграфических профилей, проходящих через Адыгейский выступ. Высоко-детальные сейсмические записи по Северо-Западному Предкавказью показывают, что поступление обломочного материала в сторону западной части современного горного сооружения Большого Кавказа с севера продолжалось вплоть до конца миоцена. Актуальность работы связана с уточнением тектонического строения региональных нефтегазоносных комплексов в зоне сочленения Западно-Кубанского прогиба и Большого Кавказа с целью создания обновленной базы фактического материала для моделирования генерационно-аккумуляционных углеводородных систем рассматриваемого района.

Ключевые слова: геология Северного Кавказа, Адыгейский выступ, перикратонный бассейн, предгорный бассейн, нефтегазоносность, сейсмические профили.

Введение

Кубанский прогиб расположен к северу от поднятия (орогена) Большого Кавказа и разделен Адыгейским выступом на западную (Западно-Кубанский прогиб) и восточную (Восточно-Кубанский прогиб) части. В геологическом строении Адыгейского выступа участвуют толщи пород широкого возрастного диапазона, от протерозойских до четвертичных, включительно. На значительной площади поднятия распространены олигоцен-нижнемиоценовые образования, выделяемые в майкопскую серию. Эти нефтегазогеологические образования являются основным целевым объектом сейсморазведочных и буровых работ в регионе.

В образованиях средней части майкопской серии установлена полоса песчаных пород, которая интерпретирована как зона палеотечения, тянущаяся от Адыгейского выступа в направлении северо-запад – юго-восток. Ширина зоны составляет 15 км, длина около 150 км. В зоне выклинивания песчаников расположена цепь месторождений, в их числе и месторождения Майкопского района, приуроченные к южному борту Западно-Кубанского прогиба. Нефтеносные запасы приурочены к внутренней (южной) части прогиба, а газовые – главным образом, к центральной части прогиба, осложненной Анастасиевско-Краснодарской антиклинальной зоне. С этой зоной связано самое крупное на Кубани Троицко-Анастасиевское газо-нефтяное месторождение

(рис.2). Большие запасы нефти обнаружены также в Восточно-Кубанском прогибе и вдоль восточного склона Адыгейского выступа, где открыто Баракаевское месторождение (рис.2) с газовыми и нефтяными залежами [4].

Потенциал месторождений нефти и газа во многом зависит от типа осадочного бассейна. Среди них есть бассейны, расположенные во внутренних частях регионов с платформенным стилем строения (район Ромашкинского месторождения, Западно-Сибирский бассейн, Тимано-Печорская провинция и т.п.), и бассейны, расположенные в периферических частях регионов с платформенным стилем строения (бассейны на Атлантических окраинах, бассейн Карского моря, Приуральская провинция и т.п.). Ко второй категории часто относят Западно-Кубанский прогиб.

Среди нефтегазоносных бассейнов, расположенных в периферических частях регионов с платформенным стилем строения, выделяют предгорные и перикратонные (бассейны на пассивных окраинах, шельфовые бассейны и т.п.). Главное различие предгорных и перикратонных бассейнов состоит в характере их заполнения осадочным материалом, а также в относительном положении источников сноса обломочного материала. Предгорные прогибы (Предуральский, Предверхоанский прогибы) заполнены преимущественно продуктами разрушения сопряженного с ним горного сооружения и перекрыты молассой этого сооружения, существенной составляющей которой являются грубообломочные толщи. В противоположность этому, перикратонный бассейн наполняет материал седиментационных потоков, приносимых с сопряженного континента. Это чаще всего осадочный материал, поставляемый протяженными разветвленными речными системами, которые дренируют обширные области континента, на краю которого расположен бассейн, при этом непосредственно в дельтах крупных рек происходит формирование толщ с ярко проявленным клиноформенным строением. Таким образом, для предгорных бассейнов (бассейнов, выполненных преимущественно продуктами разрушения горного сооружения, у подножья которого происходит формирование осадочного бассейна) характерна латеральная проградация осадочных толщ в направлении от горного сооружения на сопряженный континент. В противоположность этому, для внутреннего строения перикратонных бассейнов характерна латеральная проградация осадочных толщ в направлении от сопряженного с бассейном континента. То есть, как для предгорных, так и для перикратонных бассейнов характерен клиноформенный стиль внутреннего строения, однако в предгорных прогибах латеральное наращивание разреза клиноформами происходит в сторону континента, а в перикратонных – от континента [1].

Палеотектонические и палеогеографические реконструкции Северного Причерноморья

Согласно существующим и получившим широкое распространение и признание палеотектоническим и палеогеографическим реконструкциям, область современного северного Причерноморья, Предкавказья и Каспийского региона в конце мезозоя была северной периферией океана Тетис [5], расположенного между Аркт-Лавразийскими и Гондванскими континентальными массами [2]. В кайнозое после сближения Аркт-Лавразийских и Гондванских континентальных масс означенный регион стал северной частью обширного эпиконтинентального бассейна, который получил

название Пери-Тетис, а с олигоцена – Пара-Тетис (Рис. 1). Эти бассейны представляли собой сложную систему суб-бассейнов, соединенных узкими проливами. Перекрытия проливов приводили к эпизодическим прекращением связи суб-бассейнов со Средиземноморским сектором Мирового океана, резким изменениям гидрологического режима, катастрофическим падением уровня моря и смене морских фаунистических сообществ пресноводными и т.п. [3].

В мелу, в палеогене и неогене современные глубоководные котловины, расположенные в западной и восточной частях Черного моря, а также в южной части Каспийского моря, были, по-видимому, частями единой глубоководной впадины. В то же самое время в пределах Пара-Тетиса, т.е. на месте современного Крыма, Большого Кавказа и Предкавказья был расположен обширный эпиконтинентальный шельфовый осадочный бассейн, который мы называем Крымско-Кавказский. В этом бассейне шло накопление проградирующих в направлении глубоководных котловин Тетиса осадочных последовательностей (Рис. 1). Фрагменты этих последовательностей экспонированы в настоящее время в Горном Крыму, в южной части Предкавказья и на Большом Кавказе, в том числе и в пределах Адыгейского выступа (Рис. 2) [1].



Рис. 1. Палеогеографическая схема Пара-Тетиса для конца олигоцена, по [1], с добавлениями и изменениями. ПД-Польско-Датский пролив; ВВ- Волынская возвышенность, УП-Украинский перешеек, ДБ-Донбасс

По материалам сейсмических исследований и бурения Адыгейский выступ представляет собой относительно стабильную поперечную (антикавказскую) структуру, заложенную в домезозойское время в южной части Скифской плиты (рис. 4).



Рис. 2. Тектоническая схема Адыгейского выступа и смежных элементов [4]

Сейсмостратиграфический анализ кайнозойских толщ Адыгейского выступа

Анализ полученных в последнее десятилетие сейсмостратиграфических материалов для Предкавказья высокого разрешения и бурения (Рис. 3) дает возможность выделения различных этапов заполнения и деформационной эволюции бассейна, реликты которого представлены в виде мезозойских и кайнозойских толщ, распространенных в пределах Адыгейского выступа. Специфические детали на сейсмостратиграфических разрезах – надёжно идентифицированные клиноформы (Рис. 4), эрозионные границы разных порядков, палеоврезы и др. элементы конседиментационной структуры, а также выявить разные этапы эволюции палеобассейна в кайнозое, проследить их проявления по разрезу и по площади бассейна, этапов изоляции бассейна и оценки колебаний относительного уровня моря. Дальнейший анализ с учетом других данных позволяет ограничить время начала воздымания орогена Большого Кавказа и др.

Проведенный нами сейсмостратиграфический анализ накопленных данных указывает на то, что в течение позднего мезозоя и почти всего кайнозоя (до раннего плейстоцена, включительно), заполнение Западно-Кубанского прогиба происходило преимущественно за счет бокового наращивания разреза в южном направлении. В качестве примеров, подтверждающих этот вывод, выбраны профили (050542, 050543а [4]), расположенные в пределах

Адыгейского выступа на которых отчетливо идентифицированы эоценовые клиноформы (Рис. 3).

При таком характере заполнения прогиба нет сомнений в том, что основной седиментационный поток в северную часть Крымско-Кавказского бассейна был со стороны расположенных севернее бассейна структур с платформенным стилем строения – древней ВЕП и молодой эпигерцинской Скифской платформы. Такой характер заполнения бассейна доминировал вплоть до пограничных стратиграфических уровней неогена (плиоцена) и квартера (гелазия), оценки нижнего возрастного рубежа которого составляют 2.6 млн. лет. В позднеплиоцен-четвертичное время скорости осадконакопления в бассейн существенно понизились, что привело к уменьшению мощностей слоев ниже предела разрешения сеймостратиграфического метода. С помощью этого метода фактически невозможно определять направление седиментационных потоков в верхнеплиоцен-четвертичных толщах Предкавказья.

Заключение

Анализ сейсмических монтажей показывает, что эоцене ориентировки всех клиноформенных тел в пределах Адыгейского выступа имеют направление «север-юг», что свидетельствует о боковом (горизонтальном) наращивании разреза только со стороны ВЕП и/или Скифской платформы и соответствует поступлению материала в бассейн только с севера (в современных координатах). Таким образом, Западно-Кубанский прогиб вплоть до гелазия – это перикратонный, а не предгорный прогиб. Признаков сноса обломочного материала с Большого Кавказа до гелазия в сеймостратиграфических материалах нет. Типизация Западно-Кубанского прогиба как перикратонного влечет за собой необходимость пересмотра модели его выполнения и корректировку многочисленных моделей генерационно-аккумуляционных углеводородных систем.

Литературы

1. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Данцова К.И. и др. К вопросу о тектонической природе Западно-Кубанского прогиба – возможные следствия для региональной нефтегазовой геологии // Нефтяное хозяйство 2023. №8.
2. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. Пери-Гондванские блоки в структуре южного и юго-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы // Геотектоника. 2021. №4. С. 3-40.
3. Патица И.С., Попов С.В. Сейсмостратиграфия регрессивных фаз майкопского и тарханского комплексов северного шельфа Восточного Паратетиса // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2023 (Материалы LIV Тектонического совещания). М.: ГЕОС, 2023. Т. 2. С. 68-72.
4. Отчёт по теме: «Региональные комплексные геофизические работы на Центральном участке Адыгейского выступа», ЕФГИ.
5. Wilhem C. (compiler) Maps of the Callovian and Tithonian Paleogeography of the Caribbean, Atlantic, and Tethyan Realms: Facies and Environments // Geological Society of America Digital Map and Chart Series. 2014a, 17. 3 sheets.

УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ СКОПЛЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОЮРСКОМ РАЗРЕЗЕ СКИФСКО-ТУРАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© В.И. Попков, И.В. Попков, В.В. Ларичев

КубГУ, Краснодар

Аннотация. Доюрские отложения Скифско-Туранской платформы, залегающие на значительных глубинах, практически утратили первичные емкостно-фильтрационные свойства. Образование вторичных коллекторов происходит в результате вторжения в них глубинных флюидов. Этот процесс сопровождается гидроразрывом пластов, образованием дополнительных трещин, формированием вторичных пустот метасоматического происхождения. В результате образуются вторичные резервуары сложной морфологии, заполняемые углеводородами.

Ключевые слова: коллекторы, глубинные флюиды, гидрогеологические аномалии.

Коллекторские свойства пород в условиях больших глубин в подавляющем большинстве случаев являются вторичными и имеют метасоматическую природу. Размеры участков их развития в рассмотренных ранее примерах строения конкретных месторождений УВ [3, 7-11] укладываются в размеры антиклинальных структур, что отражает, по нашему мнению, масштабы латеральной составляющей воздействия агрессивных флюидов на доюрские отложения Скифско-Туранской платформы. Это воздействие обусловлено [5-10], во-первых, повышенной (для стратисферы) энергетикой глубинных инверсионных вод, а во-вторых, их активным и многогранным физико-химическим воздействием на породы. Первое является фактором формирования гидродинамических аномалий с их активной деформирующей ролью. Второе – сочетанием аномально низкой вязкости газоводяных систем критического состояния, связанных постепенными переходами с перегретыми маломинерализованными водами, их повышенной агрессивностью по отношению к практически всем минеральным компонентам пород.

Литокатагенные подземные воды (рассолы хлоркальциевого типа) находятся в квазиравновесном состоянии с вмещающими породами [4, 9]. При вторжении в эту флюидопородную систему перегретых маломинерализованных вод с высоким щелочным резервом и с повышенными парциальными давлениями кислых газов происходит растворение карбонатных, силикатных и кремнеземных минеральных фаз. В данном случае деформационное разуплотнение пород сочетается с активным метасоматическим разуплотняющим эффектом [6, 9, 10].

Эти заключения находятся в соответствии с известными данными о строении триасовых резервуаров и залежей УВ. Лабораторные исследования кернового материала продуктивных отложений доюрских комплексов Скифско-Туранской платформы показали [2, 7, 8, 11, 13], что в их составе присутствуют трещинные, порово-трещинные и каверново-поровый типы коллекторов. Матрицей трещинных коллекторов являются участки породы, лишенные трещин. Проницаемость водонасыщенной матрицы имеет крайне низкие значения, не превышающие 0.01×10^{-3} мкм². Емкостью порово-трещинных коллекторов служат первичные и вторичные пустоты. Вторичные коллекторы

приурочены к участкам наложенной доломитизации, т.е. имеют метасоматическую природу. Аналогичное происхождение имеют и каверново-поровые коллекторы, связанные с кавернозными доломитами.

Характерно, что в прослоях кристаллических и пелитоморфных известняков присутствуют реликты раковин микроорганизмов, оолитов, карбонатных обломков. Реликты первичной органогенной, оолитовой или обломочной структур сохранились и в доломитах, карбонатно-кремнистых породах. Последние являются продуктом интенсивного окремнения известняков и доломитов. Определенная часть объема вторичных пустот (тупиковые части трещин, трещины с раскрытостью менее 2 мкм^2) занята остаточной водой. Коллекторы трещинного типа присутствуют во всех типах пород [2, 11].

Установлено, что горизонты вторичных коллекторов, развитых в различных литологических разностях пород, образуют в триасовом разрезе Мангышлакских месторождений единый резервуар сложной морфологии [9]. Средние значения трещинной пористости при этом сохраняются независимо от исходного состава пород. Изменение мощности каверновых коллекторов происходит за счет замещения, а не выклинивания кавернозных пород, о чем свидетельствует постоянство мощности продуктивных пачек. Положение водонефтяных и газовойдных контактов достоверно не обосновано ни по одной залежи как методами промысловой геофизики, не позволяющими оценить характер насыщения коллекторов, так и результатами опробования ввиду отсутствия объектов, из которых получены притоки пластовой воды ниже границы залежей.

Изложенное выше может быть продемонстрировано на примере хорошо изученного Северо-Ракушечного газоконденсатного месторождения, располагающегося в пределах Песчаномысско-Ракушечной зоны сводовых поднятий Южно-Мангышлакского прогиба. Месторождение является типичным и наиболее наглядным примером вертикально-инъекционного внедрения глубинных агрессивных флюидов, сопровождающегося формированием гидрохимических и гидродинамических аномалий, а также сопутствующих им процессов эпигенетического порообразования в глубокопогруженных комплексах пород [9, 10].

Месторождение Северо-Ракушечное прилегает с юго-востока к взбросо-сдвигу северо-восточного простиранья. Газоконденсатные залежи приурочены к вулканогенно-карбонатной толще среднего триаса (залежи А и Б) и байосскому горизонту Ю-Х. Зона разуплотнения проходит через свод поднятия. К ней приурочены наиболее опресненные воды сульфат-натриевого типа с минерализацией 15,7–20,1 г/л (рис. 1). Здесь же фиксируются и высокие значения коэффициента негидростатичности ($K_{нг}$), достигающие 1,1–1,4 (рис. 2). По мере удаления к крыльям поднятия возрастает минерализация вод до 62–73 г/л, тип их переходит в хлоркальциевый, отношение rNa/rCl снижается до 0,53–0,73 (скв. 13, 15, 18), а $K_{нг}$ уменьшается до 0,94–0,97 (скв. 18, 30). При росте минерализации пластовых вод от свода структуры к крыльям на фоне снижения $K_{нг}$ проявляется строгая взаимосвязь между минерализацией и $K_{нг}$ [3].

Гидрохимическая, гидродинамическая аномалии и их площадная зональность, величина $K_{нг}$ также тесно связаны со структурным планом месторождения. При удалении от свода к крыльям с увеличением глубины кровли коллектора происходит уменьшение величины $K_{нг}$ как в пределах

основной залежи, так и в опущенном северо-западном блоке, причем градиент в целом для залежи остается единым.

Для структур Песчаномыско-Ракушечной зоны сводовых поднятий Южно-Мангышлакского прогиба отмечена общая особенность: в контуре нефтегазоносности карбонатного коллектора (пласты "А", "АБ", "Б") установлен вторичный тип коллектора представленный, в основном, доломитами и доломитизированными известняками, а за его пределами известняками, незатронутыми процессами вторичных преобразований, пористость которых менее 3%

Составленные карта толщин карбонатного пласта T_2-A и карта эффективных и газонасыщенных толщин коллектора Северо-Ракушечного месторождения имеют высокий элемент подобия [12], что может свидетельствовать о связи процессов выщелачивания известняков, их доломитизации (гидрохимический эпигенез и метасоматоз) и насыщения сформировавшейся эффективной емкости УВ.

Изложенное выше указывает на то, что основные каналы внедрения агрессивных (углекислых) флюидов тяготеют к своду структуры, наиболее подверженному деформациям растяжения, приводящим к образованию участков повышенной тектонической трещиноватости низкопроницаемых пород. Процессы выщелачивания образуют емкость резервуара, заполняемого мигрирующими флюидами, обладающими высоким газосодержанием. Все это сопровождается формированием контрастных гидродинамических аномалий, пространственно совпадающих с зонами максимальных значений эффективных газонасыщенных мощностей каверновых коллекторов.

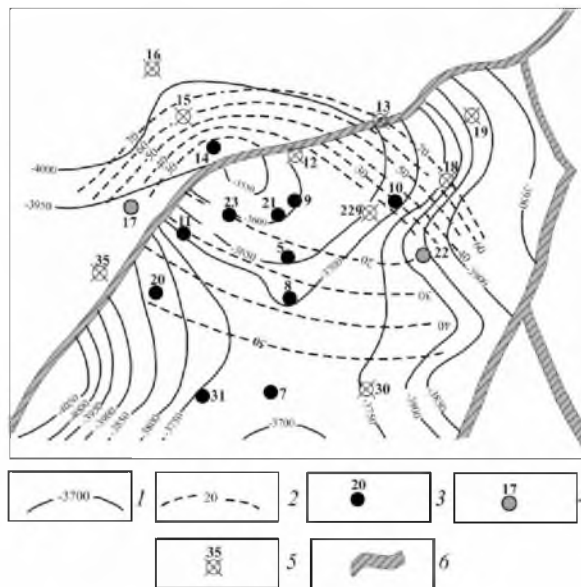


Рис. 1. Схема гидрохимической зональности месторождения Северо-Ракушечное.

1 – изогипсы по кровле пласта "А"; 2 – изоминеры, г/л; 3–5 – скважины: 3 – продуктивные, 4 – с непромышленным притоком, 5 – ликвидированные; 6 – разломы по данным сейсморазведки

латеральной проницаемости и выполнять соответствующие региональные гидродинамические построения. Их образование связано с вторжением в осадочный чехол высокоэнергетичных агрессивных глубинных флюидов. Этот процесс сопровождается разуплотнением низкопроницаемых толщ, образованием дополнительных трещин, формированием вторичных пустот метасоматического происхождения. Такие породы, залегающие среди более плотных и менее трещиноватых разностей, получили название «улучшенных коллекторов» или «коллекторов в зонах разуплотнения», образуют пространственно замкнутые резервуары сложной морфологии, заполняемые УВ. Соответственно, в условиях (квази)закрытой гидродинамической системы при локализации скоплений нефти и газа структурный фактор (наличие антиклинали) не является определяющим.

Совпадение в плане гидрогеохимических и гидродинамических аномалий, участков коллекторов с более высокими емкостными параметрами, их мозаичный, очаговый характер, отчетливые следы метасоматоза свидетельствуют об их генетической взаимосвязи. Трассерами восходящих потоков (супер)глубинных флюидов являются разнообразные по составу частицы самородных металлов, природных сплавов и интерметаллидов, обнаруженных в метасоматических коллекторах многих месторождений [5].

Установление генетической взаимосвязи гидрогеологических аномалий и нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов НГБ может рассматриваться в качестве поискового критерия. К примеру, на территории Южного Мангышлака, отличающейся очень высокой изученностью триасовых отложений, все известные месторождения УВ приурочены к структурам, где в разрезе присутствуют глубинные опресненные воды. И, наоборот, на площадях, выведенных из разведки с отрицательными результатами, гидрохимических аномалий нет [3]. В этих условиях большое значение приобретает картирование вертикальных каналов миграции глубинных флюидов и очагов разуплотнения (дилатансии) в глубоких горизонтах, успешно решаемое сейсморазведкой современных модификаций.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-27-00037.

Литература

1. Дюнин В.И., Корзун А.В. Гидрогеодинамика нефтегазоносных бассейнов. М.: Научный мир, 2005. 254 с.
2. Кузнецов, В.В., Проняков В.А., Инюткина А.В. и др. Нефтегазовые коллекторы продуктивных триасовых отложений Южного Мангышлака // Оценка параметров карбонатных коллекторов и геометризация залежей нефти в различных геотектонических условиях на территории СССР. Пермь, 1978. С. 36-37.
3. Ларичев В.В., Попков В.И. Гидрогеология доюрских отложений Южного Мангышлака. Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. 144 с.
4. Ларичев В.В., Попков В.И. Гидрохимические условия глубокопогруженных нефтегазоносных комплексов // Геология, география и глобальная энергия. 2013. №3. С. 33-43.

5. Лукин А.Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов – трассеры суперглубинных флюидов // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 2. С. 61-92.
6. Лукин А.Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение – ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа // Геологический журнал. 2002. № 4. С. 15-32.
7. Попков В.И., Попков И.В. Литогенез, коллекторские свойства и флюидодинамика доплитных комплексов Скифско-Туранской платформы // Экзолит - 2022. Литология осадочных комплексов фанерозоя и докембрия. Годичное собрание (научные чтения). М.: МАКС Пресс, 2022. С. 107-109.
8. Попков В.И., Попков И.В. Экзогенные и эндогенные факторы в формировании коллекторов в породах фундамента // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)". М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 142-147.
9. Попков В.И., Ларичев В.В., Попков И.В. Структура глубокопогруженных комплексов осадочных бассейнов: гидрогеологические аномалии и нефтегазоносность как следствие внедрения глубинных флюидов (на примере месторождений Южного Мангышлака) // Геотектоника. 2023. № 3. С. 41-66. DOI: 10.31857/S0016853X23030050.
10. Попков В.И., Попков И.В. Вторжение глубинных высокоэнергетичных флюидов в нижние горизонты осадочных бассейнов как фактор, определяющий их нефтегазоносность // Материалы научно-практической конференции "Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий", посвященной 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. 23-26 мая 2023г., Баку. Баку, 2023. С. 393-397.
11. Попков И.В., Попков В.И. Карбонатная формация верхнего триаса Западного Предкавказья: строение разреза, типы резервуаров, перспективы газонасности // Материалы научно-практической конференции "Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий", посвященной 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. 23 - 26 мая 2023г., Баку. Баку, 2023. С. 197-201.
12. Тимурзиев А.И. Строение коллекторов и залежей УВ в низкопроницаемых комплексах и пути совершенствования методики их прогнозирования // Геология нефти и газа. 1984. № 11. С. 49-54.
13. Чербянова Л.Ф., Попков В.И., Проняков В.А. Литологические особенности и коллекторские свойства триасового вулканогенно-карбонатного комплекса Южного Мангышлака // Геология нефти и газа. 1984. № 11. С. 55-59.

ЛИСТВЕНИТЫ ДАХОВСКОГО И ТХАЧСКОГО СЕРПЕНТИНИТОВЫХ МАССИВОВ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)

© Ю.В. Попов, А.Ю. Никулин, Т.В. Шарова

ЮФУ, Ростов-на-Дону

Аннотация. С серпентинитовыми телами на Большом Кавказе связаны листвениты разного минерального состава. Результаты изучения красных лиственитов из Тхачского массива показали, что их породообразующими минералами являются антигорит, кварц, карбонаты доломитового и анкеритового состава, тальк, гематит, хромшпинелиды, а формирование пород происходило в окислительной обстановке при низком отношении флюид/порода. Для зелёных лиственитов Даховского выступа породообразующими минералами служат карбонаты доломитового, анкеритового и в подчинённом количестве сидеритового состава, кварц (обычно в количестве 30-60%), гидромусковит – фуксит, хромшпинелиды; формирование пород происходило в условиях насыщенности среды флюидом, переносящим и отлагающим рудные элементы в форме герсдорфита, зигенита, миллерита, реже арсенопирита, галенита, пирита, сфалерита, халькопирита.

Ключевые слова: лиственит, серпентинит.

Серпентиниты достаточно широко представлены в составе структурно-тектонической зоны Передового хребта и смежной с ней Бечасынской зоны Большого Кавказа, образуя тектонические тела, обнажённые в составе выступов герцинского кристалликума или приуроченные к пакетам герцинских тектонических покровов.

В многостадийной истории тектоно-метасоматических преобразований мантийного ультрабазитового протолита лиственитизация связана с поздними процессами, определяемыми воздействием на серпентиниты углекислотных растворов повышенной щёлочности. Такие растворы способны переносить и отлагать широкий спектр рудных элементов, в том числе и благородные металлы [5]. Следует отметить, что в серпентинитах Большого Кавказа известны гидротермальные минеральные парагенезисы с самородным осмием [6], некоторые лиственитовые проявления рассматриваются как перспективные в отношении благороднометалльной минерализации [2], а серпентиниты и продукты их переработки – как первичный глубинный источник благородных металлов в осадочных и метаморфогенных фанерозойских толщах региона [1].

Изучение минерального состава лиственитов проведено в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центре исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета с использованием электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU интегрированного с системой микроанализа INCA ENERGY 450/ XT и дифрактометра «ARLX'TRA». Целью исследований служит характеристика минеральных породообразующих ассоциаций лиственитов, связанных с серпентинитами Даховского и Тхачского массивов.

В составе Даховского кристаллического выступа листвениты залегают в форме линзовидных тел среди перемятых серпентинитов, на их контактах с позднепалеозойскими калиевыми гранитами или в зонах секущих гидротермально переработанные метапороды и гранитоиды разломов.

Положение их, в целом, контролируется крупным разломом, ограничивающим с севера кристаллическое поднятие.

Даховские листвениты представляют собой массивные или полосчатые породы от серого и серо-зелёного до насыщенного зелёного цвета, местами коричневые или буроватые за счёт ожелезнения. Окрашенные в зелёные цвета разности, относимые к поделочным камням, приурочены к проявлениям в притоках р. Сюк (Березовское, Хризопразовое); на проявлении Хризопразовом известны высококварцевые окрашенные в аквамариновый цвет разности, называемые «хризопразы» [3]. Сложены листвениты (рис. 1-2) несколькими генерациями микрокристаллических карбонатов доломитового, анкеритового и в подчинённом количестве сидеритового состава (иногда зональными), кварцем (обычно в количестве 30-60%, иногда значительно выше), гидромусковитом – фукситом; редко в их составе отмечаются чешуйки хлоритов, талька, незональные хромшпинели, акцессорные апатит, рутил, циркон, единичные зёрна эпидота, гематита, гидрогётита [4]. Текстура нередко брекчиевая с карбонатно-кварцевым цементом, местами с последним связаны обогащённые марказитом участки; в ходе выветривания образуются глинистые минералы каолинит и/или диккит (рис. 2-1).

В составе Тхачского серпентинитового массива листвениты известны близ его тектонического контакта с триасовой осадочной толщей, при этом небольшие блоки лиственитизированных серпентинитов наблюдаются в разломах среди нижнетриасовых пород.

С тхачскими серпентинитами связаны специфические окрашенные в разные оттенки красного цвета листвениты (проявления Ачешбокское, Сосновое, Тхачское), слагающие самостоятельные линзовидные тела или ассоциирующие с серыми разностями. Валунные красные листвениты нередко встречаются в аллювии рек Тхач и Ачешбок. Листвениты часто имеют пятнистую текстуру и содержат разного размера участки серых серпентинитов. Породообразующими являются серпентин антигорит, кварц, карбонаты доломитового и анкеритового состава, тальк, гематит, хромшпинелиды с выраженным ядром и оторочкой (рис. 1-2, 2-2).

Различия минерального состава лиственитов указывают на существенные различия в условиях их образования. Это касается как вариаций pH щелочных растворов (в которых образование кварца в ассоциации с железистыми карбонатами происходит при падении pH [5]), так и окислительно-восстановительного потенциала среды минералообразования. На ранней стадии лиственитизации, фиксируемой в особенностях тхачских лиственитов, существовали обстановки с повышенным окислительным потенциалом среды минералообразования (приводящие к кристаллизации гематита), невысокой щёлочностью (кварц значительно преобладает над карбонатами) и, видимо, низким отношением флюид/порода, обеспечившим сохранность реликтовых минералов серпентинитов. Более интенсивная лиственитизация, видимо, происходила с участием флюидных систем, сопряжённых с гранитоидными интрузивами, в составе Даховского кристаллического выступа, и такие образования несут черты, присущие лиственит-березитовой формации. Здесь в условиях насыщенных флюидом пород (это устанавливается и по особенностям серпентинитов [7]) эволюция флюидной системы сопровождалась образованием нескольких наложенных минеральных ассоциаций, в которых наряду с породообразующими минералами присутствуют обильные сульфиды и

сульфоарсениды – герсдорфит, зигенит, миллерит, реже арсенопирит, галенит, пирит, сфалерит, халькопирит; с низкотемпературной стадией связано развитие прожилков с марказитом. Развитие рудных минералов указывает на активное перераспределение химических элементов серпентинитов, вместе с которыми могли в составе неустойчивых тиосульфидных комплексов мигрировать и благородные металлы.

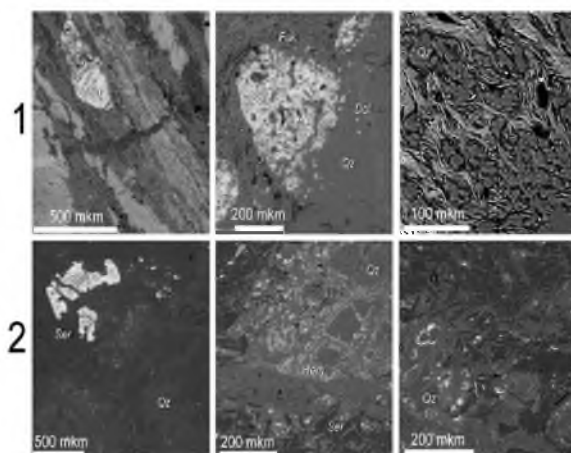


Рис. 1. Строение и состав лиственитов
Даховского (1) и Тхачского (2) кристаллических выступов

Обозначения минералов: Dol – доломит, Hem – гематит, Fuk – фуксит, Qz – кварц, Ser – серпентин, Sp – хромшпинель.

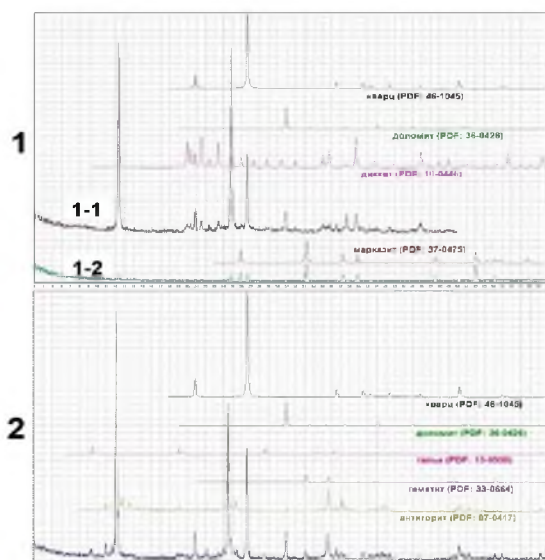


Рис. 2. Дифрактограммы образцов даховского (1-1 – валовая проба, 2-2 – участок с сульфидной вкрапленностью) и тхачского (2) лиственитов.
Приведено сопоставление с минеральными фазами из базы PDF-2

Литература

1. *Богущи И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А.* Ультрабазиты и источник благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе // Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11, №4. С. 15-29. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.47.002.
2. *Богущи И.А., Рябов Г.В., Сендецкий И.И., Черкашин В.И.* Перспективы рудоносности лиственитов Северного Кавказа (Приэльбрусье) // Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12, №3. С. 94-106. DOI: 10.46698/VNC.2022.77.74.006
3. *Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Гурбанова О.А., Попов С.В.* Коллекционные минералы и поделочные камни в ультрабазитах и базитах Северного Кавказа // Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т. 18, №2. С. 29-35. DOI 10.23671/VNC.2018.2.23760.
4. *Долженко И.В., Попов Ю.В., Шарова Т.В.* Листвениты Даховского выступа и связанные с ними рудные ассоциации (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. 2023. №6. С. 82-86. DOI: 10.17513/use.38057.
5. *Павлов А.Л.* Эволюции физико-химических параметров гидротермальных систем при рудообразовании. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 302 с.
6. *Попов Ю.В., Пустовит О.Е.* Первые данные о минералах платиновой группы (осмии) в серпентинитах Беденского массива (Большой Кавказ) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XII. Москва: ИИЕТ РАН, 2022. С. 182-184.
7. *Попов Ю.В., Пустовит О.Е.* Серпентиниты западной части зоны Передового хребта Большого Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7, №1 (27). С. 44-54. DOI: 10.25744/genb.2022.72.53.005.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЖАДЕИТИТОВ ИЗ РОССЫПИ АЧЕШБОКСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)

© Ю.В. Попов¹, А.Ю. Никулин¹, О.В. Пустовит², А.Н. Райко³, Т.В. Шарова¹

¹ ЮФУ, Ростов-на-Дону

² ООО «ГеоБазисПроект», Ростов-на-Дону

³ ИП («Мастерская камня»), Ростов-на-Дону

Аннотация. Жадеитовые породы известны на Большом Кавказе лишь в нескольких проявлениях, связанных с Беденским и Тхачским серпентинитовыми массивами. С размывом Тхачского массива связано образование русловых россыпей жадеита на реках Ачешбок, Бугунджа, Уривок, служащих его основным источником (объединяемых в проявление «Ачешбокское»). Изученный образец их Ачешбокского проявления представляет собой неравномернокристаллическую породу, состоящую из мелких кристаллов амфибола и альбита, погруженных в массу микрокристаллического жадеита переменного состава (за счет изоморфизма Al-Fe). Приведены результаты рентгенофазового анализа и электронно-зондовых исследований жадеитита.

Ключевые слова: жадеит, Ачешбокское проявление

Жадеитовые породы на Большом Кавказе редки и известны лишь в нескольких проявлениях, приуроченных к Беденскому и Тхачскому серпентинитовым массивам [1, 2]. С поступлением материала с Тхачского массива связано образование русловых россыпей жадеита на реках Ачешбок, Бугунджа, Уривок, служащих его основным источником (объединяемых в проявление, известное под названиями «Ачешбокское» или «Угривок»).

Изученные из этого проявления три образца представляют собой валуны массивные породы серо-зеленого цвета с неравномернокристаллической структурой (рис. 1). Сведения об их минеральном составе получены методами качественного рентгенофазового анализа на дифрактометре «ARLX'TRA» и электронно-зондового энергодисперсионного микроанализа с использованием системы INCA ENERGY 450/ XT на базе электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU. Основной объем исследований выполнен в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центре исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета.



Рис. 1. Образцы жадеитов Ачешбокского проявления

Результаты исследований указывают, что порода состоит преимущественно из моноклинного пироксена (более 80-90%) с присутствием подчиненного количества амфибола, альбита, кварца и титанита (рис. 2, 3); указанные второстепенные минералы присутствуют в разных образцах в переменных количествах (рис. 2). Характерной особенностью образцов служит присутствие гипидиоморфных кристаллов амфибола, погруженных в микроструктурную пироксеновую массу с порфиробластами альбита и рассеянным тонкокристаллическим кварцем.

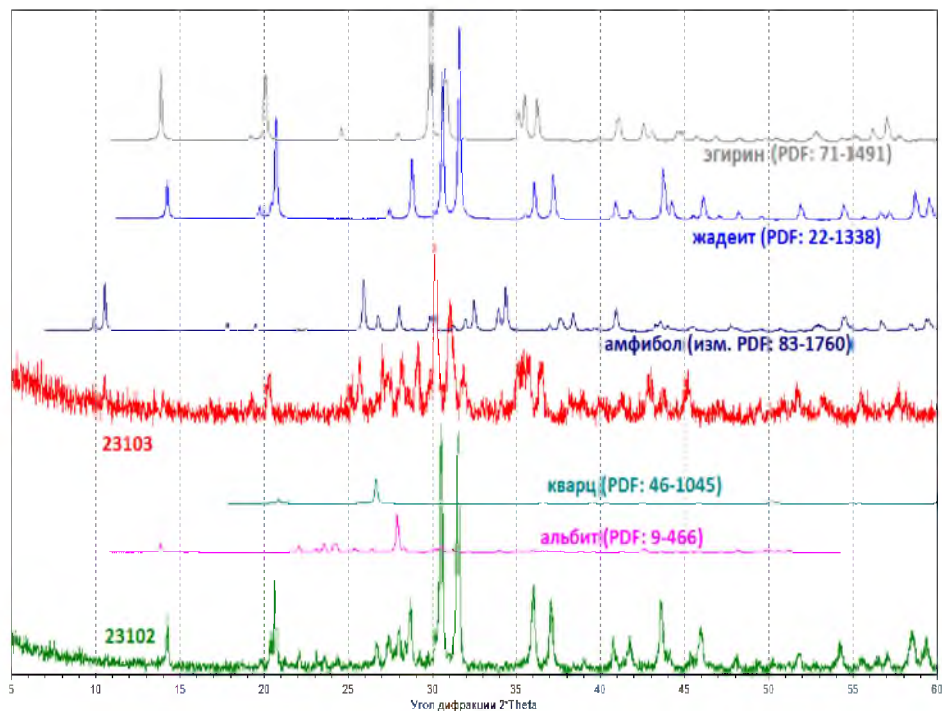


Рис. 2. Дифрактограммы жадеитов Ачешбокского проявления

Приведено сопоставление с карточками базы PDF-2

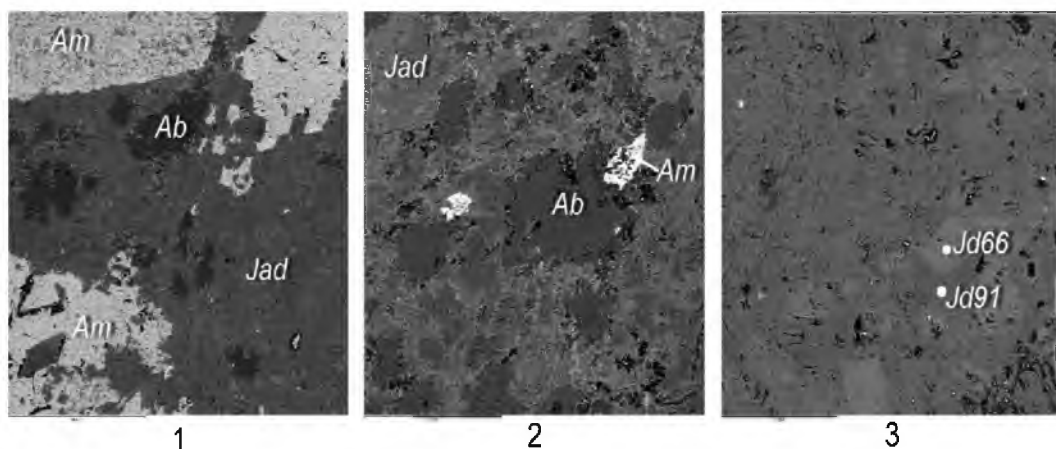


Рис. 3. Строение и минеральный состав жадеититов:

1, 2 – структура и породообразующие минералы, 3 – строение микрокристаллической ткани породы, указано содержание жадеитового минала (*Jd*) в пироксене. Обозначения минералов: *Ab* – альбит, *Am* – амфибол, *Jad* – жадеит

Слагающие основной объем пород пироксены отвечают по составу жадеиту и характеризуются переменным составом в интервале $(\text{Na}_{0.89}\text{Ca}_{0.13})_{1.0}(\text{Mg}_{0.11}\text{Fe}^{3+}_{0.19}\text{Al}_{0.70})_{1.0}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ – $(\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_{0.03}\text{Mg}_{0.03})_{1.0}[\text{Fe}^{3+}_{0.15}\text{Al}_{0.85}]_{1.0}[(\text{Al}_{0.02}\text{Si}_{1.98})_2\text{O}_6]$ (содержание жадеитового минала составляет 65-90%); на дифрактограммах (рис. 2.) также отмечаются различия рефлексов, указывающие на разные соотношения жадеитового и эгиринового миналов. Амфибол соответствует низкощелочной кальциевой разновидности, близкой к бедной магнием роговой обманке. Для альбита характерно присутствие менее 0.5 мас.% CaO. Кварц тонкокристаллический, устанавливается преимущественно на дифрактограммах. Образование альбит-кварцевой ассоциации служит указанием на развитие диафтореза в условиях фации зеленых сланцев в присутствии водного флюида.

Следует отметить, что в изученных породах не обнаружен омфациит, описанный в других образцах из этого же проявления, и отсутствует вторичный тремолит [1]. Видимо, вариации условий в контролирующих тела гидротермально-метасоматических жадеититов разломах определили существенное петрографическое разнообразие пород, пока в неполной мере охарактеризованное на основании изучения единичных образцов (как правило, характеризующих сортовое жадеитовое сырье, а не основную массу образцов).

Образование жадеититов Тхачского массива, видимо, следует связывать с разломами, входящими в систему, принадлежащую к сутурному шву, намечаемому по присутствию высокобарических ассоциаций в кристалликуме (в составе Блыбского, Сахрайского, Даховского кристаллических выступов [4]) и, в целом, принадлежащих Пшекиш-Тырныаузской системе. Эти разломы контролируют и тела субдуцированных альпинотипных гипербазитов тектонических меланжей зоны Передового хребта. При этом для серпентинитов выявляется региональная латеральная зональность минерального состава [3], указывающая на более высокие Р-Т параметры серпентинизации и большую деплиторированность мантийного субстрата по мере удалении от Бечасынской зоны к Пшекиш-Тырныаузской межблоковой шовной зоне. Жадеитовые породы ассоциируют с выходами антигоритовых серпентинитов.

Литература

1. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Гурбанова О.А., Попов С.В. Коллекционные минералы и подслочные камни в ультрабазитах и базитах Северного Кавказа // Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т. 18, №2. С. 29-35. DOI 10.23671/VNC.2018.2.23760.
2. Герасимов В.Ю., Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Попов С.В. Жадеит Беденского серпентинитового массива, Западный Кавказ // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54, вып. 4. С.107–112. DOI 10.25993/FM.2021.54.2020.004.
3. Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Сравнительный анализ серпентинитовых массивов Южного Урала и Передового хребта Большого Кавказа // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 104-109. DOI 10.17513/use.37832
4. Сомин М.Л., Натанов Л.М., Белоусова Е.А. и др. Псевдофундамент в доальпийской структуре Передового хребта Северного Кавказа // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450, № 4. С. 445–449. DOI 10.7868/S0869565213160214.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАБАЗОВ КУРДУЛЬСКОЙ ПЛОЩАДИ КАК СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

© В.К. Сулейманов, А.Р. Юсупов, А.С. Мамаев

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. Изложены краткие сведения о геологическом строении района расположения Курдунской площади, рельефе местности и результатах, проведенных комплексных геологических исследований, подтвердивших возможность использования диабазов Курдунской площади в виде сырья для производства базальтового волокна. Приведены результаты физико-механических испытаний двух образцов диабазовых пород. Установлена возможность изготовления из диабазовых пород площади щебня высокой прочности, декоративно-облицовочных плит, брусчатки и использование при ландшафтном дизайне. Определены недостатки для эксплуатации площади.

Ключевые слова: Курдунская площадь, магматические породы, диабазы, прочность, щебень, декоративно-облицовочный материал.

По всему миру архитекторы и дизайнеры применяют натуральный камень в работе, включают его в концепции как внутренней, так и внешней отделки зданий. В этой статье рассматриваются диабазы Курдунской площади и возможности использования их в качестве строительного материала.

Курдунское проявление относится к юго-восточной части Горного Дагестана и охватывает бассейн р. Курдун и верховье р. Кябкчай. В административном отношении входит в Рутунский район Республики Дагестан. Рельеф района типично высокогорный, резко пересеченный. Абсолютные отметки в районе колеблются от 1800 м в долинах рек до 3800 м и на водоразделах, относительные превышения достигают 2000 м. Ряд вершин имеют отметки, превышающие 3000 м. Склоны хребтов крутые, в среднем 30-40 градусов. Широко развиты скальные стороны рельефа и осыпи, прирусловые части долин нередко имеют вид каньонов и часто непроходимы.

Диабазы – это магматическая порода, обладающие высокой кислотостойкостью, что позволяет применять эти породы в качестве материала для кислотоупорной футеровки, а также диабазы (как и базальты) могут успешно использоваться для получения базальтового волокна.

В 2012-2014 гг. ЦНИИгеолнеруд (Казань) проведены комплексные геологические исследования магматических пород на этой площади. В ходе исследований были изучены вещественный состав магматических пород и проведены промышленно-технологические испытания. По их результатам установлена возможность использования диабазовых пород Ахвай-Хурайской интрузии Курдунской площади в качестве одноконтонентного сырья для получения тонкого и супертонкого базальтового волокна. Полученное волокно удовлетворяло требованиям промышленности по качеству используемого сырья [1, 3, 4].

В геологическом отношении (рис. 1) район сложен терригенными отложениями тоарского и ааленского ярусов юры, представленными алевролитами, аргиллитами и песчаниками. Магматические образования представлены дайками диабазов, диабазовых порфиритов и малыми интрузиями габбро, габбро-диабазов, образующими протяженную полосу

общекавказского простираения, являющуюся звеном Кахетинского диабазового пояса.

Геологическими исследованиями 2012-2014 гг. на площади выявлены диабазы двух видов [1, 3, 4] (рис. 2):

1. Породы, определенные как «субщелочной базальт» мелкозернистые, серого с зеленоватым цветом, массивной неориентированной текстурой. Название «базальт» дано условно, так как порода имеет структуру, переходную между характерными структурами для базальтов и долеритов
2. Монцитит мелкозернистый, темно-зеленоватого цвета, массивной неориентированной текстуры. Это субщелочная порода промежуточная между сиенитом и габбродиоритом.

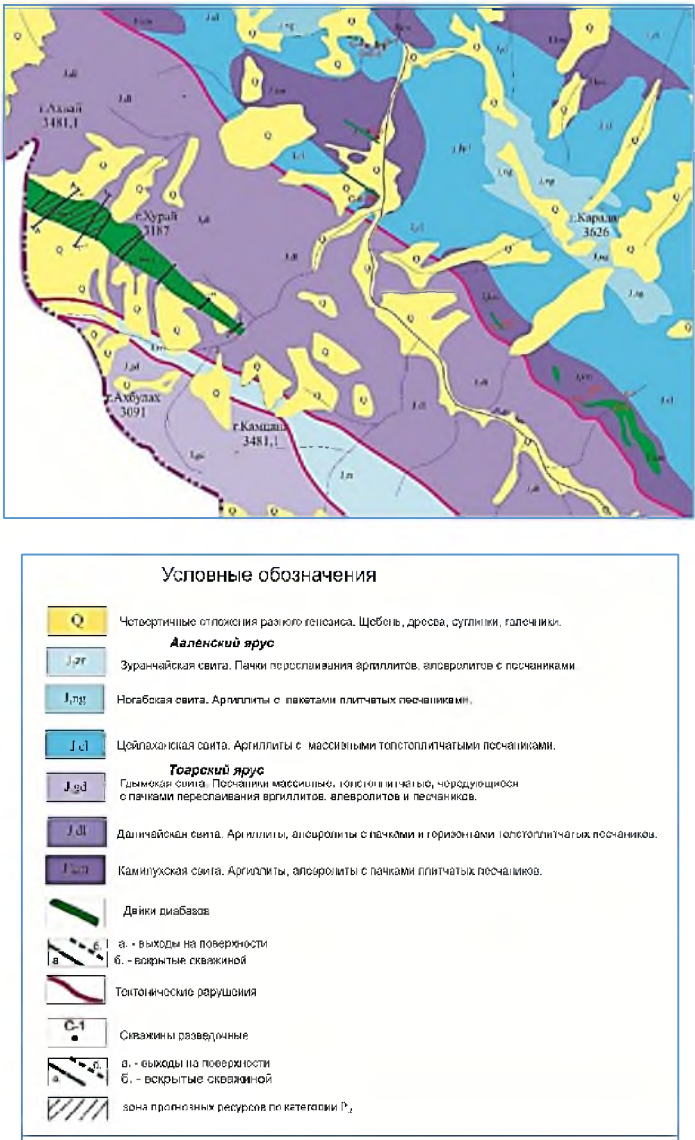


Рис. 1. Геологическая карта района расположения Курдульской площади

Для выяснения возможности их использования в качестве строительного материала 2 образца породы, отобранные в аллювии рр. Курдул и Хумагань, были подвергнуты физико-механическим испытаниям.

Физико-механические свойства определялись в соответствии с действующими стандартами. Результаты проведенных исследований по 2 пробам, приводятся в таблице 1. По результатам физико-механических испытаний образцов (табл. 1) видно, что можно производить щебень высокопрочной категории марок М1200 и М1400, соответствующий требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».

Таблица 1

Физико-механические свойства образцов

Характеристики	Образцы	
	Субщелочной базальт	Монзонит
1. Марка по прочности при сжатии	1200	1400
2. Потеря массы при сжатии давлением 200кН	14,2%	11,0
3. Плотность г/см ³	2,78	2,79
4. Водопоглощение по массе %	0,1	0,2
5. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и угловатой формы, % по массе	9,4	23,6

Высокопрочный щебень марок М1200 и М1400 применяются при решении ответственных задач повышенной сложности. В дорожном строительстве щебень этих марок используется в верхних слоях «подушек» для дорожных покрытий, испытывающих максимальный уровень интенсивных нагрузок. Кроме того, габбро-диабазы имеют все шансы вытеснить гранит, имеющий повышенную лещадность, что ведет к необходимости использования большего количества цемента, и прочие аналогичные материалы этого вида из производства бетонов высоких марок.

Не меньшую перспективу на строительном рынке, исходя из вышеупомянутых показателей прочности, а также химической стойкости [1, 3, 4] и долговечности, может иметь и брусчатка из этого материала. Примером может служить Красная площадь, покрытая брусчаткой из Карельского габбро-диабазы.



Субщелочной базальт



Монцонит

Рис. 2. Диабазы Курдильской площади

Как показывают, опыт и практика строительства природный камень по декоративности и долговечности является одним из лучших видов строительных, архитектурных и отделочных материалов и, поэтому, диабазы Курдильской площади, исходя из их прочностных характеристик (табл. 1), стойкости к различным механическим воздействиям, долговечности, выразительно-контрастной текстуре и цвету могут быть использованы в строительстве зданий, а также в качестве отделочного материала и при изготовлении декоративных изделий.

На рисунке 3 приводятся образцы облицовочных плит, полученных путем распиловки глыб площади.



Рис. 3. Образцы полученных плиток

В процессе полировки камень приобрел насыщенный темно-зеленый тон из-за процессов рефракции. Чем больше шероховатости, тем он выглядит серее.

Благодаря качественной обработке и полировке можно сделать идеально зеркальную поверхность, которая обладает удивительной красотой и изяществом. Поэтому этот камень можно применять в качестве облицовочного материала интерьеров и экстерьеров.

Применяя качественные связующие вещества плитку так же можно изготовить и из щебня. В качестве природного облицовочного камня в Дагестане в настоящее время в основном используются осадочные горные породы и в меньшей степени или практически не используются изверженные горные породы [2, 4]. Обладая большим разнообразием естественных форм (крупные плоские сколы, оригинальные по конфигурации цельные глыбы и т.д.) они также могут быть использованы в современных креативных проектах ландшафтного дизайна (альпийских горок, садовых дорожек, окаймлении прудов и фонтанов).

Недостатком Курдильского проявления являются его удаленность, труднодоступность, сложность рельефа и малые размеры глыб (0,5-0,7 м³), хотя из диабазовых пород площади можно изготовить высокопрочный щебень, брусчатку и декоративно-облицовочную плитку различных размеров и назначений, использовать в ландшафтном дизайне.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808460-6-1.5.6

Литература

1. Багатаев Р.М. Исследование магматических пород Горного Дагестана для производства базальтового волокна. Евразийское Научное Объединение. 2019. № 1-2 (47). С. 110-116.
2. Сулейманов В.К., Юсупов А.Р., Алимагомедов А.А. Нерудное строительное сырье Дагестана. Состояние использования. Труды ИГ ДНЦ РАН №3 (85). 2021. С. 83-91.
3. Шияев А.И., Беляев Е.В., Калабеков У.К., Меньшикова Е.А. Диабазы Дагестана – источник сырья для производства базальтового волокна. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2019. № 11-12 (250-251). С. 18-22.
4. Шияев А.И., Беляев Е.В., Калабеков У.К., Меньшикова Е.А. Изучение возможности использования диабазовых пород республики Дагестан для производства базальтового волокна // Базальтовые технологии. 2018. № 1. С. 46-52.

ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г.-К. ГЕЛЕНДЖИКА

© В.А. Тимошина, Т.В. Любимова

КубГУ, Краснодар

Аннотация. Проблемы водоснабжения курортных территорий Черноморского побережья с каждым годом усиливаются, что вызывает необходимость поиска дополнительных источников водоснабжения. На примере г.-к. Геленджик рассмотрены факторы формирования водообильности пород, а также возможные зоны разгрузки. В результате выделено несколько участков, которые можно использовать для обустройства водозаборов в качестве дополнительных источников водоснабжения.

Ключевые слова: гидрогеологические условия, зона активного водообмена, субмаринная разгрузка, зоны трещиноватости, перспективы водоснабжения

Интенсивное развитие городов-курортов Черноморского побережья России обуславливает бурный рост водопотребления. С учетом специфики гидрогеологических условий территории, выражающейся в первую очередь тем, что основным фактором формирования ресурсов подземных вод является климат, отсутствие длительное время осадков в летний сезон приводит к вынужденным перебоям в водоснабжении как населения, так и предприятия курортного бизнеса [1].

В настоящее время в пределах южного склона С-З Кавказа известны три типа месторождений пресных подземных вод: в верхнечетвертичных и голоценовых аллювиальных переуглубленных речных долинах (цесемский, пшадский, ашейский); в трещиноватой зоне мезо-кайнозойских образованиях Кавказской складчатой области; в верхнеплейстоцен-голоценовых аккумулятивных морских террасах [4]. Несмотря на достаточное разнообразие гидрогеологических условий, возможности выбора устойчивого источника централизованного водоснабжения в их пределах крайне ограничены. Поэтому для полного или частичного удовлетворения запроса города (предприятия), связанного с водоснабжением, возникает необходимость в актуализации состояния ресурсной базы и привлечения дополнительных источников водоснабжения.

Для территории от г.-к. Геленджик до г. Туапсе характерен пшадский подтип аллювиальных переуглубленных речных террас долин главных и малых рек (Мезыб с притоком Адерба, Пшада, Вулан, Небуг, Агой и др.). Этот тип отличается сложным взаимоотношением водовмещающих валунно-галечниковых отложений и водоупорных глинистых прослоев. Питьевые подземные воды в коренных мезо-кайнозойских отложениях формируются в зонах свободного водообмена, где связаны, главным образом, с зонами экзогенной и эндогенной трещиноватости скальных массивов. В настоящее время, они, как правило, не имеют практического значения для организации централизованного водоснабжения. Участки локализации питьевых вод в отложениях голоценовых морских аккумулятивных террас не получили развития на изучаемой территории.

Впервые для решения проблем водоснабжения г. Геленджика в 60-х г.г. 20 в. было выполнено изучение гидрогеологического строения территории. Так

в 1966-67 гг. в долинах рек Мезыб и Адерба проводились поиски на пресные подземные воды с оценкой эксплуатационных запасов. В 1979-81 гг. проводилась детальная разведка Мезыбского месторождения подземных вод с подсчетом эксплуатационных запасов на неограниченный срок водопотребления. Суммарное количество запасов по действующему водозабору и по новым участкам на 1982 г. составило 20 тыс. м³/сут [7]. В целом территория до сих пор характеризуется низкой степенью гидрогеологической изученности [2].

На сегодняшний день водоснабжение г.к. Геленджика осуществляется за счет водозабора в долинах рек Мезыб и Адерба, а также подачи воды групповым водоводом с Троицкого месторождения пресных подземных вод, грунтового каптажа родников верхнемеловых отложений на северной окраине города у подножья Маркотхского хребта (Можаровский источник), а также одиночных скважин, пробуренных для водоснабжения в частном секторе.

Методически данная работа выполнялась в несколько этапов. Это оценка геолого-гидрогеологической обстановки на основе изучения рельефа, тектонической раздробленности, а также литологических особенностей донных отложений бухты. Далее выполнялись геофизические исследования в акватории Геленджикской бухты. При обработке полученных данных использовалась геоинформационная система QGIS.

Построенная карта уклонов (рис. 1) демонстрирует характер поверхности рельефа суши и характеризует возможные пути поверхностного и подземного стока. Как известно, модуль поверхностного и подземного стока для южного склона С-З Кавказа практически совпадают. Анализ карты экспозиции склонов (рис. 2) показывает, что при равенстве склонов по высоте, западные склоны пересечены эрозионными формами глубже и гуще, чем восточные и северо-восточные. Изучение водосборных площадей постоянных и временных водотоков было осложнено частичной техногенной переработкой рельефа в пределах городской застройки. Тем не менее, установлено, что самая большая водосборная площадь принадлежит долине р. Су-Айран – 7,8 км² (рис. 3).

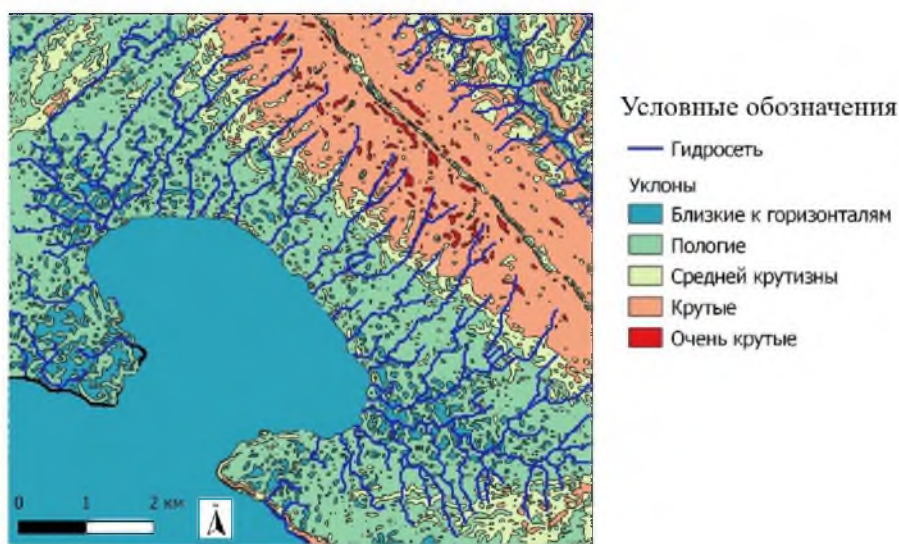


Рис. 1. Карта уклонов

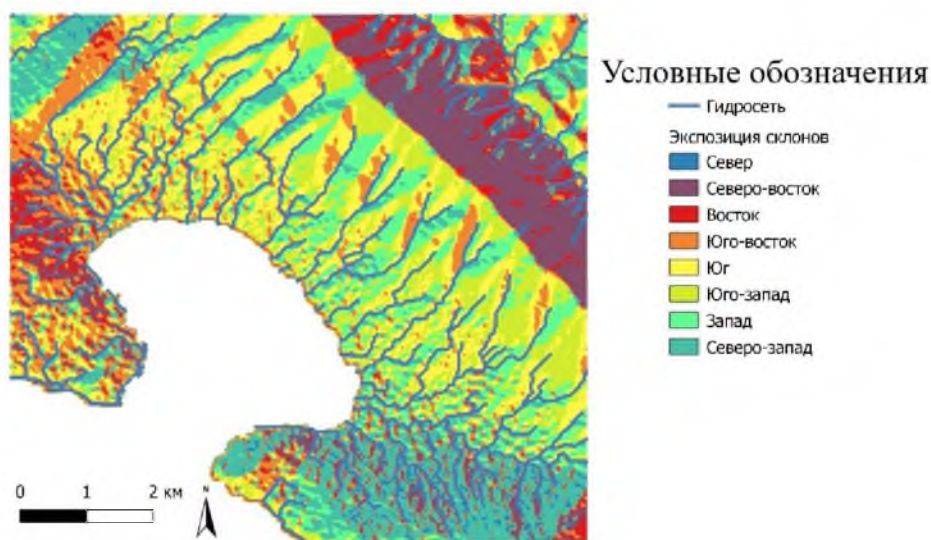


Рис. 2. Карта экспозиции склонов



Рис. 3. Водосборные площади водотоков Геленджикской бухты

Таким образом, особенности рельефа способствуют с одной стороны быстрому дренированию поверхностного и подземного стока, а с другой стороны – определенному застою в прибрежной части в виду наличия здесь уклонов, близких к горизонтали. Частично, «высачивание» подземных вод уже возможно в пределах абразионной морской террасы, получившей развитие вдоль

Геленджикской бухты. Это подтверждается тем, что в районе изучения расположены родники: №3 в районе г. Плоской с дебитом $9 \text{ дм}^3/\text{с}$, минерализацией воды $0,2 \text{ г/дм}^3$ и №9 расположен рядом с Толстым мысом, с дебитом $0,8 \text{ дм}^3/\text{с}$, минерализацией воды $0,4 \text{ г/дм}^3$ [4].

Согласно неоструктурному районированию [6] рассматриваемая территория представляет собой Геленджикский грабен, окруженный разновозрастными дизъюнктивами, которые разбивают его на серию блоков, образующих приподнятые или опущенные ступени [3]. Использование метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений системы оперяющих трещин, развитых в зонах динамического влияния новейших разломов [8] позволило получить представление о кинематических типах разломов и как следствие, о влиянии геомеханических процессов на формирование проницаемости в дизъюнктивных зонах.

В программе SimSGM-DEMO [5] были выделены мегатрещины вдоль уже подтвержденных разрывов. В результате установлено, что преобладающим сдвигом является левый образованный в геодинамической обстановке дополнительного сжатия, который наблюдается по разлому у основания Маркотхского хребта и по краю вдольбереговой зоны. Хороший результат получился в северо-западной части территории г. Геленджика, где преобладает левый сдвиг, где напряженное состояние при углах скалывания меньше 45° .

При сопоставлении полученной схемы распределения тектонических напряжений с картой водозаборов Р.Н. Лизогубовой [4], можно выделить два наиболее совпадающих участка. Первый участок (рис. 4), расположен в восточной части относительно Геленджикской бухты, на нем преобладает распределение левосторонних сдвигов и в этом участке расположено большое количество одиночных скважин и групповых водозаборов. На втором участке, расположенном на северо-западе относительно бухты (с. Кабардинка) можно заметить точечное совпадение локального стресс-состояния, классифицированного как правый сдвиг, образованный в обстановке дополнительного растяжения, с группой эксплуатационных скважин, расположенных на данном участке.



Рис. 4. Сопоставление схемы напряжений с фрагментом карты водозаборов Р.Н. Лизогубовой [4]

В ходе полевых исследований с целью выявления зон субаквальной разгрузки подземных вод 10.08.2021 г. было выполнено околобереговое обследование пространства Геленджикской бухты методом резистивиметрии. В основу исследования был принят метод «волочения» по дну электродной части бронированного геофизического кабеля КГ 7×150 длиной 18 м с выступающими электродами. Данная методика [10] позволяет постоянно, при скорости судна не более пяти узлов и волнения не более двух баллов выдерживать измерительные электроды на расстоянии 50 – 70 мм от дна на глубинах от 0 до 5 м. Траектория профиля регулировалась и подтверждена с помощью стандартной GPS программы «Геотрекер». Выполненные работы показали близкую величину солености от 27 до 30 Ом в сторону понижения солености. Кратковременные колебания в сторону понижения солености носили не систематический характер. Можно предположить, что вдоль береговой зоны, для глубин вдоль 2,5 м идет интенсивное перемешивание морской воды под воздействием волнового процесса и вдольберегового течения. Для глубин 5 м наблюдались кратковременные колебания в сторону понижения солености в северо-западной части бухты. Именно эта часть выбрана как наиболее перспективная для дальнейшей детальной съемки с пересекающимися профилями, поскольку к ней приурочены донные отложения песчаной размерности [9], вероятно принадлежащие палеоруслу р. Су-Аран (рис. 5).

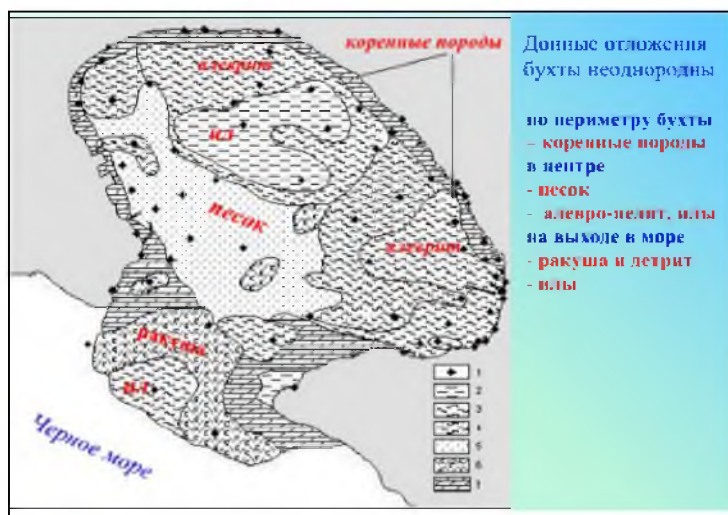


Рис. 5. Состав донных отложений Геленджикской бухты [15]

Повторно 25.05.2023 г. исследование околоберегового пространства было проведено универсальным методом 3 в 1, который совмещал в себе одновременное измерение трех параметров (соленость, температура, водородный показатель (показатель Ph)) в одной точке.

Выполненная работа показала, что на изучаемой территории возможно наличие субмаринных источников, формирующихся в результате разгрузки подрусловых потоков, вероятно принадлежащих палеоруслу р. Су-Аран. Их особенностью является тесная связь с климатическими факторам, и ярко выраженная сезонность. Кроме того, на характер функционирования субмаринных источников существенное влияние оказывают геолого-

гидрогеологические факторы. Вероятно, данный тип субмариной разгрузки потребует своих специальных методов обследования и картирования.

Техногенная нагрузка г.-к. Геленджика за последние лет 15 достаточно выросла. В первую очередь это связано с ростом численности населения как постоянно проживающего, так и приезжающего на отдых в летний период. Техногенные факторы выражаются:

- в уменьшении инфильтрационного питания и усиления плоскостного смыва за счет роста городской территории с твердым покрытием;
- в межень отмечаются малые расходы, что не обеспечивает требуемой производительности водозаборов и создает гидрогеологические «колодцы»;
- при «скупенном» нерациональном размещении одиночных скважин, за счет активного взаимовлияния увеличивается глубина динамического уровня, уменьшается дебит скважин.

Все это приводит к тому, что итак небольшое количество атмосферных осадков (до 500 мм/год) стало еще больше расходоваться на поверхностный сток. Рост населения в курортный сезон увеличивает нагрузку на систему водоснабжения. Утвержденные в 1982 г. запасы подземных вод не были рассчитаны на такое количество населения. Фактически водозаборы работают на истощение ресурсов. Изъяны в нормативно-правовой базе по обустройству одиночных водозаборов в частном секторе (отсутствие лицензирования) привело к тому, что объем воды, добываемый такими одиночными сооружениями, сопоставим с объемом среднего водозабора, в пределах Черноморского побережья. Все это ложиться дополнительной нагрузкой на уже разрабатываемые месторождения.

Таким образом, проведя комплексную геолого-гидрогеологическую оценку перспектив водоснабжения г. Геленджика, можно выделить нескольких участков, которые возможно использовать для обустройства скважин или крупных водозаборов с целью водоснабжения рассматриваемой территории.

Первый участок – продольный разлом у подножья хр. Маркотх, который возможно служит областью перехвата поверхностного и подземного стока. Более подробное изучение напряженно-деформируемого состояния данного линеамента поможет найти высокоперспективные участки, а подтверждение геофизическими методами обводнённости данной разломной зоны позволит спроектировать расположение разведочных гидрогеологических скважин.

Второй участок – является субмаринным источником, формирующимся в результате разгрузки подрусловых потоков, принадлежащий вероятно палеоруслу р. Су-Аран (северо-западная часть Геленджикской бухты). В настоящий момент можно сосредоточить свое внимание на данном участке, как на одном из перспективнейших. Необходимо продолжить его изучение и более точно оконтурить факелы разгрузки. В плане технической составляющей в нашей стране и за рубежом уже имеется опыт использования вод крупных субмаринных источников, а также опыт эксплуатации гидрогеологических скважин, расположенных на шельфе, поэтому этот опыт поможет оптимизировать работу по установке подруслового водозабора в случае обнаружения больших запасов.

Третий участок – участок на Тонком мысу, предположительно захороненных морских вод со временем опресненных за счет атмосферных осадков при неотектоническом подъеме территории. На данной территории уже имеются одиночные частные скважины и, исходя из моделирования,

предпосылки к скоплению пресной или опресненной воды, поэтому следует более детально изучить эту территорию и при положительных результатах обустроить водозабор.

В заключении стоит отметить, что данные источники водоснабжения могут стать лишь «дополнительными». Решение проблемы бесперебойного, постоянного водоснабжения для города и пригорода так же кроется в переустройстве самой системы водоводов и водозаборов в целом.

Несмотря на достаточное разнообразие гидрогеологических условий и источников водоснабжения, возможность выбора устойчивого источника централизованного водоснабжения в их пределах крайне ограничена. Для того чтобы удовлетворить потребность города в стабильной подаче питьевой воды в летний период, как самый наиболее проблемный временной отрезок, автор рекомендует разделить город территориально на несколько зон, где каждая зона будет принадлежать определенному водозабору, который будет обеспечивать закрепленную за ним территорию (рис. 6).



Рис. 6. Схема зонирования водоснабжения г.-к. Геленджика

Зонирование определяет принадлежность территории к конкретному источнику водоснабжения:

Iа – в данной зоне рекомендуется обустроить дополнительные источники водоснабжения в виде сети гидрогеологических скважин у подножья хр. Маркотх в зоне продольного разлома;

Iб – в данной зоне рекомендуется обустроить дополнительные источники водоснабжения, в виде сети гидрогеологических скважин у подножья хр. Маркотх в зоне продольного разлома, а также водозаборы подземных вод в ограниченных структурах зон тектонической трещиноватости;

II – в данной зоне рекомендуется водоснабжение частично (за исключением объектов, связанных с обеспечением жизнедеятельности и обслуживанием населения) перевести на водозаборы, обустроенные на речном аллювии р. Яшамба;

III – в данной зоне рекомендуется организовать частичное (за исключением объектов, связанных с обеспечением жизнедеятельности и обслуживанием населения) водоснабжение из подруслового водозабора от субмаринного источника, принадлежащего палеоруслу р. Су-Аран;

IV – в данной зоне рекомендуется организовать дополнительное водоснабжение из зон тектонической трещиноватости находящихся вблизи данной территории или с привлечением водозаборов, обустроенных на р. Адерба;

V – в данной зоне рекомендуется организовать дополнительное водоснабжение из скопления опресненной захороненной морской воды на данной территории.

Литература

1. Бражников К.В., Любимова Т.В. Факторы водообильности пород водоносных комплексов зоны активного водообмена г. Геленджика // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России: сборник трудов XII Всероссийской Школы-семинара, посвященной году Науки и технологий (Геленджик, 12-14 мая 2021 г.). Геленджик: филиал ЮФУ, 2021. С. 238.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Эколого-геологические и гидрогеологические схемы / Издание второе. Под ред. К.О. Ростовцева / Серия Кавказская L-37-XXXIII (Геленджик). М 1: 200000. Геленджик: ГНЦ ФГУГП Южморгеология, ФГУГП Кавказгеолсъемка, 2000.
3. Куропаткина Т.Н. Структурно-геоморфологический анализ Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа // Региональные географические исследования. Сборник научных трудов / Под общ. ред. А.В. Погорелова. Краснодар, 2019. С. 15–17.
4. Лизогубова Р.Н. Отчет о региональной оценке современного состояния ресурсного потенциала питьевых подземных вод Черноморского побережья России и обоснование перспектив их использования / ОАО «Кавказгидрогеология», Северо-Кавказский Территориальный уровень, №28986. п. Иноземцево: 2006. 836 с.
5. Молчанов А.Б., Гордеев Н.А. Автоматизация метода реконструкции неотектонических напряжений Л.А. Сим с применением алгоритмов компьютерного зрения // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты, 2021. № 18. С. 301–304.
6. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа: Опережающие исследования для инженерных изысканий. Москва: Недра, 1992. 253 с.
7. Подгорный Н.С., Федоров А.В., Проворов И.С. Отчет о детальной разведке Мезыбского МППВ для целей водоснабжения г. Геленджика // Фонды ГУП «Кубаньгеология». Краснодар, 1981 163 с.
8. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы / отв. редактор Ю.Г. Леонов. М.: ГЕОС, 2017. 34 с.
9. Тимошина В.А., Любимова Т.В. Исследования субмаринной разгрузки пресных подземных вод Геленджикской бухты // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России: Сборник трудов XIII Всероссийской Школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, Геленджик, 18–20 мая 2022 г. Ростов-на-Дону. Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. С. 56–62.
10. Фоменко В.А. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможности образования опресненных объемов воды после дождевых стоков в придонной вдольбереговой части Геленджикской бухты по изобатам 2-5 метров» // Филиал ЮФУ г. Геленджик 2021 г. 50 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

© Б.Д. Тотурбиев¹, С.А. Мамаев¹, А.Г. Лукашук²,
А.Б. Тотурбиев¹, Р.Ф. Рагимов³, М.М. Журавлев

¹*Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала*

²*УПРДОР КАВКАЗ ФДА РОСАВТОДОР, Пятигорск*

⁴*ДГТУ, Махачкала*

³*ООО ОНПП, Махачкала*

Аннотация. В статье приведены результаты ранее проведенных экспериментальных исследований использования аргиллитоподобных глин как минеральное сырье для производства керамических материалов: клинкерного кирпича, черепицы, керамзита и т. д. производства которых осуществляется в основном по энергоемкой обжиговой технологии, что значительно удорожает и удлиняет технологический процесс изготовления изделий. Отмечается актуальность теоретических и экспериментальных исследований направленных на использование аргиллитоподобных глинистых пород относящиеся мезозойско-кайнозойским осадочным отложениям на примере аргиллитоподобных глин для производства строительных материалов различного функционального назначения. Теоретически и экспериментально обоснована возможность получения наноструктурированных композиционных вяжущих веществ из аргиллитовых глин с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия непосредственно в самой композиции. При таком способе получения полисиликатов щелочных металлов в структуре композиции образуется сильно пересыщенная жидкая фаза полисиликатов с высокой вязкостью, которая остается в зоне контакта зерен наполнителя. В этом случае дисперсная фаза сближена до расстояния, при котором возможны сильные взаимодействия и образования контактов на агрегативном уровне различной природы. Такие условия формирования связки всегда способствуют повышенной адгезии клея к адгезиву и высокой когезии клеящего слоя.

Ключевые слова: нерудное минеральное сырье, аргиллитоподобные глины, полисиликаты натрия, нанодисперсные, наноструктурированные, вяжущие композиции

Рассматриваемые нами в исследованиях нерудное сырье-аргиллитоподобные глины по генетической классификации типов месторождений относится к мезозойско-кайнозойским осадочным отложениям основанный на различиях их возраста и особенностях происхождения.

В современном рельефе Дагестана она выражена в виде обширной дельтовой равнины Терека и Сулака, выполненной мощной (8-12 км) толщей мезозойско-кайнозойских отложений. Регион характеризуется слабой геолого-геофизической изученностью [1].

До настоящего времени аргиллитовые породы, особенно аргиллитоподобные глины вследствие их мало изученности, не находят большого практического применения в промышленности строительных материалов, хотя широко распространены в различных регионах РФ.

Ранее проведенный нами анализ результатов научно - исследовательских работ дает высокую актуальность и перспективность использования аргиллитоподобных глин как минеральное сырьё для производства строительных материалов, особенно керамических, так как вовлечение их в

производство будет способствовать развитию отрасли строительной керамики и увеличению выпуска доступного по цене клинкерного кирпича, черепицы, керамзита в нашей стране.

Однако здесь необходимо отметить, что применение аргиллитоподобных глин в производство строительных материалов осуществляется в основном по обжиговой технологии – энергоемкой, которая усложняет и удорожает технологию, значительно удлиняет технологический процесс изготовления изделий.

На предмет возможности их использование как нерудное минеральное сырье для производства строительных материалов проводились в Институте геологии ДНЦ РАН [2]. Целью этих исследований явилось получения вяжущих веществ, теплоизоляционных и стеновых материалов с использованием глинистых сланцев, аргиллитовых глин, кремнеземистого и техногенного сырья [3,4,5].

Разработаны: многофункциональный низкообжиговый насыпной керамический материал из глинистых сланцев для изготовления насыпного теплоизоляционного материала (плотностью $0,8-0,9 \text{ т/м}^3$) заменяющий керамзитовый песок; активной минеральной добавки для получения - бесклинкерного известково-пуццоланового вяжущего марки 200, портландцемента марки 400-500 (до 30-50%) при помоле клинкера, а также вяжущего низкой водопотребности – ВНВ-50; безобжиговый теплоизоляционный материал на основе гидрофобного перлитового песка с насыпной плотностью $75-150 \text{ кг/м}^3$, с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия; кремнеземистый жаростойкий бетон нового поколения с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия.

Экспериментальными исследованиями обоснована возможность получения наиболее качественного керамзитового песка из аргиллитовых глин сухим способом при температуре обжига $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ со следующими физико-механическими свойствами: средняя насыпная плотность 650 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности $0,13-0,15 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, прочность $33-45 \text{ кг/см}^2$, водопоглощение до 10 % при крупности $0,16-5 \text{ мм}$.

Аналогичные исследования были проведены в Ростовском государственном строительном университете для получения керамической черепицы, клинкерного кирпича и др. [10- 13]. Исследованиями установлено, что черепок керамической черепицы из аргиллитоподобной глины обладает достаточно высокими значениями предела прочности при изгибе, при низком водопоглощении (менее 6-8 %), водонепроницаемости и морозостойкости, что вполне удовлетворяет требованиям к керамической черепице [5]. Приведены результаты комплексного исследования аргиллитоподобных глин Горняцкого месторождения. Изучены технические показатели по ОСТ 21-32-84, ГОСТ 1808-71 «Черепица глиняная. Claytile» и СТБ EN 1304-2009 «Черепица кровельная глиняная и доборные элементы. Определения и технические условия на продукцию».

Актуальность использования аргиллитоподобных глин для разработки различных строительных материалов были также рассмотрены в исследованиях других авторов [6-9]. В исследованиях [6] отмечают, что перспективными минеральными добавками, способными в значительном количестве сократить

долю клинкера в составе портландцемента без снижения механической прочности, являются аргиллиты. Отмечается, что механическая прочность цементных образцов в значительной степени зависит от химико-минералогических и структурных особенностей добавки, фракционного состава, способности распределяясь в составе портландцемента образовывать каркас, способствующий нарастанию прочности.

Отмечается, что аргиллитоподобные глины являются своеобразным керамическим сырьём, и нет чёткого общепринятого их определения. Поэтому между различными специалистами присутствует непонимание, из-за чего сдерживается широкое вовлечение этого вида сырья в производство. На основе широкого обсуждения, ими предложен термин и его определение – «Аргиллитоподобные глины – это слабосментированная осадочная горная порода с нечетко выраженной слоистостью, образующаяся в результате уплотнения и эпигенеза глин, при взаимодействии с водой медленно рассланцовывается и распадается на мелкие отдельности, способные при слабом механическом воздействии (растирание руками) диспергироваться и образовывать пластичное тесто.

Показана высокая перспективность использования аргиллитоподобных глин для производства клинкерного кирпича [7]. Дана характеристика их химико-минералогического состава, технологических свойств полученных изделий.

Результаты применения наноармированных аргиллитоподобных глин в качестве основного сырья для производства высокопрочной керамики с целью импортозамещения его из Европы и стран СНГ приведены в статье [18,14]. Отмечается, что наноармированные аргиллитоподобные глины изучаемые как сырьё для производства высокопрочной керамики является перспективным, в сравнении с традиционным глинистым сырьём, хотя и имеют свои специфические особенности, которые необходимо учитывать.

Проведенные патентные исследования [15-18] использования аргиллитоподобных глин показывает, что при замене кварцевого песка на аргиллит по технологии производства газосиликата синтезируется новое цементирующее вещество с новыми физико-механическими свойствами. В процессе диспергирования компонентов материала в жидкой среде происходит механическое активирование индивидуальных реагентов и их смесей. При химическом взаимодействии извести-кипелки ($\text{CaO} + \text{MgO}$) с оксидами SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , содержащимися в аргиллите, образуются силикаты, алюминаты и ферриты кальция. При гидротермальной обработке материала и автоклаве под давлением насыщенного пара 0,8-1,2 МПа происходит гидратация минералов с образованием различных по составу и структуре кристаллов гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроалюмоферритов кальция, их твердых растворов, комплексных соединений. Свободные CaO и MgO гидратируются с образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Получена сырьевая смесь [15] оптимального состава для изготовления керамических теплоизоляционных строительных материалов повышенной прочности при плотности 440-550 кг/м³ включающая в следующем соотношении компонентов, мас. %: глинистый компонент-аргиллиты 69,0-74,8; диопсидсодержащая порода 10-15; Стеклобой 9,5-10,5; Гипс строительный 4,92-5,1; алюминиевая пудра 0,58-0,6.

В последние годы в связи с развитием нанотехнологии в строительстве приводятся результаты исследований нанодисперсных полисиликатных систем,

обладающие уникальными связующими свойствами, обеспечивающие комплексное применение нерудного сырья в композициях с различным целевым назначением [9, 19-21].

Поэтому дальнейшие наши исследования по этой тематике будут направлены изучению использования нерудного сырья мезозойско-кайнозойских отложений для получения безобжиговых наноструктурированных композиций.

С этой целью определялись химические и минералогические составы ранее отобранных проб различных аргиллитоподобных глинистых пород мезозойско-кайнозойских осадочных отложений и их физико-механические, технологические свойства для разработки безобжиговой технологии производства строительных материалов различного функционального назначения.

Исследуемые аргиллитовые глины относится глинистым породам среднеюрского возраста.относится камнеподобному глинистому сырью, нет вредных включений, однороден по составу. Влажность испытуемых нами глинистых аргиллитов не превышало 3-7. По размокаемости эти глины различаются на пластичные, аргиллитоподобные и аргиллиты. Минералогический состав глин средней юры изучался с помощью рентгенографического, термического и электронно-микроскопического методов. На рисунке приведен термический анализ исследуемой аргиллитовой глины относящегося глинистым породам среднеюрского возраста.

Исследуемая аргиллитовая глина представлена в основном монтмориллонитами, гидрослюдами, и другими минералами- каолинит, хлорит и галлуазит.

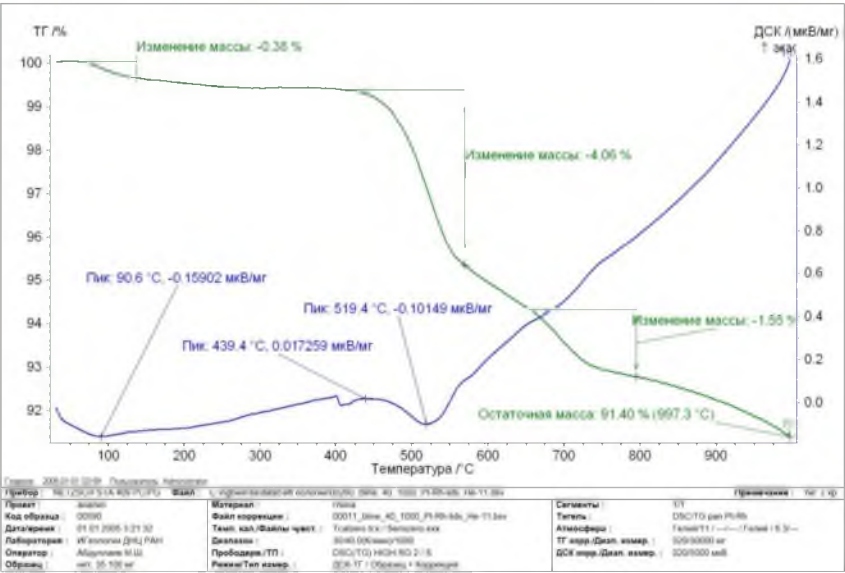


Рис. Термический анализ исследуемой аргиллитовой глины

В преобладающей части эти глины – плотные, карбонатные и некарбонатные, аргиллитоподобные, грубодисперсные, неслоистые, темно-серого, буровато-серого, почти черного и буровато-черного цвета. Цвет зависит

от постоянного присутствия в глинах тонкорассеянного углистого и битуминозного вещества. Однако в ряде случаев они довольно тонкодисперсны, с невысоким содержанием алевритовых частиц при полном отсутствии песчаных. Структура среднеюрских глин тонкочешуйчатая неориентированная и ориентированная, текстура – обычно микрослоистая, реже беспорядочная, обусловленная неравномерным распределением алевритового материала (до 75%), пирита (до 5%) и тонкодисперсного органического вещества.

Удельный вес глинистых пород изменяются в небольших пределах – от 2,66 до 2,74, а естественная влажность – от 4,56 до 12,6%. Величина объемного веса варьирует в пределах от 1,20 до 2,50, а в некоторых образцах повышается до 2,55 и 2,64. Пределы пластичности имеют значения от 9,49 до 15,4%; величина пористости варьирует от 2,94 до 31,16%. Согласно показателю уплотняемости ($K_d < 1$) глинистые породы являются плотными.

Проведенные нами керамико-технологические испытания показали, что температура плавления глинистых пород среднеюрского возраста находится в интервале 1150-1380°C и в редких случаях повышается до 1410°C (угленосная толща). Воздушная усадка колеблется от 6,5 до 11,4%, полная усадка при температуре обжига 850-1150°C составляет 1,0-4,4%. Характерной особенностью изделий, полученных из среднеюрских глин, при обжиге 950-1000°C, является высокая водопоглощающая способность (6,3-16,0%) и средняя плотность, колеблющийся от 1,80 до 2,03 г/см³.

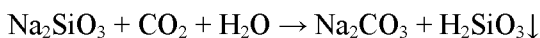
Используемая нами в исследованиях аргиллитоподобная глина характеризовалась следующим химическим составом (% по массе): SiO₂-61,12;; Al₂O₃ -18,11; TiO₂-0,83; Fe₂O₃ -5,90; CaO-1,38; MgO-1,80; SO₃ -0,53; K₂O-3,19; Na₂O-2,17; P₂O₅-0,91; п.п.п.-4,65.

Следующим этапом наших исследований явилось получение безобжиговых наноструктурированных композиций на основе выше изученной природной аргиллитоподобной глины юрского возраста.

Научной новизной этих исследований является получения наноструктурированных композиционных вяжущих веществ из аргиллитоподобных глин с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия на уровне наночастиц, непосредственно в самой композиции, что исключает необходимость придания им агрегативной устойчивости. Это открывает возможность получения полисиликатов натрия любой модульности, и, следовательно, снижения концентрации щелочного составляющего Na₂O в массе композиционного материала, что приводит к повышению водостойкости и морозостойкости строительных материалов.

В наших исследованиях для получения нанодисперсного полисиликата натрия использовались следующие компоненты: безводные силикаты натрия – силикат-глыба (ГОСТ 13079-81, силикатный модуль 2,7-2,9). Химический состав силикат-глыбы следующий (%): SiO₂ – 72; Na₂O – 26,1; Al₂O₃ – 1,5; Fe₂O₃ – 0,07; остальные примеси - 0,33; кремнезоль-аколлоидная кислота mSiO₂•nH₂O, которая представляет собой легкоподвижную опалесцирующую жидкость от прозрачного до белого цвета, состоящую из воды и частиц аморфного кремнезема.

Кремнезоль был получен в лабораторных условиях по технологии, которая заключается в барботировании жидкого стекла сжатым CO₂:



Показатели кремнезоля: SiO_2 -82,62 %; Na_2O -17,38%; диаметр частиц, Å^0 – 100;

pH-9-10; удельный вес при 25°C – 1,2-1,3 г/см³

Наноструктурированное композиционное вяжущее изготавливалось путем совместного сухого помола безводного силиката натрия и высушенного до постоянной массы природного аргиллитоподобной глины, с введением кремнезоля количество которой соответствовало образованию нанодисперсного полисиликата натрия различной силикатной модули с целью изучения их влияние на свойства безобжиговой композиции.

Расчетные данные расхода кремнезоля (концентрации – 70:30), плотности-1,2г/см³ для получения полисиликатов натрия разного модуля из безводного силиката натрия (М-2.9) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание кремнезоля (концентрации – 70:30) для получения полисиликатов натрия разной модульности из безводного силиката натрия и кремнезоля

Компоненты полисиликата натрия	Ед. изм.	Силикатный модуль					
			4.0	6.0	8.0	10.0	15.0
БСН	г		1000	1000	1000	1000	1000
Кремнезоль	г		2394.8	3592.2	4789.6	5987.0	8980.0

С этой целью отдозированные сухие компоненты состоящие из аргиллитоподобной глины и безводного силиката натрия различного состава подвергали совместному сухому помолу в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхностью $S_{\text{уд}} = 2500 \text{ г/см}^2$. Затем, полученную таким образом сухую композицию перемешивали с кремнеземом в лопастной лабораторной мешалке принудительного действия до получения однородной массы.

Из полученной однородной массы изготавливали образцы для определения прочности на сжатие и водостойкости. Образцы изготавливали путем прессования при удельном давлении 35 МПа. Для формования композиции могут быть применены также другие методы и способы, например: послойное трамбование, формование путем вибрирования, вибропрессование и др.

Твердение отформованных образцов осуществляли в лабораторном сушильном шкафу по режиму: подъем температуры от 20 до 90°C – 1,5 часа, выдержка при $90 \pm 5^\circ\text{C}$ – 0,5 часа, затем подъем температуры до 200°C – 1 ч, выдержка 2 часа для последующего обезвоживания системы, который проходил без заметных усадочных явлений и способствовал ее упрочнению обеспечивающему достаточную прочность образцов.

В таблице 2. приведены показатели свойств композиции изготовленного из совместно молотых аргиллитоподобной глины и безводного силиката натрия состава в %, масс. 70:30 с введением кремнезоля для синтеза нанодисперсного полисиликата натрия- различной модули.

Таблица 2

Зависимость свойств аргиллитового наноструктурированного композиционного вяжущего от силикатного модуля полисиликата натрия.

Силикатный модуль полисиликата натрия в композиции	Прочность при сжатии, МПа	Водостойкость композиции, Кразм.
4,0	33,4	0,75
6,0	32,3	0,87
8,0	29,4	0,86
10,0	30,5	0,9
15,0	17,8	0,7

Откуда следует, что водостойкость разработанного композиционного вяжущего с повышением силикатного модуля полисиликата натрия значительно повышается, при идентичном уменьшении его прочности. Здесь на примере аргиллитового наноструктурированного полисиликатнатриевого композиционного вяжущего можно отметить, возможность использования полисиликатов натрия силикатной модулью до 10, т.к. вяжущее при этом имеет достаточную прочность и водостойкость.

Общие выводы

Теоретически и экспериментально обоснована возможность получения наноструктурированных композиционных вяжущих веществ из безобжиговых аргиллитовых глин с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия непосредственно в самой композиции.

Можно предположить, что высокие результаты прочностных и других физико-технических свойств разработанного наноструктурированного композиционного вяжущего на основе низкообжигового аргиллитоподобной глины и нанодисперсных полисиликатов натрия найдут применение для производства различных стеновых материалов.

Такой подход к синтезу полисиликатов щелочных металлов дает уникальную возможность управлять как микро-, так и наноструктурными свойствами композиционных материалов.

При таком способе получения полисиликатов щелочных металлов в структуре композиции образуется сильно пересыщенная жидкая фаза полисиликатов с высокой вязкостью, которая остается в зоне контакта зерен наполнителя. В этом случае дисперсная фаза сближена до расстояния, при котором возможны сильные взаимодействия и образования контактов на агрегативном уровне различной природы. Такие условия формирования связки всегда способствуют повышенной адгезии клея к адгезиву и высокой когезии клеящего слоя.

Здесь нанодисперсный полисиликат натрия представляет переходную область составов от жидких стекол к кремнезолям и классифицируются как наноматериалы.

Структурным элементом полисиликата натрия является кремнекислородный тетраэдр, представляющий более 60 % полимерную форму

в виде кремнеземных частиц размером от 4 до 5 нм., что обеспечивает высокие прочностные свойства образующихся гелевых структур.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808460-6-1.5.6

Литература

1. Неметаллические полезные ископаемые // Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия / Под ред. Е.А. Козловского. 1984-1991.
2. Керимов Г.К. Минеральный состав глинистых пород Дагестана, генетические типы и их применение в промышленности // Труды ИГ Дагестанского филиала АН СССР. 1978. Вып.8. С. 94-115.
3. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И., Мацапулин В.У., Тотурбиев А.Б. Жаростойкий бетон на местном природном нанодисперсном кремнеземистом сырье // Бетон и железобетон. 2013. № 6. С. 2–5.
4. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Производство строительных материалов, с применением глинистых сланцев, аргиллитовых глин, кремнеземистого и техногенного сырья // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. Выпуск № 3. 2018. С. 87-90.
5. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Абдуллаев М.Ш., Абдулганиева Т.И. Использование аргиллитовых глин для производства керамзита // Горный журнал. 2018. № 3. С. 58-62.
6. Коновалов В.М., Гликин Д.М., Соломатова С.С. Использование аргиллитов в производстве смешанных цементов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. 96 с.
7. Борисенко О.Г., Терехина Ю. В. Производство высокопрочной керамики // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации / Сб. статей IV Международ. научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО «ДГТУ». В 2 частях. 2018. Издательство: МЦНС «Наука и Просвещение. С. 177-179.
8. Muñoz Velasco P., Morales Ortiz M.P., Mendivil Giró M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material - A review // Construction and Building materials. 2014. Vol. 63. Pp. 97-107.
9. Nanotechnology in Construction / Edited by Y. de Miguel, A. Porro and P.J.M. Bartos. 2006. 416 p. Режим доступа к журн.: <http://www.rilem.net/proContents.php?pro=pro045>.
10. Котляр А.В. Клинкерный кирпич на основе аргиллитоподобных глин юга России // Строительные технологии, материалы и качество в строительстве. / Ростовский государственный строительный университет. г. Ростов-на-Дону. № 4. 2014. С. 51-54.
11. Котляр В.Д., Козлов А.В., Котляр А.В., Терехина Ю.В. Особенности камневидных глинистых пород восточного Донбасса как сырья для производства стеновой керамики // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 95-105.
12. Котляр А.В., Черевкова Я.В., Мирина В.А., Заманский А.М. Аргиллитоподобные глины – перспективное сырьё для производства керамической черепицы // В книге: Строительство-2015: Современные проблемы строительства. Материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей Южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. 2015. С. 415-418.
13. Котляр В.Д., Козлов А.В., Котляр А.В. Особенности гранулометрического состава камнеподобного глинистого сырья, определяемого методом лазерной дифракции // Стекло и керамика. 2017. № 4. С. 21-27.
14. Lianyang Zhang. Production of bricks from waste materials: A review // Construction and Building materials. 2013. No. 47. Pp. 643-655.

15. Патент на изобретение № 447469 Способ производства строительных материалов и изделий *Г.Д. Соколов, А. С. Фефер*. Оpubл., 01. 01. 1954.
16. Патент на изобретение № 2484063 Сырьевая смесь для изготовления керамических теплоизоляционных строительных материалов /Селиванов Юрий Витальевич (RU), Шильцина Антонида Даниловна (RU), Логинова Елена Владимировна (RU), Селиванов Виталий Мартемьянович. Оpubл. 10.06.2013.
17. Патент на изобретение № 2080310 Силикатный ячеистый бетон автоклавного твердения Верещагин Александр/ Васильевич Гаврилов Вадим Георгиевич- Оpubл.1997.05.27.
18. Патент на изобретение № 2616041 (RU). Технологическая линия для производства керамических изделий на основе камнеподобного сырья / *А.В. Котляр, А.В. Козлов, Ю.В. Терёхина и др.* Оpubл. 12.04.2017, Бюл. № 11. 12.
19. Nanotechnology in Construction 3 / [Zdenek Bittnar, Peter J.M. Bartos, Jfiri N"eme"cek, Vit Smilauer, Jan Zeman (Eds.)] // Proceedings of the NICOM3 ABC: Springer, 31 May - 2 june, 2009.432 p.
20. *Шабанова Н.А., Саркисов П.Д.* Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. М.: Академкнига, 2004. 208 С.
21. *Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б.* Теоретические и экспериментальные основы получения жаростойких бетонов из нанодисперсного полисиликата натрия // Бетон и железобетон. № 1. 2014. С. 2-6.

О ФОРМИРОВАНИИ ВОДОПРИТОКОВ В ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© В.В. Хаустов¹, Н.А. Лукьяненко²

¹ Белгородский государственный университет (НИУ), Белгород

² ОАО «ВАОГЕМ», Белгород

Аннотация. Подземные воды Тырнаузского вольфрам-молибденового месторождения, формирующие дренажный сток, в основном трещинного или трещинно-жильного типа, представляют собой единую водоносную систему, в пределах которой по условиям питания, характеру циркуляции и химическому составу четко выделяются две гидрогеологические зоны с разделяющей их подзоной смешения. Среднегодовой приток воды в горные выработки подземного рудника «Молибден» с 1964 по 1997 гг. колебался от 122,4 м³/ч в 1965 г. до 629,0 м³/ч в 1986 г. В последние годы наблюдений среднегодовой приток воды колебался от 427,0 м³/ч (1993 г.) до 420,0 м³/ч (1997 г.). По замерам в ноябре 2018 г. приток воды в горные выработки подземного рудника Молибден составил 494,3 м³/ч, в сентябре 2020г. он составил уже 571 м³/ч. Температура дренажных вод Центрального рудного поля месторождения на горизонте 2767 м за исследуемый период колебалась от 4,0 до 5,0°С. Установлено, что одним из основных источников формирования подземных вод на Тырнаузском месторождении являются поверхностные водотоки и, предположительно, погребенный ледник, что подтверждено результатами полевых исследований, в том числе с использованием съемки посредством геодезического квадрокоптера. Получены объем и площадь предполагаемого ледника: 29647837,9 м³ и 1635722,6 м² соответственно. Для уточнения размеров ледника и его состояния необходимы дополнительные полевые исследования с привлечением буровых работ.

Ключевые слова: подземные воды, водоприток, факторы формирования, дренирование, тепловизионная съемка, погребенный ледник.

Изучение формирования дренажных вод рудных месторождений десятилетиями остается актуальным прежде всего в связи с экологическими проблемами как на эксплуатационном, так и на постэксплуатационном этапах [2, 3, 5 и др.]. Так, остановленный еще в 2000 г. Тырнаузский вольфрам-молибденовый комбинат (ТВМК) по сей день оказывает негативное влияние на окружающую природную среду [6].

В 2020 г. госкорпорация «Ростех» приступила к работам по возобновлению работы предприятия по добыче и переработке вольфрам-молибденовых руд Тырнаузского месторождения. В этой связи, исследования гидрогеологических условий месторождения весьма актуальны на сегодняшний день, так как призваны обеспечить безопасные условия планируемых горно-добычных работ и охрану окружающей природной среды.

К источникам формирования подземных вод в районе Тырнаузского месторождения относятся поверхностные водотоки, твердые и жидкие атмосферные осадки, трещинно-жильные воды глубоких горизонтов [8]. Подземные воды, формирующие дренажный сток на месторождении, относятся преимущественно к трещинному или трещинно-жильному типам. Они представляют единую водоносную систему, в пределах которой по условиям

питания, характеру циркуляции и химическому составу четко выделяются две гидрогеологические зоны с разделяющей их подзоной смешения [7, 10].

К верхней гидрогеологической зоне относятся воды инфильтрационного генезиса, режим которых тесно связан с режимом поверхностных водотоков и ходом атмосферных осадков. Нижнюю гидрогеологическую зону образуют напорные углекислые воды с повышенной минерализацией [1], которые вскрыты преимущественно штольнями Северного разведочного участка. В целом, гидрогеологические условия исследуемого района определяются структурными, фациально-литологическими и геоморфологическими его особенностями.

В пределах рудного поля развиты разнообразные по литологическому составу горные породы [4], которые различаются по проницаемости и трещиноватости, что позволяет выделить среди них следующие типы объектов гидрогеологической стратификации: водоносный горизонт пластово-поровых вод рыхлых четвертичных отложений; водоносная карстовая зона карбонатных пород (различные по составу мраморы); водоносная зона экзогенной трещиноватости кристаллических (изверженных и метаморфических) пород; водоносная зона разлома (крупные дизъюнктивные нарушения).

В районе месторождения весьма развита трещиноватость выветривания, в связи с которой все массивы дочетвертичных горных пород содержат подземные воды и отличаются несколько повышенной водообильностью, проявляющейся в обнажениях. С глубиной водообильность пород уменьшается в результате затухания трещиноватости. Карстовые явления в пределах развития карбонатных пород, связаны с дизъюнктивной тектоникой и способствуют нередко образованию мощных водоносных карстовых зон. Карстовые полости почти всегда обводнены. Естественная разгрузка трещинно-карстовых вод происходит по склонам хребта Уллу-Тырныауз, но наибольшая их часть дренируется горными выработками рудника. Здесь трещинно-карстовые воды образуют мощные водопритоки. Оценка водопритоков требует особого внимания и является обязательным регламентом при эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых [9].

Из анализа динамики изменения водопритоков в горные выработки следует, что с 1975 по 1986 гг. наблюдался постепенный их рост за счет расширения фронта горных работ на руднике «Молибден» и карьерах «Мукуланский» и «Высотный» (рис. 1). В дальнейшем происходило снижение водопритоков за счет дренирования карстовых полостей, затронутых горными работами, новые же полости не вскрывались в связи с незначительными объемами добычи руды.

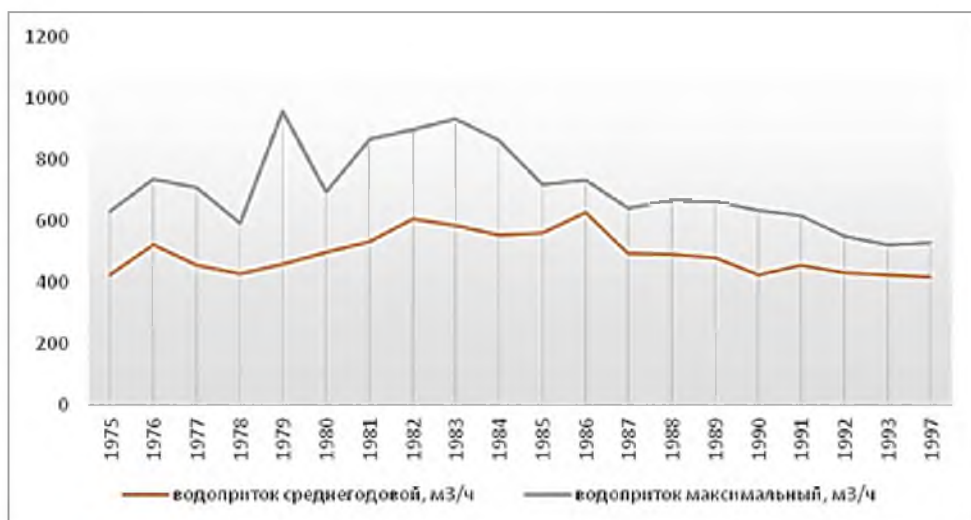


Рис. 1. Динамика изменения водопритоков в горные выработки рудника «Молибден»

В последние годы работы горного предприятия наблюдались среднегодовые водопритоки от 420,0 м³/ч (1993 г.) до 427,0 м³/ч (1997 г.). Максимальный приток в горные выработки подземного рудника «Молибден» с 1964 по 1997 гг. составил 957,9 м³/ч (1979 г.).

В 1997 г. добыча руды на руднике «Молибден» практически прекратилась.

По данным замеров водопритоков из штолен осенью 2018г., выполненных ООО «Управляющая компания «ДонГИС», водоприток составил 494,3 м³/ч. В середине сентября 2020 г. силами ОАО «ВИОГЕМ» выполнены замеры расходов в местах выходов дренажных вод из штолен. Для измерения скорости водного потока использовался микрокомпьютерный расходомер-скоростомер МКРС, приток вод в подземные горные выработки составил 571 м³/ч.

Резко расчлененный рельеф и, в этой связи, принятый штольневый способ разведки и вскрытия Тырнаузского месторождения облегчили в дальнейшем отвод подземных вод без каких-либо дорогостоящих осушительных мероприятий. Однако, как показал опыт, при отработке рудника «Молибден» иногда все же возникали сложности, нередко связанные с отводом шахтных вод в обход рудоспусков. Кроме того, на нижних горизонтах рудника в ряде мест требовалось бурение опережающих скважин для снижения гидростатического напора подземных вод, заключенных в трещинах, разломах и локальных карстовых пустотах.

Основной выработкой, по которой отводились шахтные воды, являлась штольня № 23 горизонта 2015 м. С вышележащих горизонтов вода перепускалась по водоперепускным скважинам вплоть до горизонта 2015 м (рис. 2).

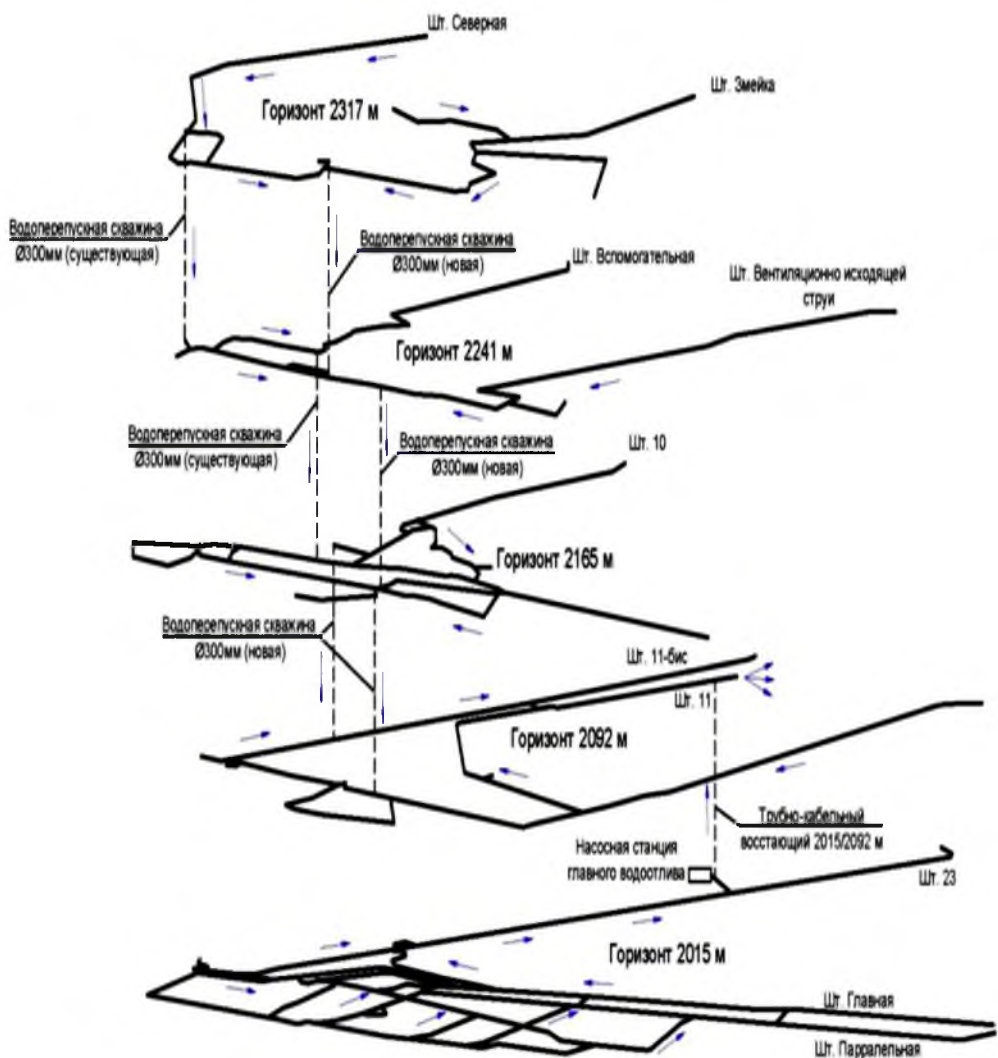


Рис. 2. Схема шахтного водоотлива

Из результатов предварительной оценки обводненности существующих на сегодня горных выработок рудника «Молибден» следует, что притоки подземных вод могут составить: в холодный период года $450\text{--}600\text{ м}^3/\text{ч}$; в летний период (период паводковых водопритоктов). В зависимости от водности года и проектного продвижения горных работ в сторону закарстованных зон они могут увеличиться на 25-40% и составить $560\text{--}840\text{ м}^3/\text{ч}$.

Наличие низких температур дренажных вод на верхних горизонтах подтверждается измерением температуры вод Центрального рудного поля месторождения и вод поверхностных водотоков, выполненное в 1977 г. (табл. 1).

Таблица 1

Температура дренажных вод Центрального рудного поля Тырныаузского
вольфрам-молибденового месторождения и вод поверхностных водотоков
(по данным ТГМК)

Наименование горных выработок и водотоков	Среднемесячная температура, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Верхние горизонты												
горизонт 2	4,9	5,0	4,9	4,8	4,6	4,0	4,2	4,1	4,3	4,5	4,5	4,8
горизонт 4	8,0	7,5	7,0	7,0	6,6	6,5	6,9	5,5	7,0	7,0	6,7	7,0
горизонт 5	7,8	7,6	8,0	7,9	7,1	7,0	7,0	5,5	7,0	7,0	6,8	7,0
горизонт 6	6,2	6,5	6,4	6,6	6,9	7,0	6,3	5,9	5,4	-	-	-
средняя	6,4	6,3	6,3	5,7	5,6	5,7	5,8	5,4	5,5	5,2	5,9	6,1
Средние горизонты												
горизонт 7	6,2	6,0	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-	-	-	-
горизонт 8	-	-	4,0	4,2	5,3	5,0	5,0	5,0	5,3	3,3	-	-
средняя	7,5	7,4	6,5	6,5	7,4	7,5	7,5	7,6	8,0	7,4	9,2	9,7
Нижние горизонты												
горизонт 9	6,7	7,0	7,0	7,0	6,5	8,0	8,0	8,0	7,7	7,0	7,0	7,0
горизонт 10	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,5	7,3	6,5	6,8	7,0	7,5
горизонт 11	8,3	8,4	8,4	8,3	8,2	8,0	8,1	8,5	8,4	8,3	8,4	8,3
горизонт 12	12,0	11,9	12,1	11,9	11,4	11,5	11,5	11,1	10,9	10,8	10,8	10,8
средняя	9,3	9,4	9,4	9,4	9,2	9,4	9,3	9,3	9,1	9,0	9,0	9,1
Поверхностный сток												
ручей	4,0	4,5	3,1	4,6	6,3	7,2	8,0	8,1	7,4	6,7	5,6	4,4
Тырныауз-Су	1,0	1,0	1,6	3,7	6,6	8,0	9,2	8,8	6,0	5,0	4,9	1,6
ручей Чатбаш-Су	0,5	0,7	3,9	4,5	6,0	8,7	16,0	16,0	14,0	6,0	5,0	1,0
ручей Б. Мукулан	5,0	5,5	7,0	8,8	13,5	20,5	20,3	21,0	18,5	14,2	8,0	2,2
ручей М. Мукулан	0,9	0,8	0,7	2,5	3,2	6,8	7,4	7,0	5,8	4,5	2,2	0,9
ручей Змейка												
средняя	2,3	2,5	2,9	4,8	7,0	6,6	12,2	12,2	10,1	7,3	5,1	2,0

Из таблицы 1 следует, что на верхних горизонтах Центрального рудного поля в 1977г. наиболее низкая температура дренажных вод наблюдалась на самом верхнем горизонте (2762 м) и составила от 4,0 до 5,0 °С и была примерно одинакова в разрезе года. На горизонтах ниже (горизонты 2613 м, 2537 м и 2464 м) температура была уже выше и составила от 5,0 до 8,5 °С. На средних горизонтах (2390 м) Центрального рудного поля в 1976 г. температура дренажных вод составляла от 3,0 до 6,1 °С в зимние месяцы и от 5,2 до 6,1 °С в летние; на нижних горизонтах (2242 м, 2167 м, 2092 м и 2015 м) температура вод

была выше и составила 6,5-12,0 °С в зимние месяцы и 6,0-12,0 °С в летние. Следовательно, логично предполагать наличие обводняющих холодных талых вод на верхних горизонтах месторождения.

И действительно, как показали полевые обследования района месторождения с помощью геодезического квадрокоптера «DJI Phantom 4 Pro Obsidian», в верховьях ручья Тырнауз-Су, вероятно, расположен погребенный ледник. Здесь наблюдаются четко обособленные скопления грубообломочного материала, имеющие в плане форму языка, ограниченных спереди и с боков уступами. Механизм образования погребенного ледника связывается с сохранившимися под чехлом абляционной морены краевых частей ледника и (или) с замерзанием воды в пустотах между валунами и глыбами склоновых отложений. Наблюдается характерный флюидальный грядовый микрорельеф поверхности, связанный с постепенным вытаиванием льда.

Он представляет собой мощный источник обводнения водоносных зон трещиноватости в исследуемом районе в виде холодных потоков воды, которые истекают от ледника, и далее по системе трещин поступают в горные выработки (рис. 3, 4).

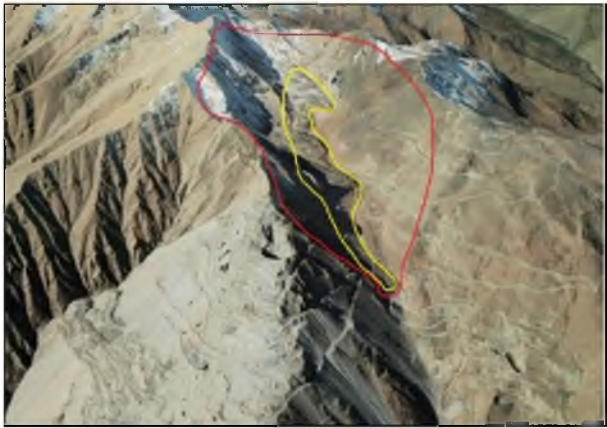


Рис. 3. Схема предполагаемого контура погребенного ледника (желтая линия)

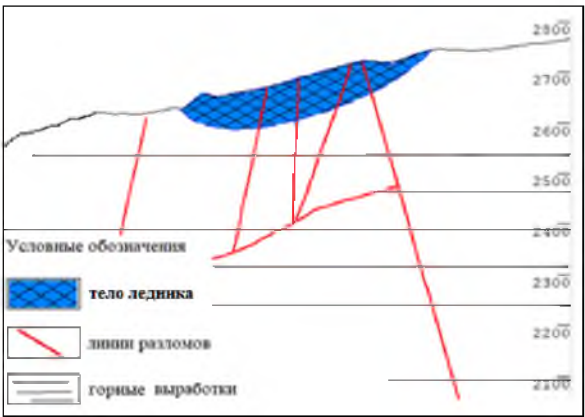


Рис. 4. Схематический разрез погребенного ледника и горных выработок

С помощью ГИС «ГЕОМИКС» рассчитаны объем и площадь предполагаемого ледника, составившие 29647837,9 м³ и 1635722,6 м²

соответственно. Однако, для уточнения размеров ледника требуется ряд дополнительных полевых исследований.

Как нетрудно заметить, гипсометрическое положение предполагаемого погребенного ледника обуславливает беспрепятственное поступление талых вод в систему тектонических разломов и трещин, и далее в горные выработки. Более детальные исследования циркуляции и гидравлической взаимосвязи поверхностных и подземных вод позволят прогнозировать объемы дренажных вод на различных горизонтах месторождения, что предоставит возможность выбора адекватных сложившимся гидрогеологическим условиям технологии и техники для обеспечения требуемой эффективности дренажных мероприятий.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно заключить, что:

- гидрогеологические условия исследуемого района определяются структурными, фациально-литологическими и геоморфологическими его особенностями. Район характеризуется, в основном, наличием трещинной, трещинно-жильной, пластово-трещинной и карстово-трещинной циркуляцией подземных вод;

- в пределах рудного поля выделяются следующие виды подземных вод и водоносные зоны: водоносный горизонт пластово-поровых вод рыхлых четвертичных отложений; водоносная карстовая зона карбонатных пород; водоносная зона экзогенной трещиноватости кристаллических пород; трещинно-жильная водоносная зона (крупные дизъюнктивные нарушения);

- среднегодовой водоприток в горные выработки подземного рудника «Молибден» изменялся от 122,4 м³/ч в 1965 г. до 629,0 м³/ч в 1986 г., по данным наблюдений в октябре-ноябре 2018 г. суммарный водоприток в горные выработки подземного рудника «Молибден» составил 494,3 м³/ч., в середине сентября 2020 г. суммарный приток подземных вод в горные выработки составил 571 м³/ч.;

- установлено, что одним из основных источников формирования подземных вод месторождения Тырнауз являются поверхностные водотоки и погребенный ледник, на что указывают гидротермометрические наблюдения и результаты геоморфологических исследований с помощью геодезического квадрокоптера «DJI Phantom 4 Pro Obsidian».

- средствами ГИС «ГЕОМИКС» рассчитаны объем и площадь предполагаемого погребенного ледника, составившие соответственно 29647837,9 м³ и 1635722,6 м². Для уточнения размеров и морфологии погребенного ледника необходимы дополнительные натурные исследования с привлечением буровых работ.

Литература

1. Врублевский М.И. Минеральные воды Центрального Кавказа как одно из проявлений его геологического развития. Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. 255 с.
2. Калов Р.О., Бекаров Г.А. Оценка постэксплуатационного состояния вольфрамово-молибденового месторождения и возможности нового его вовлечения в природопользование // Горная промышленность. 2020. № 6. С. 80-83.
3. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Гидрогеологические исследования в горнопромышленных районах на постэксплуатационном этапе // Подземные воды востока России: материалы Всерос. совещания по подземным водам Востока

России, Новосибирск, 18–22 июня 2018 года. Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский гос. ун-т. 2018. С. 403-408.

4. *Пэк А.В.* Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырныауз. М.: АН СССР, 1962. 168 с.
5. *Хаустов В.В., Тюпин В.Н., Агарков Н.Б.* О дренажных водах месторождения Тырныауз на эксплуатационной и постэксплуатационной стадиях // Горный журнал. 2020. № 10. С. 100-104.
6. *Хаустов В.В.* Подземные воды и глубинная геодинамика Тырныауза. Курск, изд-во КурскГТУ, 2009. 180 с.
7. *Хаустов В.В.* Формирование дренажного стока месторождения Тырныауз // Известия Юго-Западного гос. ун-та. 2012. №3. Ч.1. С. 140-146.
8. *Хаустов В.В.* Формирование подземных вод вольфрам-молибденового месторождения Тырныауз и вопросы охраны бассейна реки Баксан от загрязнения: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л.: ЛГУ, 1990. 22 с.
9. *Хаустов В.В., Лушников Е.А.* Карст мраморов месторождения Тырныауз // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии. 2011. № 1. С. 76-83.
10. *Khaustov V.V., Ustiugov D.L.* Formation of drainage waters of Tyrnyauz deposit in ecological aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. P. 1-5.

ТЕРСКО-КУМСКИЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

© В.И. Черкашин, С.А. Мамаев, Ж.Г. Ибаев, А.Ш. Гусейнова, А.С. Мамаев

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. Несмотря на то, что Дагестан обладает значительными ресурсами поверхностных и подземных вод, состояние водоснабжения населения остается весьма неудовлетворительным. Процессы техногенного загрязнения и крайне нерациональное использование водных ресурсов сводят на нет эффект от растущих с каждым годом объемов работ на водоснабжение и водоотведение. В чрезвычайно сложных природных условиях Терско-Кумской равнины, обусловленных аридностью климата, бессточностью рельефа, 2-3-кратным превышением испаряемости над количеством атмосферных осадков, засоленностью почво-грунтов, близким к поверхности земли залеганием соленых грунтовых вод, а также нагонно-волновыми явлениями и интенсивным повышением уровня Каспия (на 2,0 м с 1978 г.), крупные масштабы водохозяйственной, нефтегазодобывающей, дорожно-строительной и сельскохозяйственной деятельности, оборачиваются эрозией почв, деградацией земель, наступлением пустыни и серьезными экологическими проблемами в зоне активного водообмена подземной гидросферы.

Ключевые слова: Терско-Каспийский артезианский бассейн, загрязняющие вещества, предельно допустимые концентрации, техногенное воздействие, продуктивные водоносные комплексы.

Одним из важнейших полезных ископаемых мировое сообщество геологов считает ресурсы пресных подземных вод. Это вызвано тем, что поверхностные воды загрязнены практически повсюду и главным источником коммунально-бытового водоснабжения во всем мире служат ресурсы подземных вод, часть которых создаются искусственно.

Так, в России из подземных гидрогеологических резервуаров десятками тысяч скважинами ежедневно добываются по 40 млн. кубометров воды (14,6 млрд. м³/год) и этой водой обеспечиваются потребности 60% городского и 85% сельского населения. Примерно такого же уровня достигли субъекты РФ Восточного Предкавказья в употреблении ресурсов подземных вод для водоснабжения населения.

Понятно, что вода самый бесценный природный дар, а ее отсутствие приводит к исчезновению даже целых цивилизаций, что наблюдалось в истории человечества неоднократно.

Республика Дагестан самая большая территория в СКФО и самая богатая Республика в Российской Федерации по количеству питьевой воды (поверхностные + подземные воды) на душу населения, но по потреблению занимает последнее место в СКФО (рис. 1).

Парадокс, но это так поскольку территория Республики Дагестан включает в себя бассейны крупных рек Кума, Терек (вне зоны формирования стока), Сулак, Самур и масса мелких рек между Сулаком и Самуром, впадающих в Каспийское море общей протяженностью около 26 тыс. км.

По данным Министерства природных ресурсов РД, многолетний годовой сток приведенных рек Дагестана достигает величины 16,2 км³/год, и на одного

жителя Дагестана приходится 7795 м^3 в год, т.е. самая высокая обеспеченность пресной водой не только на Кавказе, но и в России.

На территории Республики имеются достаточно крупные водохранилища, которые являются последствием гидроэнергетического строительства: Чиркейское, Ирганайское, Миатлинское, Чирюртовское и Гергебильское. Крупнейший на всем Северном Кавказе водный резервуар в горах – Чиркейское водохранилище с полным объемом $2,8 \text{ млрд. м}^3$ и полезным – $1,3 \text{ млрд. м}^3$. Площадь его зеркала 42 км^2 .



Рис. 1. Карта СКФО

Однако, несмотря на большие объемы воды, 100% удовлетворенность потребителей питьевой водой не достигнута поскольку главным недостатком обеспеченности является в первую очередь это то, что она приходится на горные и высокогорные районы, а второе не рациональное использование столь драгоценного минерального сырья [1-4].

Достаточно большие потери питьевой воды связаны из-за изношенности водных артерий и нарушений эксплуатации, результат которых мы часто видим по рекам, текущим по нашим улицам. Кроме этого, необходимо усилить контроль за расходом питьевой воды как непосредственно населением Республики, так и всеми организациями находящиеся на территории Республики, что существенно пополнит бюджет Республики и снизит потери, а самое главное этот бесценный природный дар будет использоваться рационально.

В водоснабжении Равнинного Дагестана принимают участие четыре продуктивных водоносных комплекса. Наиболее интенсивно эксплуатируются бакинский и верхнеапшеронский (верхняя пачка) ВК [5-11]. Хазаро-хвалынский эксплуатируется лишь на Кумыкской плоскости (Хасавюртовский, Кизилюртовский и Бабаюртовский районы). Нижняя пачка верхнеапшеронского

водоносного комплекса эксплуатируется только в Ногайском районе, а также в городах Кизляр и Хасавюрт. Увеличение мощности отложений ВК происходит в восточном и северо-восточном направлениях.

В соответствии с картой областей питания [9-11] формирование водоносных комплексов происходит в результате инфильтрации атмосферных осадков и речных вод в основном с предгорных зон, как Дагестана, так и Чечни (Терский хребет), а также Ставропольского края (конусы выноса рек). С нашей точки зрения определенная доля питания есть и за счет инфильтрации атмосферных осадков в барханно-грядовых песках современного возраста, находящихся за пределами Дагестана. На территории Дагестана имеет место переток подземных вод из нижних водоносных комплексов в верхние.

Разгрузка водоносных комплексов выражена испарением с уровня грунтовых вод и водоотбором (скважинами). Около 5% от расходной части поступает в акваторию Каспийского моря. Надо отметить, что наши воды можно использовать практически не очищая, но варварская эксплуатация может привести к потере столь бесценного минерального сырья, как это происходит во всем мире.

Такая же участь грозит и подземным водам, если их добыча будет бесконтрольной и хаотичной. Проблем с водой в Дагестане много, но в данный момент мы хотим обсудить вопрос рационального использования подземных вод, а именно вод Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ).

На рисунке 2 показана карта-схема размещения одного из самых крупных месторождений подземных вод в Республике Дагестан и, в частности, ТКАБ, расположенного на севере нашей Республики.

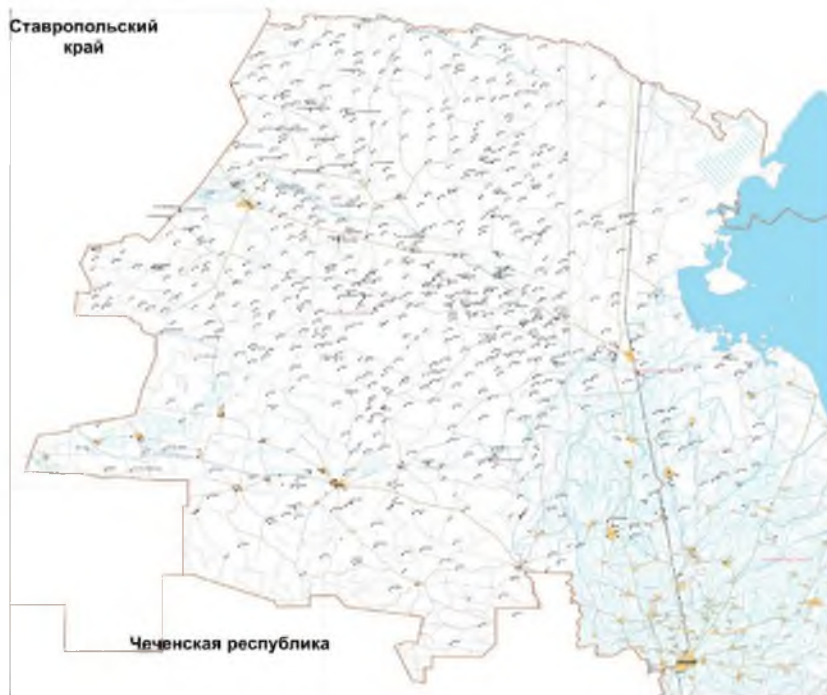


Рис. 2. Карта скважин подземных вод в Республике Дагестан

На рисунке 3 показан геологический разрез и уровни где расположены основные водные ресурсы (апшеронский, бакинский и хазаро-хвалынский).

Гидрогеологический профиль

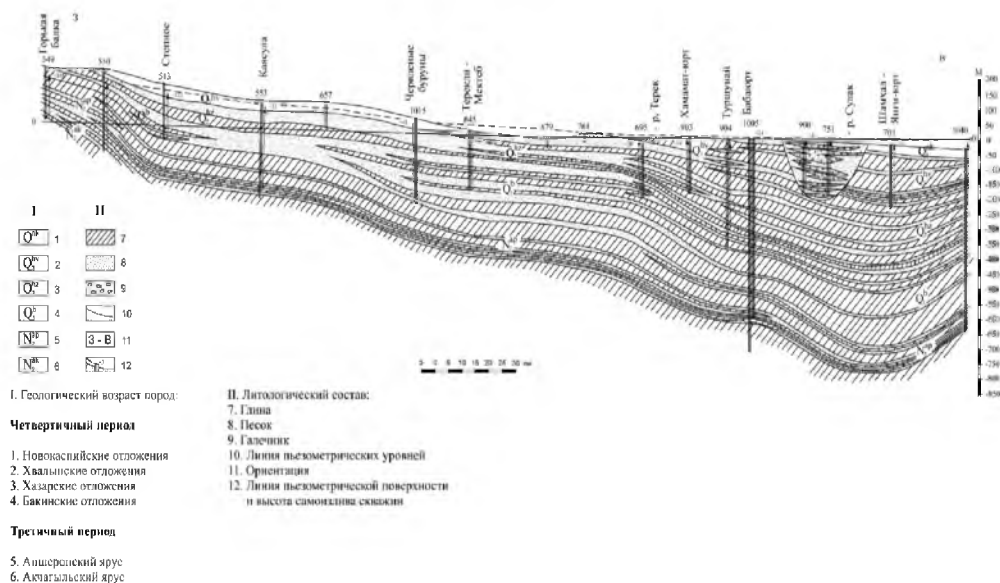


Рис. 3. Геологический профиль ТКАБ (Курбанов М.К.)

Однако наличие данного месторождения никак не снимает напряженности в этом районе с обеспеченностью питьевой водой населения. Учитывая важность столь драгоценного дара природы в свое время в соответствии с техническим заданием, подписанным руководством Министерства природных ресурсов и экологии РД, Институт геологии ДНЦ РАН выполнял работы в северной части территории республики.

Цель работ – обследование артезианских скважин Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ) в пределах Ногайского и Тарумовского районов вода которых используется для питьевого и хозяйственного пользования.

Основанием для проведения инвентаризации всего артезианского бассейна в пределах республики послужило крайне неудовлетворительное состояние артезианских скважин, хозяйственная деятельность, точнее бесхозная, а самое главное – наличие в этих водах химических элементов, вредных для здоровья человека. На рисунке 4 представлена карта загрязнения Северо-Дагестанского артезианского бассейна [12-14]. В первую очередь, мы обследовали районы вблизи поселений или кутанов, поскольку именно там необходимо решать проблему с обеспечением питьевой водой. Объем работ предстоял большой. Огромная территория, множество скважин, сложная местность. Для того, чтобы не пропустить ни одну из скважин на обследуемой территории, мы разбили ее на квадраты, сторона которого соответствовала одному километру. Почему такая высокая точность? Все дело в том, что в архивах привязка скважин в то время осуществлялась к местности (дерево, куст, кутан, овраг и т.д.), сейчас же найти эти отметки, просто не реально. Сотрудникам приходилось просто прочесывать исследуемую территорию, и обнаружив скважину, отмечать ее с помощью GPS, с последующим занесением координат в базу данных.



Рис. 4. Обзорная карта содержания мышьяка в подземных водах СДАБ (Курбанов М.К.)

Это достаточно трудная и кропотливая работа, поскольку необходимо не только уточнить местоположение скважины, но и оценить ее санитарно-техническое состояние, выяснить режим работы водозабора, цель водопользования и химический состав подземных вод.

На рисунке 5 представлены фото хозяйственной деятельности тех, кто использует воды данного артезианского бассейна, которые практически бесхозные, свободно изливаются заболачивая и засоляя территорию. В первый год работы мы обследовали Ногайский район. В первом отчете, переданном нами в Министерство природных ресурсов и экологии Республики Дагестан, указано более 600 скважин. Были отобраны пробы и определен их хим. состав. На основе полученных данных составлена гистограмма наличия мышьяка в изливающихся скважинах (рис. 6). В наибольшем количестве скважин, содержание мышьяка соответствует от 11 до 15 ПДК. И далее по возрастающей до 30-40 ПДК, правда, таких скважин меньшинство. Получив возможность продолжить работы уже в Тарумовском районе, мы дообследовали территорию Ногайского района и обнаружили еще 150 скважин. Вот почему так тщательно и скрупулезно просматриваем всю площадь. Думаю, что мы не смогли найти все скважины. Но поскольку они не изливаются, то не представляют большой опасности, хотя и их необходимо взять под контроль. Проведении работ в Тарумовском районе также проводились вблизи населенных пунктов. Причин названа выше. Отобранные пробы также показали наличие повышенного содержания мышьяка (рис. 7).



Рис. 5. Бесхозное использование артезианских вод ТКАБ

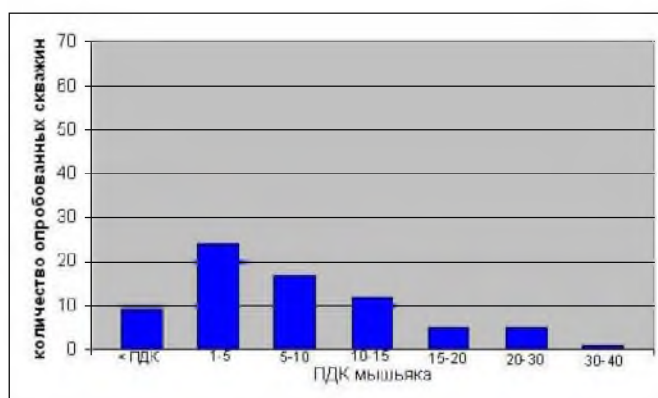


Рис. 6. Гистограмма содержания мышьяка в подземных водах артезианских скважинах Ногайского района Республики Дагестан в единицах ПДК

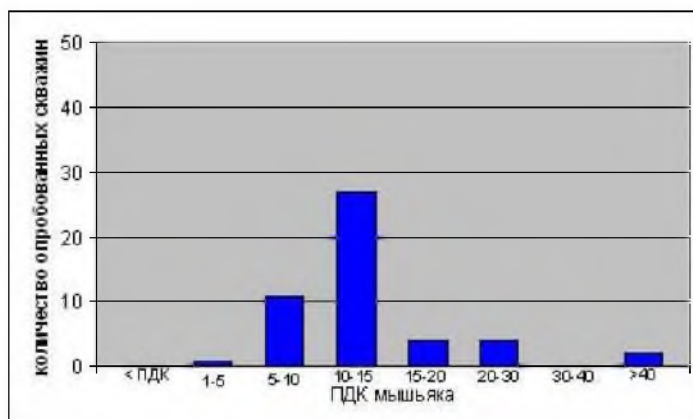


Рис. 7. Гистограмма содержания мышьяка в подземных водах артезианских скважин Тарумовского района Республики Дагестан в единицах ПДК

К сожалению, кроме мышьяка, в пробах подземных вод, отобранных в Ногайском районе, обнаружено присутствие фенола, что вероятно, связано с глубинными разломами и разработкой термальных месторождений подземных вод, а также бурением нефтяных разведочных скважин. Концентрация фенолов в большинстве проб воды составила 10-15 ПДК (рис. 8).

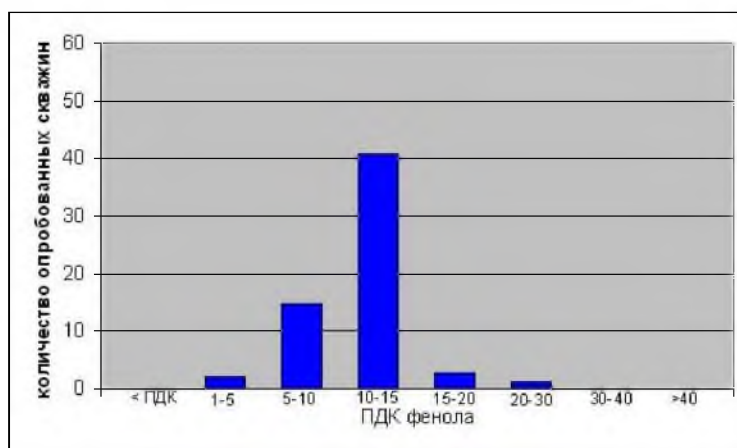


Рис. 8. Гистограмма содержания фенола в подземных водах 62 артезианских скважинах Ногайского района Республики Дагестан в единицах ПДК

Наличие мышьяка, да еще и фенола, очень опасно с точки зрения здоровья населения. Поэтому эту проблему необходимо решать срочно. К тому же установлено, что в процессе эксплуатации водозаборных сооружений изменился химический состав и гидрогеологические параметры подземных вод, а также увеличилась площадь подтопления и засоления почв. А причина банально простая, увеличенный отбор воды, выходящий за пределы эксплуатационных параметров (табл. 1).

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРА

порядковый номер

Первичный номер

номер ВГ

диаметр фильтрационной колонны, мм

интервал установки фильтрационной колонны, м от

интервал установки фильтрационной колонны, м по

диаметр фильтра, мм

интервал установки фильтра, м от

интервал установки фильтра, м до

Тип фильтра

печать

Характеристика водоносного горизонта

порядковый номер

номер ВГ

глубина появления воды, м

установленный уровень воды, м

способ изоляции ВГ

тип ВГ по условиям залегания

коэф фильтрации, м/сут

коэф водопроницаемости, м²/сут

коэф водоупорности, м²/сут

коэф пьезопроводности, м²/сут

коэф водоотдачи

печать

Рис. 10. База гидрогеологических параметров артезианских скважин ТКАБ

И в заключении. Нерациональное использование подземных вод ТКАБ привело к ухудшению состава воды во многих скважинах - повышенные концентрации мышьяка и тяжелых металлов. Одной из причин является огромное количество пробуренных скважин, только зарегистрированных более 3500, не считая неучтенных, которых более 1500. Все это привело к нарушению гидрогеологического режима, что по всей вероятности и послужило загрязнению бассейна. Кроме этого, свободно изливающие скважины загрязняют и заболачивают всю территорию, нанося огромный экологический ущерб. Необходимо срочно принимать меры по составлению кадастра всех скважин на данной территории, определить какие скважины еще можно использовать для питьевого водоснабжения попутно определив необходимую потребность в питьевой воде каждого поселения этого района, что позволит выяснить какое количество артскважин необходимо оставить для потребителей. Кроме этого, с целью рационального использования водных ресурсов необходимо также закрепить все источники воды (скважины) за соответствующим органами власти в этом районе. Ряд скважин необходимо законсервировать, если таковые еще могут быть использованы в дальнейшем, а оставшиеся необходимо ликвидировать, что позволит самой природе восстановить этот бесценный артезианский бассейн и сохранить его для будущих поколений.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808495-2-1.5.13.

Литература

1. Боровский В.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Киев: Выща шк., 1989. 407 с.
2. Генезис мышьяка в ресурсах пресных подземных вод Северо-Дагестанского артезианского бассейна. Отчет по выполнению гранта РФФИ. Рук. проекта Курбанов М.К. ИГ ДНЦ РАН. Махачкала, 2003.
3. Информационный бюллетень за 2006 год о состоянии геологической среды на территории Республики Дагестан. Вып. 9. Махачкала, РЦ «Геомониторинг», 2007.
4. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2010г. Вып.14. Махачкала, ГУП «РЦ Дагестангеомониторинг», 2011.

5. Кондаков В.М., Газалиев И.М., Курбанова Л.М. и др. Прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод в Предгорном Дагестане // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 2 (91). С. 94-101.
6. Кондаков В.М., Курбанов М.К., Самедов Ш.Г. Ресурсы пресных подземных вод Дагестана и оценка их загрязнения // Геоэкологические проблемы освоения и охраны ресурсов подземных вод Восточного Предкавказья. Материалы научно-практической конференции. Вып.49. Махачкала, 2003. С. 12-19.
7. Кондаков В.М., Мамаев С.А., Газалиев И.М., Мамаев А.С. К математическому моделированию пресных подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ) в пределах Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2022. № 2 (89). С. 46-51.
8. Курбанов М.К. Гидрогеоэкологическая программа «Родник. Ресурсы подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна и пути их рационального использования, предотвращения процессов загрязнения и истощения» на 2003-2008 гг. // Геоэкологические проблемы освоения и охраны ресурсов подземных вод Восточного Кавказа. Мат-лы научно-практ. конф-и ИГ ДНЦ РАН. Вып. 49. Махачкала, 2003.
9. Курбанов М.К. Северо-Дагестанский артезианский бассейн. Махачкала: Дагкнигиздат, 1969. 92 с.
10. Мамаев С.А., Кондаков В.М., Газалиев И.М. и др. Базы данных скважин Терско-Кумского артезианского бассейна для 3-d моделирования на современных геоинформационных системах // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2022. № 3(90). С. 18-27.
11. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (методические рекомендации по проведению второго этапа работ) / Гидрогеологическая научно-производственная и проектная фирма «ГИДЕК». М., 1995. 72 с.
12. Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. Экологическая эпидемиология. М.: АСАДЕМА, 2004.
13. Абдулмуталимова Т.О. Проблемы рационального использования подземных вод в качестве источников питьевого водоснабжения (на примере Республики Дагестан) // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН, 2022, С.52-56. DOI 10.33580/2541-9684-2022-89-2-52-56 (ИФ 0,192)
14. Газалиев И.М., Самедов Ш.Г. Техногенные аспекты загрязнения подземных вод Предгорного Дагестана // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XII. М.: ИИЕТ РАН, 2022. С 371-375.

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДЧАТОГО ОСНОВАНИЯ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

© Н.Ш. Яндарбиев, П.Н. Мельников, М.И. Шадиев, Н.И. Немцов

ВНИГНИ, Москва

Аннотация. В работе дана характеристика результатов литолого-петрографических и минералого-геохимических исследований пород палеозойского складчатого основания Восточного Предкавказья. Сделан вывод о геодинамических и палеогеографических условиях накопления палеозойских отложений в одном из рукавов палеозойского океана Тетис, напоминающего аналог современной андийской окраины Тихого океана.

Ключевые слова: Восточное Предкавказье, палеозойское складчатое основание, литолого-петрографические исследования, Тетис, условия осадконакопления.

В условиях значительной истощенности выявленных углеводородных запасов осадочного чехла в пределах старейшего нефтегазодобывающего региона страны – Предкавказья – актуальными становятся работы по оценке возможных перспектив нефтегазоносности складчатого основания региона.

В последние десятилетия сотрудниками ВНИГНИ и МГУ выполнены разносторонние исследования по литолого-петрографическому, минералого-и органо-геохимическому изучению пород доюрского складчатого основания Восточного Предкавказья [1, 2, 3, 6]. В процессе многолетних буровых работ палеозойские отложения на территории Центрального и Восточного Предкавказья вскрыты более чем в 200 скважинах на 78 площадях (рис. 1).

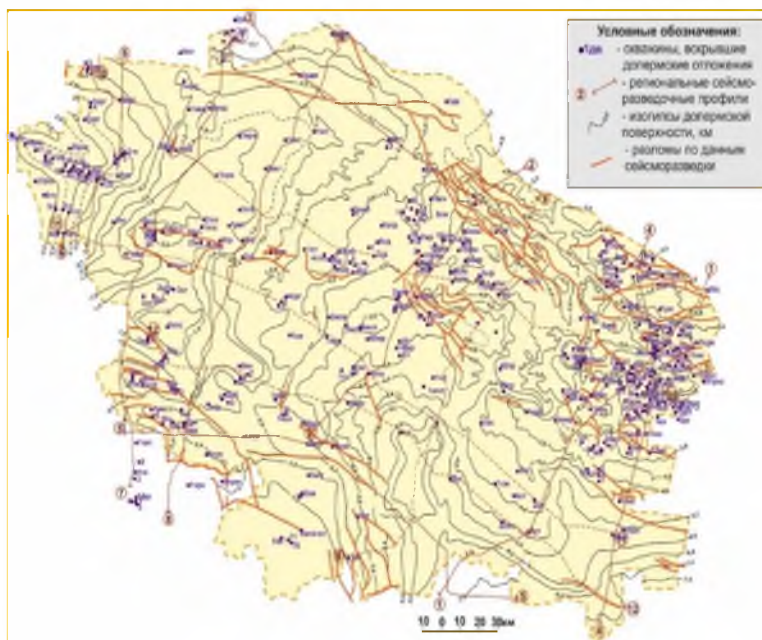


Рис. 1. Схематическая карта изученности палеозойских отложений Восточного Предкавказья

Условные обозначения к рис. 1:

сокращенные названия площадей глубокого бурения: ар – Арбагинская, бс – Батырская, вс – Веселовская, всл – Восточно-Славяновская, гзс – Газинская, гп – Григорополисская, дет – Достлукская, зс – Зимнеставкинская, кмв – Кавминводская, клс – Каясулинская, кчб – Кочубеевская, лг – Лысогорская, мч – Манычская, нгт – Нагутская, нж – Надеждинская, нд – Надзорненская, ос – Озек-Суатская, печ – Подсолнечная, едж – Саджойская, сн – Северо-Нагутская, ерг – Сергиевская, тм – Тимуровская, уж – Урожайненская, фд – Федоровская, чрк – Черкесская, эб – Эбелекская

I – Западно-Ставропольская впадина: I, – Ладовский прогиб. I, – Расшеватский выступ. I, – Григоропопиская моноκлиналь. I, – Темижбекский прогиб: II – Ставропольский свод: II, – Приманычский прогиб. II., – Северо-Ставропольский выступ. II, – Ставропольско-Казинский грабен. II, – Сенигилевская седловина. II, – Польская терраса, II, – Сергиевская терраса. II, – Южно-Ставропольская структурная зона; III – Восточно-Кубанская впадина: III, – Беломечетский прогиб: IV – Северная моноκлиналь Центрального Кавказа: IV, – Минераловодский выступ. IV, – Кисловодская ступень; V – Восточно-Ставропольская впадина: V, – Чернолесский прогиб; VI – Терско-Каспийский передовой прогиб. VII – зона Манычских прогибов: VII, – Гудиловский прогиб. VII, – Зунда-Талгинская седловина. VII, – Чограйский прогиб, VII, – Приманычская структурная зона. VII, – Арзгирский прогиб. VII, – Восточно-Манычский прогиб, VII, – Величаевско-Зимнеставкинская структурная зона; VIII – Прикумская система поднятий: VIII, – Потропавловский выступ. VIII, – Довсунский прогиб. VIII, – Кумский прогиб. VIII, – Ачикулакский вал. VIII, – Озек-Суатское поднятие. IX – Ногайская ступень: IX, – Степновская терраса, IX, – Березкинский прогиб. IX, – Орто-Тюбинское поднятие

В рамках данной работы нами были выполнены следующие лабораторные виды исследований:

- Макроскопическое описание образцов кернов. Каждый образец коллекции подвергнулся тщательному визуальному описанию с характеристикой текстурно-структурных особенностей строения, минерального состава, физических свойств, включений и вторичных изменений пород.
- Микроскопические исследования петрографических шлифов.
- Рентгено-структурный анализ порошковых препаратов.
- Рентгено-флуоресцентная спектрометрия.

Анализ петрогенных и микроэлементов выполнен методом рентгено-флуоресцентной спектрометрии на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании Philips Analytical B. V. (Нидерланды) в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии Наук (ИГЕМ РАН).

Результаты исследований и выводы

Анализ и обобщение результатов литолого-петрографических исследований позволяет сделать вывод о том, что большинство изученных образцов представляют собой сильно преобразованные терригенные осадочные породы, чередующиеся по разрезу. Как правило, это серые и темно-серые аргиллиты с матово-блестящими, исштрихованными поверхностями сланцеватости. Наклон поверхности сланцеватости до 75° к оси керна. Участками отмечается тонкая параллельная и линзовидная слоистость (от 0,2 до 10 мм), ориентированная к оси керна под углом около 80° . Встречаются тонкие прослои углисто-глинистых пород с более ровными поверхностями сланцеватости. Отмечаются присыпки тонкокристаллического пирита, возможно

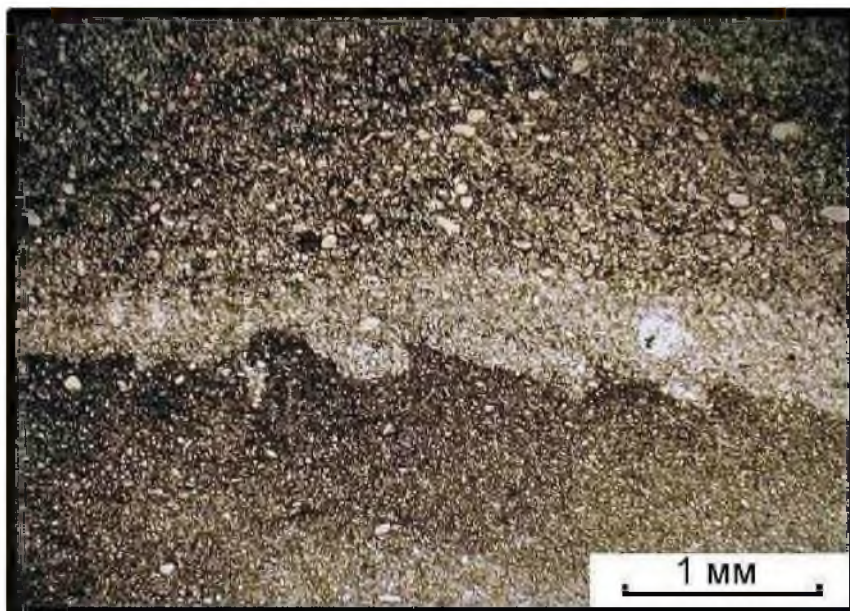
послойные. Наблюдаются многочисленные пологие и крутые, прямые и изогнутые волосовидные трещины, возможно, разных генераций. Песчаники серые, мелко- и тонкозернистые, плотные, массивные, глинистые, косослоистые, слабо слюдистые. Косая слоистость иногда маркируется послойной пиритизацией. Иногда отмечаются более крупные рассеянные кристаллы пирита размером 1-4 мм. Порода разбита ориентированными под острыми углами к оси зерна жилами нескольких генераций, представленных баритом, цеолитом или бурым доломитом. Алевролиты также темно-серые и серые, плотные, массивные, глинистые, с неровным изломом, тонкослоистые.

Карбонатные породы представлены мраморизованными известняками светло-серыми, средне-мелкозернистыми. Сланцеватость выражена в ориентировке тонких линзочек (1-3 мм) светло-серого и белого цветов, почти параллельных поперечному сечению зерна, по примеси слюдистого материала. Отмечаются мелкие включения пирита (ок. 0,2-0,3 мм). Прожилки кальцита, толщиной 2-6 мм, ориентированы под углом около 30° к поперечнику зерна. Структура гетерогранобластовая, гипидиоморфная. При преобладании (около 60-70%) мелко-тонкокристаллической массы (0,05-0,12 мм, редко до 0,25 мм) присутствуют отдельные кристаллы и полисинтетические двойники размером 0,5-0,8 мм и сложенные ими неправильно-линзовидные обособления длиной до 5 мм. Присутствуют редкие чешуйки обломочных слюд (мусковита). Отмечаются мелкие (0,25x0,03 мм) линзовидные облачные скопления тонкокристаллического пирита.

Анализ полученных данных позволяет предполагать, что накопление палеозойских отложений происходило в условиях водного бассейна, вероятнее всего, морского, с умеренно крутыми уклонами дна. Водная среда характеризовалась в целом спокойной гидродинамикой и существованием дефицита кислорода в придонной части и осадке, с установлением в осадке дезоксических, реже - аноксических условий, что способствовало образованию пирита и сохранению органического вещества. В пользу того же свидетельствует редкое появление в породах следов жизнедеятельности илоседов типа *Nereites* следов организмов, устойчивых к недостатку кислорода и характерных для сравнительно глубоководных условий.

Поставка материала в область осадконакопления осуществлялась реками, и материал не подвергался длительной переработке в прибрежной зоне, в результате чего окатанность песчаного материала сильно варьирует и в среднем соответствует средней. В переносе материала внутри бассейна(ов) осадконакопления принимали участие гравитационные потоки разной силы, с которыми могло быть связано образование градационной и конволютной слоистости и язычковых микромеханоглифов (рис. 2). Палеозойские отложения, пройденные скважиной № 95 на площади Зимняя Ставка, представлены переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Кластические породы (песчаники и алевролиты) характеризуются довольно хорошей сортированностью материала и тончайшей слоистостью. При этом наиболее часто встречаются косая, перекрестная и параллелеподобная слоистость. Минеральный состав пород чрезвычайно однородный. По данным дифрактометрического анализа в них основную роль играют три минерала – кварц, иллит и гидрослюда - при незначительной примеси плагиоклазов и калиевых полевых шпатов. В составе песчаников и алевролитов преобладает

кварц (70-75%) при значительном содержании слюдистых частиц, в аргиллитах – иллит и хлорит.



Скв. Бажиган-6. Инт. 3893-3900 м. Язычковые микроэроглифы (в разрезе) в алевропелитах. Без анализатора.

Рис. 2. Фотография шлифа, скв. Бажиган-6, интервал 3893-3900 м

Подобный состав песчаников и алевролитов говорит о том, что материнскими породами, при разрушении которых мобилизовывался осадочный материал, по-видимому, были метаморфические образования: кварциты и глинистые сланцы. Об этом же могут свидетельствовать относительно высокие содержания циркония (236 ppm). Хорошая сортированность и присутствие элементов косой слоистости позволяет предположить, что описываемые осадки аккумулировались в открытой части морского бассейна, вероятно, в нижней части подводного берегового склона на глубинах от 15 до 25 м, где они подвергались воздействию штормовых волн. В периоды длительных интенсивных штормов здесь оседал преимущественно песчаный материал, в более спокойные промежутки времени – алевроитовые частицы. Как пески, так и алевроиты формировали на дне так называемые знаки ряби, постепенно перемещавшиеся в направлении к береговой линии или от нее в зависимости от длины штормовых волн и расстояния между валами океанской зыби. Минеральные зерна с “подветренного” склона перемещались на “наветренный”, формируя при этом элементы косой слоистости. Субстратом, на котором накапливались пески и алевроиты, служили глинистые, более глубоководные илы, ныне присутствующие в разрезе в виде аргиллитов.

Восточнее, на Цудахарской площади исследованные палеозойские породы представлены темно-серыми мелко- и крупно-среднезернистыми песчаниками с массивной или неяснослоистой текстурами. Петрокласто-полевошпатово-кварцевый состав и неравномерная окатанность зерен в этих

песчаниках свидетельствует о коротком расстоянии, на которое осуществлялся перенос исходного материала от источника сноса к месту аккумуляции. По-видимому, значительное количество обломочных частиц поступало в результате абразии береговых уступов – клифов, а также при эрозии находившихся вблизи побережья горных массивов. Последние были сложены породами разного состава и возраста. На это указывает разнообразие петрокластов, встречающихся в описываемых песчаниках. Помимо обломков метаморфических и осадочных пород в них присутствуют обломки эффузивов среднего и кислого состава и фтанитов – темноцветных тонкозернистых пород, обычно обогащенных органическим веществом и фосфором (рис. 3).



Рис. 3. Фотография шлифа, скв. Цудахарская-1, интервал 5202-5206 м

Можно предположить, что палеозойские песчаники Цудахарской площади сформировались в верхней части подводного берегового склона, вдоль которого волнами и течениями разносился кластический материал. Когда он поступал из местных источников, накапливались пески относительно однородного состава. Но при сильных штормах пригонялся материал из соседних участков шельфа. Тогда состав песков становился более разнообразным: в нем появлялись обломки эффузивов, фтанитов и гранитоидов. В целом, состав петрокластов в описываемых песчаниках может свидетельствовать о том, что горная гряда, откуда поступали кластические частицы, представляла собой сложно построенную кордильеру, включавшую горно-складчатые сооружения, цепочку вулканов андезитовой линии и массивы гранитоидов. В этом отношении палеозойская горная страна походила на

современные Анды, формирующие наземную часть тихоокеанской окраины Южной Америки. Следует отметить, что песчаники подводного берегового склона, накапливавшиеся у подножия палеозойской кордильеры, включали раковинные остатки, которые в процессе катагенетических и метagenетических трансформаций подверглись растворению, а карбонат кальция перешел в состав цемента. Карбонат кальция развился также по плагиоклазам. В результате в настоящее время кристаллический кальцит составляет до 15% объема породы.

Близкий состав и внешний облик имеют палеозойские песчаники, пройденные скважиной № 1 на Достлукской площади. Это, в основном, средне-мелкозернистые разности серого цвета с массивной, косослоистой и неяснослоистой текстурами и карбонатно-глинистым цементом. Однако содержание кварца в кластической части пород значительно выше и достигает до 70-75%. По составу это полевошпатово-петрокласто-кварцевые песчаники (рис. 4). Среди петрокластов присутствуют в основном обломки метаморфических и метаосадочных пород. Реликты эффузивов отсутствуют.

Песчаники в изученном разрезе переслаиваются с алевролитами и темно-серыми до черных, аргиллитами, трансформировавшимися в метagenезе до черных сланцев. Несмотря на это в породах наблюдаются реликты исходных седиментационных текстур, в частности, параллельная и косая слоистость. Частое чередование отложений разной крупности при наличии косой слойчатости и обогащении углистым органическим веществом позволяет предположить, что исходные осадки аккумуляровались в акватории залива, куда редко проникали разрушительные штормовые волны. При этом, однако, гидродинамический режим характеризовался определенной активностью. Вероятно, в вершине этого залива располагалось устье реки, выносившей с суши не только терригенную взвесь, но также значительное количество органики, представленной растительным углефицированным детритом. Вследствие периодического выдвигания и отступления дельты реки в разных частях акватории залива происходила смена тонкодисперсных осадков кластическими и наоборот. Следы косой слойчатости указывают на то, что осадок перемещался под воздействием придонных течений и мелких волн в форме невысоких валиков и гряд на поверхности дна. Вместе они формировали знаки ряби. Под воздействием водных струй многие частицы удлиненной формы сориентировались в определенном направлении, что прекрасно видно в шлифах.

Необычен минеральный состав темно-серых, почти черных аргиллитов, залегающих в нижней части изученного разреза в скважине № 1-Достлукская (3960-3966 м). Помимо кварца (41,6 %), иллита (25,7 %) и плагиоклаза (6,5%), минералов, типичных для метаморфизованных пород палеозоя, в этих аргиллитах установлено присутствие минерала цеолитовой группы – гейландита (1,3 %), а также примеси ангидрита (0,8 %). При изучении в шлифах были выявлены микроочковые образования (размером 0,03-0,03 мм) с ядром из аутигенного пирита, с кремнистой оболочкой и оторочкой из углистого вещества. Первичной формой, из которой возникли описываемые образования, могли быть раковинки кремнестроющих организмов – радиолярий. Органическая составляющая этих фитопланктонных организмов в процессе разложения заместила пиритом, опал трансформировался в кварц и, возможно, гейландит. Присутствие ангидрита и углефицированных остатков может свидетельствовать в пользу того, что данные осадки накапливались в составе соляных маршей в глубинной части залива или осолоненной лагуны.



Рис. 4. Фотография шлифа, скв. Достлукская-1, интервал 3907-3915 м

Следует отметить, что для изученных образцов палеозойских пород достаточно характерно наличие продуктов вулканической деятельности. Так, вулканомиктовые песчаники среднего состава были описаны нами в интервале 3693-3700 м в скважине № 191 на площади Озек-Суат (рис 5), обломки андезита и пород кислого состава были зафиксированы в шлифах песчаников и метапесчаников, пройденных бурением на площади Цудахарская.

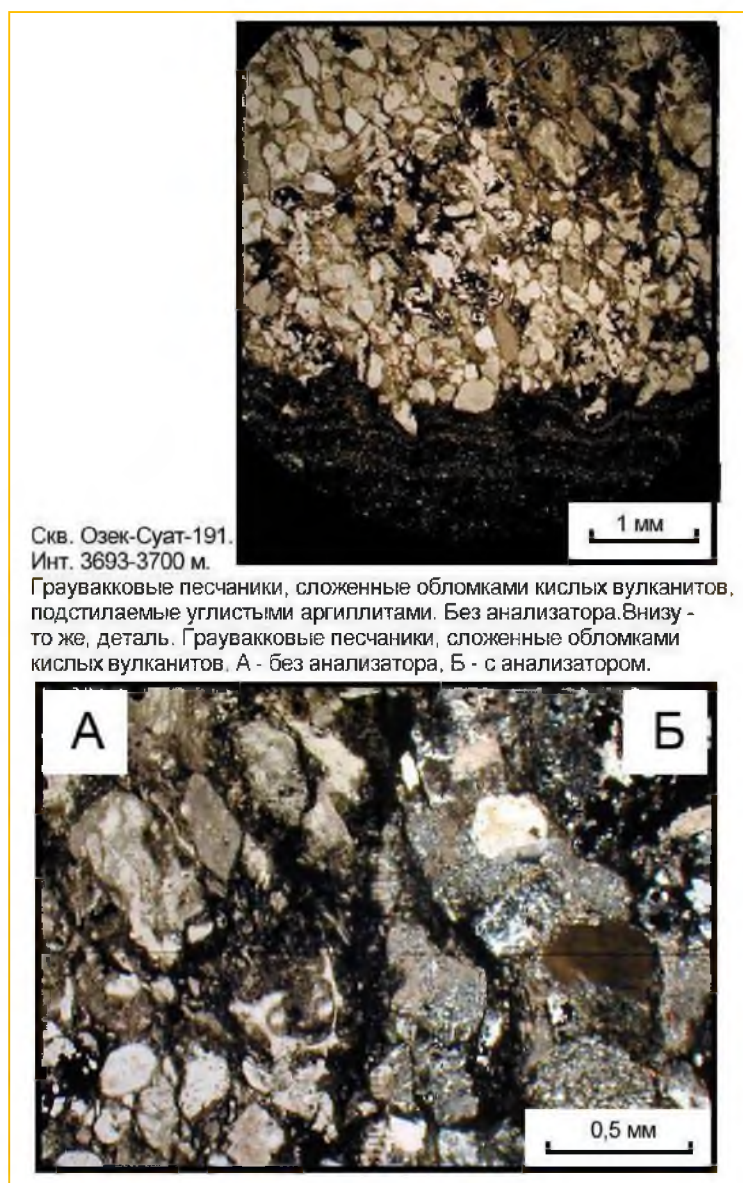


Рис. 5. Фотография шлифа, скв. Озек-Суат-191, интервал 3693-3700 м

Причем нигде не обнаружены продукты основного или ультраосновного магматизма, которыми сложена океаническая кора и офиолитовые комплексы, типичные для зон столкновения континентальных мегаблоков. Известно, что андезитово-базальтовый вулканизм характерен для зон перехода от континентов к океану с активным тектоническим режимом. К таковым относятся континентальные окраины тихоокеанского типа и островные вулканические дуги. Типичным примером современной активной континентальной окраины является тихоокеанская окраина Южной Америки, называемая еще андийской [4, 5]. Современные и мезозойские вулканические постройки располагаются здесь на древнем, докембрийском континентальном субстрате. При этом среди накапливающихся вулканических продуктов преобладают андезиты, в меньшей

степени базальты при полном отсутствии ультрабазитов и слабом распространении кислых вулканитов.

Можно предположить, что южная окраина Восточно-Европейской платформы, открывавшаяся в один из рукавов палеозойского океана Тетис, напоминала современную андийскую окраину. Впрочем, где располагались сами вулканические аппараты, выбрасывавшие продукты среднего и основного вулканизма, определить в настоящее время не представляется возможным. Вулканомиктовые песчаники обычно аккумулируются на небольшом удалении (от нескольких км до нескольких десятков км) от источника извержения, если, конечно, последнее не было катастрофическим. Образец, в котором были описаны вулканомиктовые песчаники, характеризуется очевидными аномалиями в отношении Cr (1029 ppm) и Sr (413 ppm), что, как уже указывалось, свидетельствует о глубинном характере магм, поднимавшихся к поверхности.

Таким образом, по результатам проведенных литолого-петрографических исследований изученная часть палеозойских отложений может быть отнесена к вулканогенно-терригенной формации прибрежно-шельфового и лагунного генезиса, отвечающей начальному этапу закрытия палеозойского океана Тетис. Этот процесс сопровождался воздыманием горно-складчатых сооружений в тыловой части активной континентальной окраины, протягивавшейся вдоль южной периферии Восточно-Европейской платформы.

Литература

1. Конохов А.И., Яндарбиев Н.Ш. Литология и обстановки формирования палеозойских отложений в северных районах Скифской плиты // Литология и полезные ископаемые. 2008, №1.
2. Конохов А.И., Яндарбиев Н.Ш. Реконструкция позднепалеозойских обстановок осадконакопления в Восточном Предкавказье // Материалы XVII Губкинских чтений. Москва, 2002.
3. Конохов А.И., Яндарбиев Н.Ш., Храмова Э.В. Реконструкция континентальных и морских палеообстановок позднего палеозоя в связи с обоснованием перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений. Фонды «Роснефть-Ставропольнефтегаз». 2002ф.
4. Зоненшайн Л.П., Деркур Ж., Казьмин В.Г. и др. Эволюция Тетиса // История океана Тетис. М.: ИО АН СССР, 1987. С. 104-115.
5. Зоненшайн Л.П., Ле Пишон Кс. Глубоководные впадины Черного и Каспийского морей – остатки мезозойских тыловых бассейнов // История океана Тетис. М.: ИО АН СССР, 1987. С. 74-93
6. Соколов Б.А., Дахнова М.В., Жеглова Т.П., Яндарбиев Н.Ш. Изучение генетических связей «нефть-порода» в осадочном чехле Восточного Ставрополя в связи с обоснованием палеозойского направления работ. Фонды «Роснефть-Ставропольнефтегаз». 2001ф.

**II. ГЕОФИЗИКА.
ГЕОДИНАМИКА.
СЕЙСМОЛОГИЯ**



МОДЕЛИ ПРОТЕКАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА ОЖИДАЕМЫХ МАСШТАБОВ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ

© О.Г. Бурдзиева, Д.А. Мельков, М.О. Ревазов

Геофизический институт ВНИИ РАН, Владикавказ

Аннотация. Уровень опасности геодинамической территории зависит от активности литосферы, состава осадочного чехла, взаимодействия с атмосферой и климатических изменений. Геодинамические и климатические процессы определяют состояние среды обитания и эволюцию Земли. Для оценки используются сейсмичность и пораженность территории экзогенными процессами. Цель исследования заключается в изучении причинно-следственных связей геологических процессов и оценке геоэкологического риска. В работе использованы различные методы, включая анализ геологической документации, геофизические измерения и моделирование. Зонирование геоэкологической нагрузки территории проведено на основе отношения набранной суммы рисков к возможной сумме максимально установленных рангов воздействия геодинамических факторов. Результаты зонирования представлены в виде четырех групп: нагрузка слабая, нагрузка средняя, нагрузка высокая и нагрузка регрессивная.

Ключевые слова: экзогенные процессы геоэкологический риск, зонирование

Введение

В последние годы во всем мире идет активизация опасных природно-техногенных процессов, нередко обуславливающих тяжелейшие последствия. Активизация опасных экзогенных и эндогенных процессов на Северном Кавказе и высокая плотность населения создают высокую угрозу природно-техногенных катастроф. Особую опасность в этой связи представляют сильные землетрясения, несмотря на определенные достижения в этой сфере, все еще неожиданные по появлению и разрушительные по воздействию в материальном, социальном и психологическом аспектах. Достаточно отметить землетрясение от 6 февраля 2023 года, обусловившее гибель около 55 000 людей в Турции и Сирии. В этой связи необходимо отметить, что в мире, в том числе, и в России, в настоящее время активно разрабатываются новые научные подходы и реализуются эффективные практические мероприятия с целью смягчения последствий и защиты населения от их воздействия. Это предполагает необходимость обмена результатами новейших научных исследований в области геологии и геофизики: современной геодинамики, глубинного строения, сейсмологии, гляциологии, различных проблем геоэкологии, природопользования и других фундаментальных вопросов наук о Земле.

Изучение опасных геологических процессов непосредственно связано с определением тектонических и геодинамических деформаций, формируемых высокоплотными блоками консолидированной коры и зонами нарушений в процессе оценок геоэкологического риска и безопасности территории.

На глобальном уровне существует тенденция роста экономических последствий стихийных бедствий и катастроф. Это обуславливает необходимость на более глубоком научном уровне создавать и развивать существующие научные подходы при решении проблемы безопасности жизнедеятельности населения. Необходимость оценки ожидаемого риска

опасных геологических процессов различной природы, формирующих стихийные бедствия и катастрофы, предполагает активное изучение и последующий анализ особенностей протекания опасных природно-техногенных процессов.

Цель исследования – изучение причинно-следственных связей геологических процессов различной природы и оценка геоэкологического риска их проявления.

Методы

В исследованиях использовалась методология выявления и оценки уровня и масштабов геодинамических процессов на основе изучения структурно-тектонических и литологических особенностей геологической среды. Для определения границ простираения, характеристик структурных нарушений и других задач использовались апробированные принципы организации инструментальных геофизических измерений, современные методики обработки и анализа данных, физико-математическое моделирование, теоретические и эмпирические представления о геодинамических особенностях региона. В исследованиях использовались геологическая документация в масштабах 1:5000 и 1:10 000, 1:200 000, необходимые фондовые материалы по региону, проводились анализ и обобщение данных отечественных и зарубежных источников

Уровень геодинамической опасности территории зависит от геодинамической активности литосферы (эндогенная геодинамика), литологического состава осадочного чехла, условий взаимодействия геологической среды с атмосферой, климатических изменений (экзогенная геодинамика). Геодинамические и климатические процессы определяют геоэкологическое состояние среды обитания и эволюцию Земли в целом. Критерием такой оценки рассматриваются сейсмичность (редко и тектонические подвижки) и пораженность территории экзогенными процессами [1, 11, 14], как факторы доступные человеку для исследования, но их связь остается неясной.

Состояние активности эндогенной геодинамики проявляется линеаментами глубинных тектонических нарушений кавказского простираения (контролирующие выходы минеральных источников), проявлениями землетрясений, складчатой дислоцированностью массива, трещиноватостью, геохимическими и геофизическими полями, сейсмичностью и особой индикационной характеристикой активного состояния – сейсмодислокациями.

При значительной масштабности и мощности воздействия эндогенных процессов на геоэкологическое состояние, в сравнении с экзогенными процессами, макропоследствия изменений менее выражены, однако, при рассмотрении процессов в причинно-следственной связи, четко прослеживается причинность эндогенных процессов и последственность экзогенных и локальных климатических процессов.

Геодинамическая активность проявляется эндогенными и экзогенными процессами при четко выраженном их единстве в пространственном проявлении. При значительной масштабности и мощности комплексного воздействия эндогенных процессов на геоэкологическое состояние, в сравнении с экзогенными процессами, макропоследствия геоэкологических изменений менее выражены, однако, при рассмотрении процессов в причинно-

следственной связи, четко прослеживается причинность эндогенных процессов относительно экзогенных процессов, проявляющихся как следствие. Причинность проявляется в подготовке современной коры выветривания комплексом длительных динамических, геофизических, геохимических воздействий и значительного ослабления инженерных качеств пород еще до обнажения на дневную поверхность и начала атмосферно-климатических разрушений экзогенными процессами [7].

Район исследований расположен в пределах северного крыла обширного сводового поднятия Большого Кавказа во внеледниковой и предледниковой зонах. В этом районе распространены разные по возрасту и простираению зоны нарушений. Различаются новейшие и современные (активные), субширотные и диагональные нарушения. Полевые работы проводились по долинам рек Терек, Гизельдон, Ардон, Геналдон, Фиагдон и Мидаграбиндон.

Камеральные и полевые работы были сконцентрированы в пределах следующих нарушений: Владикавказской флексурно-разрывной зоны, Хунзахского регионального разрыва, Цхинвал-Казбекского линеамента, зоны Главного Кавказского надвига, Центрально-кавказской зоны, Грозненской зоны поперечного разрывообразования и перестройки приповерхностного структурного плана, Садонской шовно-депресссионной зоны, Тырныаузско-Сунженского погребенного разлома, Нальчинской поперечной зоны повышенного тектонического дробления и поднятия [9]. Одним из видов исследований в южном крыле Большого Кавказа были полевые маршрутные наблюдения [8].

Основные геодинамические факторы и интенсивность их влияния на геоэкологическую ситуацию

Для количественной оценки геоэкологического воздействия геодинамических факторов сделана выборка всех проявляющихся геодинамических и климатических факторов, интенсивность воздействия каждого из которых на окружающую среду приведена по пятибалльной системе. При этом в основе ранга рассматривается не сила сотрясения, а способность того или иного геодинамического фактора к ускорению денудации пород, ослаблению их инженерных свойств, развитию четвертичных отложений, опасных геологических процессов и, в конечном счете, ускоренному изменению геоэкологической обстановки.

Максимальный ранг воздействия отдельного фактора устанавливался на основе методологии экспертных оценок [3, 4] в виде учета массопереноса (обвалы-осыпи, сели, оползни и т.п.), ландшафтно-геоморфологических изменений (подвижки ледников, сход лавин), длительных или краткосрочных ожидаемых последствий (тектонические, вулcano-плутонические проявления, землетрясения, сейсмодислокации). Принято, что воздействие на геоэкологическую ситуацию N факторов, каждая интенсивностью в один ранг или единичный ранг соответствует наименьшему влиянию фактора на геоэкологическое состояние, а уровень 5 ранга – наибольшему по аналогии с работами Заалишвили В.Б. [5, 6].

Для расчета риска R реализации воздействия использовалось следующее соотношение [7, 13]:

$$R = W \times D \quad (1)$$

где: W – суммарное, максимально возможное воздействие всех учтенных факторов $W = \sum W_{\max i}$, ранг;

D – уязвимость или геоэкологическое состояние конкретной локальной площадки, ранг.

R_i – риск проявления воздействия отдельного фактора W_i и реакция локальной площадки на воздействие данного фактора D_i , соответственно,

$R_i = W_i \times D_i$, ранг.

$$R = \sum R_i \quad (2)$$

Необходимо отметить, что при оценке весового вклада геодинамического фактора, элемент субъективизма присутствует, однако чем больше факторов используются в комплексе, тем более суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

На основе анализа результатов изучения комплекса геодинамических факторов, наблюдаемых на территории проектируемого комплекса, были разработана специальная таблица [7]. Ранжирование исследуемой территории и округа (порядка 200 кв. км) по действующим на рассматриваемой площадке факторам. По результатам полевых исследований на площадке были выделены 26 геодинамических факторов эндогенного, экзогенного и климатического вида. Площадка была условно разделена на единичные площадки (квадраты 2х2 кв. км), суммарное число которых составило 40 квадратов (таблица 1).

В таблице 1 приведены количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние площадки, обусловленных литологическими, геоморфологическими, эндогенными, экзогенными геологическими и природно-климатическими факторами.

Таблица 1

Количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние территории

№ п/п	Виды воздействия	Уровень воздействия			
		Слабый	Средний	Высокий	Регрессивный
1	2	3	4	5	6
1	Землетрясения в ближней зоне ($R=50$ км), сейсмическая интенсивность, баллы	<6	6-7	7-8	8-9
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений, в км/км ²)	0,01	0,02	0,03	0,04
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение), N	1	2	3	>3
4	Зона развития трещинной тектоники, км/км ²	0,03	0,05	0,07	>0,07
5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических,	3	4	5	6

	геохимических полей в радиусе действия событий: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50, R, км				
6	Зоны проявления событий сейсмодислокаций в пределах структурного блока, N	1	2	3	>3
7	Распространение четвертичных отложений в интервалах высот, H, м	1700-2000	2000-2300	2300-2600	>2600
8	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность, проценты	40	50	60	>60
9	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения, h, м	2000-2500	2500-3000	3300-3500	3500-4000
10	Базис эрозии 500 м на высотах от 1500 и выше, h, м	1500-1700	1700-1800	1800-1900	1900-2000
11	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже, h, м	1300-1500	1100-1300	1000-1100	>1000
12	Рельеф с углами наклона до 15° по генетическим типам грунтов, процессы	обвалы-осыпи	морены	сели	оползни
13	Рельеф с углами наклона 15-20° по генетическим типам грунтов, процессы	обвалы-осыпи	обвалы-осыпи	сели	оползни
14	Рельеф с углами наклона >20° по генетическим типам грунтов, процессы	обвалы-осыпи	обвалы-осыпи	сели	оползни
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при разных углах наклона рельефа, град	12-15	15-20	20-25	>25
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м, при различных углах наклона рельефа, град	12-15	15-20	20-25	>25
17	Мощность четвертичных отложений Более 12 м, при различных углах наклона рельефа, град	12-15	15-20	20-25	>25
18	Сели за год, объемом от 10 тыс. м ³ и более, N	1	3	5	>5
19	Оползни за год, объем, V, м ³	10	50	100	>100
20	Обвалы – осыпи, объем, V, тыс.м ³	75	100	150	>150
21	Плоскостной сыв, на один км ² , S, км ²	0,05	0,07	0,10	>0,10
22	Эрозионная деятельность рек «боковая эрозия», I, м/час	1,0	2,5	4,0	>4,0
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали, h, м	1,0	2,0	4,0	>4,0
24	Струйная эрозия на склонах с углами рельефа, град	20	25	30	>30
25	Карстообразование, проявления на км ² площади, N	1	2	3	>3

26	Ледники глетчеры, события паводкового типа, за год, N	1	2	3	>3

Выполнен расчет риска R_i проявления воздействия отдельного фактора с потенциалом W_i на площадку и ее геоэкологической уязвимостью D_i на соответствующий фактор. Таким образом, реализуется ранжирование рисков потенциала воздействий на геоэкологическое состояние высокогорных территорий по уровням их проявления от литологических, геоморфологических, эндогенных, экзогенных геологических и природно-климатического факторов или условий [2, 7, 10, 12, 13].

Максимальный суммарный уровень воздействий всех факторов (сумма весовых рейтингов события) при их одновременном присутствии и составляет 76 рангов. Эта величина может уменьшаться на весовой уровень геодинамического фактора не участвующего в процессе. Геоэкологическая нагрузка на квадрат оценивается по отношению набранной для исследуемой площадки суммы рисков $\sum R_i$ рангов к возможной сумме максимально установленных рангов воздействия $\sum W_{max}$, участвующих в процессе геоэкологического преобразования геодинамических факторов.

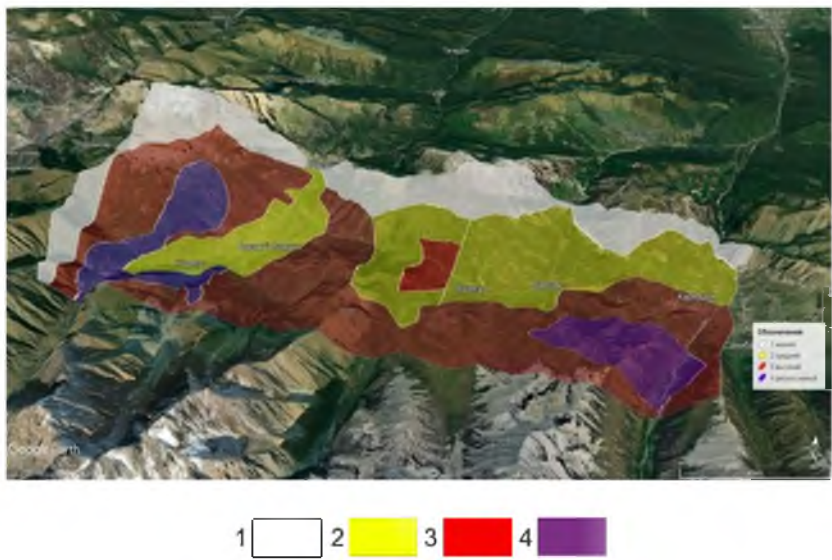


Рис 1. Карта -схема зонирования геоэкологической нагрузки территории
 Уровни геоэкологической нагрузки от геодинамических воздействий:
 1 – слабый; 2– средний; 3 – высокий; 4 – регрессивный

Зонирование геоэкологической нагрузки территории (рис. 1) проведено на основе полученных величин этих отношений, которые классифицированы в 4 группы в процентах: 0-40% – нагрузка слабая; 40-55% - нагрузка средняя; 55-70% – нагрузка высокая и выше 70% – нагрузка регрессивная и окончательные результаты расчетов представляются в виде части от целого: 0-0,4, 0,4-0,55, 0,55-0,7 и выше 0,7, соответственно [Чотчаев и др., 2021a; Заалишвили, Чотчаев, 2022].

Выводы

1. Тектонические движения, обусловленные интенсивными глубинными, в том числе, конвективными движениями, наиболее отчетливо проявляются в горных регионах, обуславливают формирование и последующее развитие напряженно-деформированного состояния всей поверхностной геологической среды, и её последующее разрушение, создающего необратимые геоэкологические изменения.

2. Увеличение геодинамической нагрузки на геологическую среду, наиболее ярко проявляющееся в горных регионах, является отчетливым маркером развития опасных геоэкологических процессов на исследуемой территории.

3. Из полевых наблюдений изучения новейшей тектоники и современной геодинамики Центрально-кавказской зоны можно сделать следующие выводы:

а) Вся зона является тектонической дислокацией двух микроплит и двух структурно-тектонических зон, что обуславливает сильную раздробленность территории с преобладанием локальной тектоники, а приуроченность садонской шовно-депрессивной зоны вкупе с геолого-геоморфологической предопределенностью территории является маркером активизации опасных экзогенных процессов.

б) Изменение структурных и геодинамических условий в зонах нарушений сопровождается интенсивным проявлением обвально-осыпных, оползневых и селевых процессов. Особенно активны процессы на пересечении широтных новейших поднятий и прогибов с диагональными зонами нарушений: Мизурским активным разломом, Цхинвал-Казбекским линеamentом, Нальчинской и Грозненской зонами разломов. Наличие экзогенных процессов позволило подтвердить и уточнить их локализацию.

4. Геодинамические и климатические процессы определяют геоэкологическое состояние окружающей среды и ее эволюцию. Наиболее действенным критерием такой оценки рассматриваются сопутствующая сейсмичность и пораженность территории экзогенными процессами.

5. Выполнено зонирование геоэкологической нагрузки территории.

Литература

1. Абалаков А.Д. Экологическая геология. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. С.28-32.
2. Бондаренко Н.А., Любимова Т.В., Стогний В.В. Интегральная оценка потенциальных геологических рисков Краснодарского края // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». М: МГУ, 2020. Т. 26. Ч. 2. С. 189–200. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-189-200. С. 11–17.
3. Гольцман Ф.М. Комплексирование наблюдений при распознавании геофизических объектов // Физика Земли. М.: № 7. 1976. С. 40-54
4. Гольцман Ф.М. Информационная содержательность эксперимента и учет корреляции нечисловых признаков при распознавании геофизических объектов // Физика Земли.-М.: №10. 1980. С. 71-85
5. Заалишвили В.Б., Гогмачадзе С.А., Отинашвили М.Г., Заалишвили З.В. Метод рейтинговой оценки территории для целей страхования // IV Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию с международным участием. 2001. Тезисы доклада. С. 166.

6. Заалишвили В.Б. Рейтинговая оценка урбанизированной территории для целей страхования // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2014. № 4. С. 29-36.
7. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. Влияние геодинамических процессов на геозоологическое состояние высокогорных территорий (на примере туристско-рекреационного комплекса "Мамисон" в Северной Осетии). Владикавказ: Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, 2022. 263 с.
8. Макеев В.М., Ревазов М.О., Болотаева А.Г. Структурно-геодинамические исследования южного склона большого Кавказа в районе двалетского поднятия в связи с оценкой зон нарушений / Геология и геофизика Юга России. 2022., Т. 12. № 4. С. 31-46.
9. Рогожин, А. В. Горбатилов, В. Б. Заалишвили, Степанова М.Ю., Зайцева Н.В., Харасова Ю.В. Новые данные о глубинном строении, тектонике и геодинамике Большого Кавказа // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения : Материалы XLVI тектонического совещания, Москва, 28 января – 01 2014 года. Том 2. Москва: Издательство ГЕОС, 2014. С. 125-130.
10. Стогний В.В., Стогний Г.А., Волкова Т.А., Любимова Т.В. Геозоологические риски Северо-Западного Кавказа и их оценка // Коллективная монография: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии / Под ред. А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2019. С. 768–772.
11. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология М.: ЗАО Геоинформмарк", 2002. С 376.
12. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Влияние геодинамических процессов на геозоологическое состояние высокогорных территорий // Геология и геофизика Юга России. 2020. №4. С. 70-100.
13. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Зонирование высокогорных территорий по геозоологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями // Геология и геофизика Юга России. 2021. №1 (11). С. 81-94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007.
14. Beniston M. 2005. The risks associated with climatic change in mountain regions. In: Huber UM, Bugmann HKM, Reasoner MA, editors. Global Change in Mountain Regions. An Overview of Current Knowledge. Dordrecht, the Netherlands: Springer, pp. 511–519.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – ИНДИКАТОРЫ ДИНАМИКИ ЭНДОГЕННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В ТЕКТОНОСФЕРЕ

© И.М. Васьков, З.Э. Маковозова, Ю.И. Караев

СКГМИ (ГТУ), Владикавказ

Аннотация. В статье рассматриваются современные представления об энергетических потоках в верхней мантии, формы и виды «следов», оставляемых ими при телескопировании астеносферы и литосферы. Взаимодействие энергий и, в конечном счете, их рассеивание объединяют все оболочки Земли в единое целое, формируют рельеф земной поверхности, возникший и развивающийся на границе литосферы и внешних, более подвижных, геосфер, что создает основу к развитию разнообразных ландшафтов. Именно в земной коре и подстилающей её части астеносферы при неких условиях на локальных участках происходит конденсация энергии с последующей быстрой её разрядкой, в т.ч. в виде землетрясений. Предлагается уйти от сложившегося стереотипа прогнозирования в узких отраслевых рамках с использованием ограниченного круга заранее определенных предвестников/предикторов и разработать интеграционную методологию среднесрочного и краткосрочного прогнозирования землетрясений и подобных опасных геологических процессов.

Ключевые слова: энергия эндогенная и экзогенная, конденсация энергии, разрядка энергии при разрыве горных пород, литосфера, прогноз среднесрочный краткосрочный.

Экстенсивное развитие человечества основано на использовании природных ресурсов, среди которых основными являются энергетические. Одновременно происходит увеличение численности населения планеты под лозунгом повышения качества жизни, что создаёт устойчивую иллюзию о некой «победе» человека над силами природы и её законами, в т.ч. и такими как опасные природные процессы. Иллюзии развеиваются в случаях проявления катастрофических природных событий (в т.ч. и землетрясений), в которых количество энергии, выделяемое в единицу времени, намного превышает возможности современной цивилизации.

«Энергия проявляется в различных формах движения материи, заполняющей все мировое пространство. Свойством, присущим всем видам энергии и объединяющим их, является способность каждого вида энергии переходить при определенных условиях в любой другой ее вид в строго определенном количественном соотношении. Название этого свойства – «закон сохранения и превращения энергии» – было введено в научное обращение Ф. Энгельсом, что позволило все виды энергии измерять в одних единицах. В качестве такой единицы принят джоуль ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$)» (*конец цитаты*) [Плачков И. В.]

В монографии «Развитие Земли» (гл. 5 стр. 117) [Сорохтин, Ушаков, 2002.] говорится: «основными процессами, управляющими тектонической активностью Земли, могут быть только те глубинные энергетические процессы, которые в наибольшей степени снижают потенциальную (внутреннюю) энергию нашей планеты и системы Земля–Луна. При этом снижение потенциальной энергии происходит за счет ее перехода в тепло и в кинетическую энергию движения земных масс – конвекцию, движение литосферных плит, дрейф континентов, горообразование и т.д. В свою очередь любые перемещения земных масс также сопровождаются диссипацией кинетической энергии и

выделением тепла, которое приводит к частичному расплавлению вещества верхней мантии или пород континентальной коры, питая тем самым своей энергией магматизм Земли. Однако, в конце концов, все это тепло постепенно теряется с тепловым излучением через земную поверхность и рассеивается в космосе».

«К наиболее мощным энергетическим процессам, развивающимся в недрах Земли, следует относить три глобальных процесса. Во-первых, это процесс гравитационной дифференциации земного вещества по плотности, приводящий к расслоению Земли на плотное окисно-железное ядро, остаточную силикатную мантию, легкую алюмосиликатную кору и гидросферу с атмосферой. Во-вторых, это распад радиоактивных элементов, приводящий к выделению существенной доли тепловой энергии. Третьим заметным энергетическим процессом является приливное взаимодействие Земли с Луной»

Эндогенные энергетические потоки: возможности определения их интенсивности

Тепловая машина «Земля» является диссипативной системой, поэтому процессы выработки преобразования, и, в конечном итоге, выхода на поверхность и рассеивания как эндогенной, так и экзогенной энергии в Космос происходят от рождения планеты Земля до настоящего времени и будут продолжаться дальше.

О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков [2002] считают, что «тепловой поток солнечного излучения, падающий на Землю, после ряда преобразований в атмосфере, гидросфере, биосфере и приповерхностных слоях земной коры частично консервируется в осадочных толщах Земли в форме залежей горючих полезных ископаемых, но в еще большей мере почти полностью отражается Землей обратно в космос. Солнечное излучение активно влияет лишь на протекание экзогенных процессов – выветривание пород, поверхностный перенос продуктов их разрушения, осадконакопление, образование месторождений горючих полезных ископаемых и, конечно, на развитие земной жизни».

Взаимодействие энергий и, в конечном счете, их рассеивание объединяют все оболочки Земли в единое целое, формируют рельеф земной поверхности, возникший и развивающийся на границе литосферы и внешних, более подвижных, геосфер, что создает основу к развитию разнообразных ландшафтов.

Различие реакции геосфер на воздействия эндогенной и экзогенной энергий выражается в скоростях процессов их (геосфер) преобразований, а последние в свою очередь находятся в обратно пропорциональной зависимости от плотности и вязкости среды. Не вдаваясь в подробности зарождения и преобразования эндогенной энергии в нижних геосферах Земли, мы должны признать, что эндогенный энергетический поток пересекает мантию и литосферу, а затем рассеивается в космическом пространстве. Весьма неоднородная структура энергетических (тепловых) потоков на границе ядра и в мантии Земли еще более усложняется в земной коре как океанского так и континентального типа. Литосфера на прохождение различных количеств энергии, реализуемых в виде тектонических подвижек, откликается, в т.ч.,

сейсмическими событиями, суммарная магнитуда которых коррелируется с плотностью энергопотоков.

Одними из первых свой взгляд на зарождение и механизм движения энергетических потоков во внутренней части нашей планеты представили *О.Г. Сорохтин* и *С.А. Ушаков* в монографии «Развитие Земли» [2002]. Авторы высказывают мнение, что «гравитационная (химикоплотностная) дифференциация на границе мантии и ядра является главным источником разогрева Земли».

По мнению указанных выше авторов на границе ядра и мантии происходит гравитационная дифференциация вещества по плотности с экзотермическими реакциями, приводящими к возникновению минералов различного удельного веса. Выделившееся тепло переносится к литосфере восходящими конвективными потоками мантийных плюмов. В тектоносфере (астеносфера + литосфера) тепловая энергия плюмов трансформируется в кинетическую энергию горизонтального перемещения тектонических плит с некой скоростью. В зонах спрединга (растяжения и разрыва плит земной коры океанского типа с увеличением её площади) тепло мантийных плюмов непосредственно передается океанской воде с последующим её (энергии) переходом в атмосферу. По мнению *О.Г. Сорохтина* и *С.А. Ушакова* [2002] через океаническое дно теряется более 92% эндогенного (мантийного) тепла Земли. Сокращение площади земной коры приводит к увеличению её мощности в зонах субдукции и коллизии. Кинетическая энергия трансформируется в потенциальную энергию высокогорных систем и в тепловую энергию трения при формировании взбросо-надвигов в геодинамических условиях сжатия, а также в энергию ряда геофизических полей: сейсмического, электромагнитного, акустического, гидрогеодинамического и т.д.

Несколько ранее (1996, 2001 гг.) *Н. Л. Добрецов* и *А. Г. Кирдяшкин* [2001] предложили детальную схему мантийных течений (энергетических потоков) для верхней мантии Земли, которая показывает, что на основание тектоносферы воздействует преимущественно горизонтальная составляющая энергетических потоков, (рис. 1).

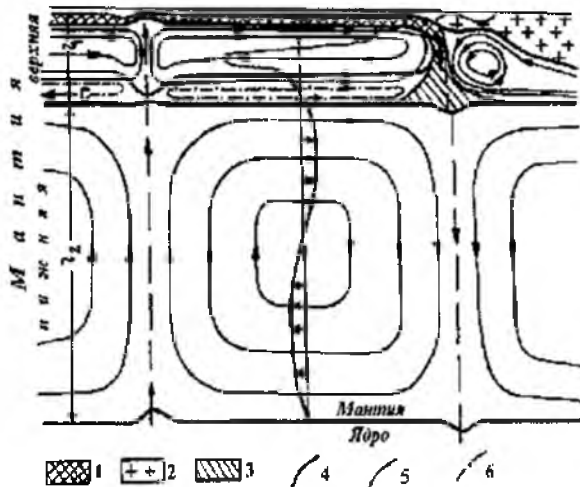


Рис. 1. Схема мантийных течений, по *Н. Л. Добрецову*, *А. Г. Кирдяшкину*. [1996]. Граница химического и фазового переходов на глубине 670 км разделяет ниже- и

верхнемантийное конвективные течения, 11 — толщина верхней мантии, 12 — толщина нижней Мантии:

1 — океанская литосфера; 2 — континентальная литосфера; 3 — субдуцировавшая плита и возможные реститы; 4 — граница литосферы; 5 — течения в астеносфере и нижней мантии; 6 — возможные течения в переходной зоне «С»

Относительная разнонаправленность горизонтального перемещения потоков энергии в астеносфере и, что особенно важно, в литосфере обуславливает наличие главных типов геодинамических обстановок — растяжения и сжатия, действие которых породило основные виды межплитных границ — дивергентные, конвергентные и трансформные.

На своём пути к поверхности Земли энергетические потоки перемещаются из относительно гомогенной среды нижней мантии в гетерогенную геологическую среду верхней мантии астеносферы и литосферы, гидросферы и атмосферы. Фракционирование вещества верхних геосфер является следствием как общего уменьшения температуры и литостатического давления, так и проявлением разнообразных по видам и размерам тектонических процессов непосредственно в земной коре как следствие прохождения потоков энергии разнообразных типов.

Именно в земной коре и подстилающей её части астеносферы при неких условиях на локальных участках происходит конденсация энергии с последующей быстрой её разрядкой, в т.ч. в виде землетрясений, наиболее разрушительные из которых отмечены трагическими страницами в истории человечества.

Сейсмическими наблюдениями определяется время, магнитуда и пространственное положение гипоцентров (фокусов) землетрясений в земной коре и астеносфере с интенсивностью 2 и более баллов по шкале МСК. На рис. 2 представлен результат совмещения цифровой модели рельефа Кавказа и положения гипоцентров сейсмических событий, зафиксированных в 2005-2010 годах локальной сейсмической сетью Северной Осетии.

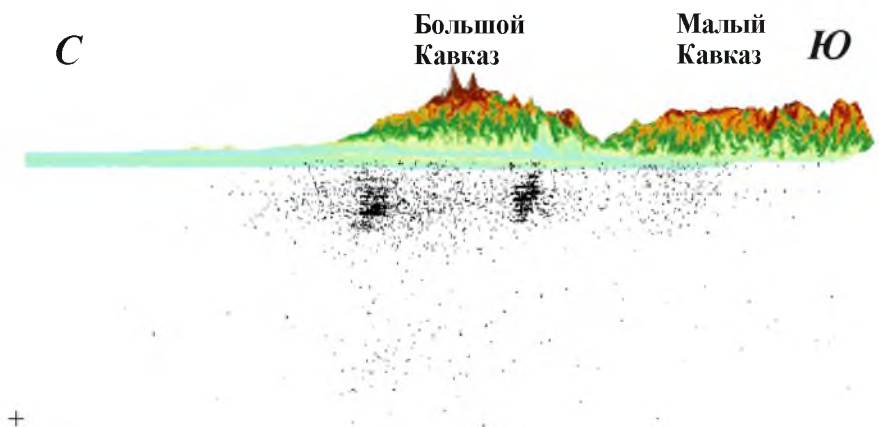


Рис. 2. Проекция на меридиональную вертикальную плоскость положения гипоцентров землетрясений в пределах Большого Кавказа.

Вид с запада на уровне нулевой отметки. Видны рои точек, гипоцентров землетрясений до глубины 80 км, которые соответствуют разрядке геодинамических локальных напряжений в верхней части литосферы и отмечают прохождение «энергетических

потоков». Хорошо различаются рои точек гипоцентров землетрясений, имеющих выраженные форму, склонение и внутреннюю структуру. Рои точек приурочены к наиболее мобильным зонам хребтов Большого и Малого Кавказа

По положению в пространстве гипоцентров землетрясений в пределах северного склона Большого Кавказа и примыкающей к нему с севера Скифской плиты, смене степного ландшафта на горный и высокогорный, можно, достаточно уверенно, провести северную границу Кавказского энергопотока (рис.3).

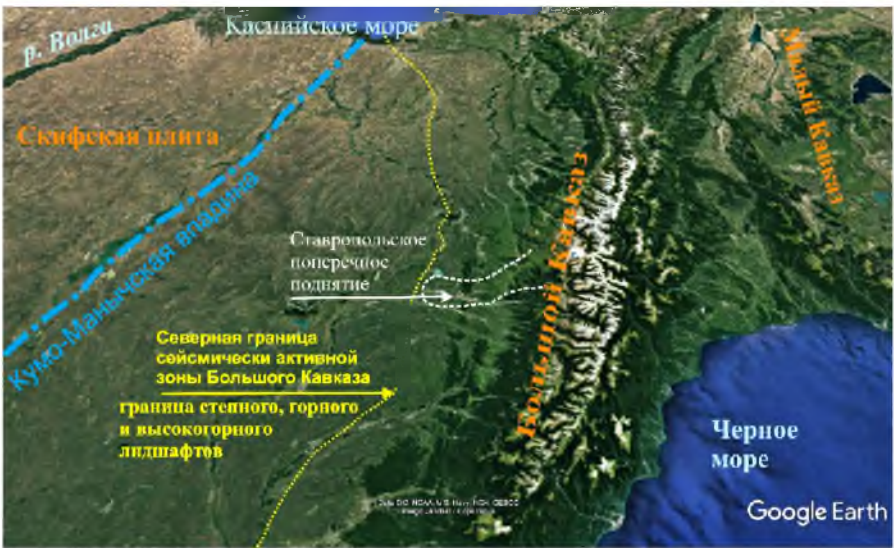


Рис.3. Соотношение степных и горных ландшафтов в пределах южной части Скифской плиты и северного склона Большого Кавказа. (Google Earth. 14.12.2015г.).

Северная граница общекавказского энергетического потока (сейсмически активной зоны) также разделяет типичные степные и горные ландшафты

В какой-то мере выходы потоков энергии на поверхность литосферы отражают карты сейсмического районирования, но эта информация носит статический качественный характер и не отражает динамику эндогенных энергопотоков во времени, [СП 408.1325800.2018].

Поскольку предвестники землетрясений, сами события и завершающие афтершоки фиксируются в виде физических полей, то и изучение их, в т.ч. в целях прогнозирования, производилось и производится физическими методами в рамках физико-математической методологии.

Одним из основателей сейсмологии как науки, в начале XX в. был Б.Б. Голицына. Именно им в 1906 г. в Пулкове была основана Центральная сейсмологическая станция.

С тех пор научным мировым сообществом выполнен гигантский объем наблюдений, исследований и расчетов, обработаны миллиарды единиц информации, а В.В. Кузнецовым [2011] выработано определение “Прогноз землетрясений”: “Утверждение, называемое “прогнозом землетрясения”, должно быть таким же недвусмысленным, как пари на скачках. Если объявляется прогноз землетрясения, то время, место и его магнитуда должны быть обозначены однозначно и не двусмысленно. Прогноз может считаться

успешным только в том случае, если положение эпицентра, время и магнитуда землетрясения точно попадают в заранее объявленное “окно (announced windows)”. Отсюда делается вывод что: **«В настоящее время не существует ни одного надежного метода прогноза землетрясений. Более того, это вообще невозможно сделать, не достигнув ясного понимания физики землетрясения. Проблема физики землетрясения не нашла своего решения и это остается одной из важнейших задач физики Земли»** [Кузнецов, 2011].

Причем мнения исследователей сейсмологов и геологов о возможности точного прогноза землетрясений, в общем, совпадают. Ниже приводятся некоторые из них.

- В.И. Уломов [1993, 2006]: «Что касается среднесрочного и краткосрочного прогнозирования времени возникновения землетрясений, то здесь хуже всего дело обстоит с краткосрочным прогнозом, несмотря на накопленный в течение многих десятилетий обширный экспериментальный материал по самым разнообразным предвестникам, во многом иллюзорным».

- Н.В. Короновский [2013]: «Традиционная стратегия прогнозирования катастроф сводится к выявлению отчетливой аномалии-предвестника, порожденной, например, концентрацией напряжений у окончаний, изломов, взаимопересечений разрывов. Чтобы стать достоверным признаком приближающегося толчка, такая аномалия должна быть единичной и контрастно выделяющейся на окружающем фоне. Но реальная геосреда устроена по-другому. Под нагрузкой она ведет себя как грубо- и самоподобно-блочная (фрактальная). Это делает бесперспективной *традиционную (выделено авт.)* тактику решения проблемы. Требуемые практикой надежность и точность краткосрочных прогнозов конкретных событий остаются недостижимыми»

В США [Целиков, 2013] фонд Global Earthquake Model (GEM) «в целях развития науки прогнозирования землетрясений и более систематического и открытого подхода к дисциплине, разбитой на разрозненные методы, пересмотрели мощность и расположение около тысячи землетрясений, начиная с 1000 г., в соответствии с новыми универсальными критериями. Современные алгоритмы позволили также пересчитать сейсмограммы 20 тыс. землетрясений последних 100 лет. В поисках причин землетрясений другие геофизики произвели переоценку движения тектонических плит Земли, измерив скорость деформации на границах плит. В целом учтено 20 тыс. движений по данным 70 тыс. сейсмических станций.

Результаты обсуждения этих и других материалов на конференции Reveal 2013 в Павии (Италия) следующие.

О точных предсказаниях речь, конечно, не идет. Пока исследователи осторожно говорят о развитии более эффективных способов расчета сейсмической опасности в ближайшие 50 лет с соответствующей оценкой вероятности возможных жертв и экономических потерь» (*конец цитаты*)

6 февраля 2023 года с интервалом в девять часов на юго-востоке Турции произошли два мощных землетрясения с магнитудой 7,8, и 7,5 и на вопросы о возможности прогноза данного события представители организаций сейсмического наблюдения разных уровней дружно ответили, что краткосрочный прогноз невозможен.

Дискуссия о физике землетрясений

До сих пор большинство сейсмологов не принимают во внимание выводы Б.Б. Голицына [1915] по результатам изучения Памирского землетрясения 1911 г., а именно его мнение что: «Величина энергии в эпицентре, определенная на основании наблюдений Пулковской сейсмической станции составила: $E = 4,3 \cdot 10^{23}$ С. Г. С. В то же время количество энергии E , выведенное на основании данных Вебера, полученных из измерения обвала составляет $E = (2,1-6,0) \cdot 10^{23}$ С. Г. С. Мы видим, что обе эти величины безусловно того же самого порядка и даже в числовом отношении мало отличаются друг от друга.

Этот совершенно неожиданный результат представляет особый интерес, так как из него вытекает следствие первостепенной важности. Не касаясь совершенно вопроса, отчего произошел самый обвал горы, мы можем с большой степенью вероятия утверждать, что этот **обвал был не следствием, а причиной того землетрясения 18-го Февраля 1911 года**, которое было отмечено на стольких сейсмических станциях. Мы имеем в этом землетрясении любопытнейший и, если я не ошибаюсь, первый случай, когда мы наперед знаем *величину энергии, освобожденной в эпицентре землетрясения (выделено авт.)*. Кроме того, это землетрясение выделяется из числа обычных землетрясений еще и той интересной особенностью, *что для него гипоцентр и эпицентр совпадают (выделено авт.)*» (конец цитаты).

Современными аналитическими исследованиями динамики геологической среды района Усойского завала, направленными на решение вопроса «отчего произошел самый обвал горы» [Васьков, 2019, гл. 7] были подтверждены энергетические показатели Б.Б. Голицына.

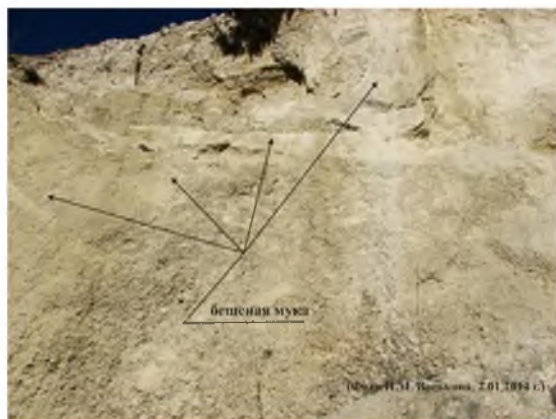
Итак, что такое **землетрясения**, происходящие на поверхности и в верхних слоях литосферы, какова их физическая сущность, как выглядят следы ранее произошедших событий или изменения геологической среды, какие процессы и явления приводят к импульсному выделению энергии? Есть ли свидетельства очевидцев подобных процессов?

Горнякам и рудничным геологам давно известно импульсное выделение энергии под названием «горный удар», под которым подразумевается «внезапное быстротекущее разрушение предельно напряженной части массива полезного ископаемого (породы), прилегающей к горной выработке. Горный удар сопровождается выбросом полезного ископаемого (пород) в горную выработку, сильным звуковым эффектом, возникновением мощной воздушной волны. На многих месторождениях, особенно рудных, возникновение горного удара вызывается наличием в массиве горных пород тектонических напряжений, превышающих по своей величине гравитационные иногда в несколько раз. В горных ударах участвует потенциальная энергия упругого сжатия пласта полезного ископаемого (пород) в очаге разрушения и энергия упругих деформаций окружающих пород» [Российская геологическая энциклопедия, 2014].

В дополнении к приведённому определению необходимо отметить явление выброса значительного количества тонкодисперсной пыли, т.н. «бешеной муки», а также то, что проявления горных ударов фиксируется сетью сейсмических станций как землетрясения различной магнитуды.

Сочетание сейсмических толчков, акустических эффектов и обильного выделения тонкой пыли – «бешеной муки» было наблюдеено и описано неоднократно, в т.ч. при крупных обвалах. Так, выделение белой пыли (бешеной муки) произошло в результате обвала, произошедшего 12 ноября 2007 г. на северной стене Айнсера в Сикстинских Доломитах (Италия). Особо отмечено, что по периферии обвальных масс машины были покрыты слоем белой пыли толщиной 10 см [Амхоф, 2007]. Имеются многочисленные описания выделений пыли («бешеной муки») при горных ударах и подземных породных выбросах. «Причем пыль это не простая, а весьма мелкодисперсная. Она выглядит как мука мельчайшего помола. Шахтеры ее и называют бешеной мукой. Такая пыль, когда ее много, ведет себя буквально как паста. И часто бывает так, что в результате выброса эта «паста» фактически запечатывает выработки прямо вместе с находящимися там людьми» [Гликман, 2002].

Несколько примеров выделения такой пыли с сейсмическими и акустическими эффектами в зонах отрыва обвальных масс отмечены в монографии В.С. Хромовских «Каменный дракон» [1984]. Книга «повествует о крупных и наиболее грандиозных (из известных на Земле) обвалах, оползнях, грунтовых и ледово-каменных лавинах».



А



Б

Рис. 4. Отложения крупномасштабных обвалов А. Кариухохский обвал, Восточный Кавказ. Скопления «бешеной муки», вскрытые в стенке карьера. (фото И.М. Васькова, 2.01.2014г.); Б. «Ударные» структуры, в заполнении «бешеной муки», в рыхлых отложениях на восточном фланге зоны аккумуляции «оползня» Флимс. (фото А.v.Poschinger [2012]).

Выделение большого количества энергии, (кинетической, волновой, тепловой) наличие «бешеной муки», обжиг известняков и другие факты свидетельствуют о проявлении процесса типа горного удара как при отрыве (отторжении) обвальных блоков, так и при «отстреле» пород в сторону горных выработок. Именно такое событие было зарегистрировано на руднике «Умбозеро», Ловозерское редкометалльное месторождение [Ловчиков, 2008]. Горный удар 17.08.1999 г. разрушил подземные выработки на площади 650 тыс. м², вызвав землетрясение с $M = 4,0-4,4$ и энергией 10^{11} Дж. Вмещающие породы Лавозерского месторождения – нефелины – по прочностным характеристикам близки к массивным известнякам Кариухохского обвала, «оползня» Флимс и Сикстинских Доломитов.

На основе не только приведённых примеров, но и обширной базы изученных событий разрывного разрушения толщ кристаллических горных пород, обладающих массивной текстурой, можно сделать следующие предварительные **выводы**:

- Накопление (конденсация) геодинамической энергии происходит в условиях *растяжения*, как в региональном, так и в локальном масштабе; при этом накопление (конденсация) геодинамической энергии происходит постепенно, а разрядка в сторону свободного пространства, горной выработки или полости раскрывшегося разлома, практически мгновенно. *Т.е. видна полная аналогия с электрическим конденсатором – накопление электрического заряда и разрядка при «пробое» изолятора.*

- Региональные растяжения и землетрясения с максимальной магнитудой и глубиной гипоцентров происходят в зонах рифтов и при погружении слэбов (пластин земной коры океанского типа) в мантию на завершающем этапе субдукции.

- Локальное накопление геодинамической энергии свойственно зонам коллизии и происходит в верхней и приповерхностной части литосферы, где растяжение пачек кристаллических горных пород происходит либо: 1. в консольных частях надвиговых блоков на поверхности, либо: 2. в шарнирах и висячих крыльях складок. В первом случае на поверхности разрядка энергии приводит к обвалам высоких энергий и сейсмодислокациям, во втором к возникновению эндогенно обусловленных оползней больших энергий и тектонических разрывов с полостями, заполненными милонитами.

- Разрядка геодинамического напряжения возможна постепенная или быстрая. В последнем случае выброс энергии происходит в результате **разрыва сплошности (отторжения, отстрела) прочных горных пород**, что и вызывает землетрясения различной силы, т.е. «выброс» сейсмической энергии в виде волновых колебаний разной частоты – акустические, сейсмические продольные и поперечные, электромагнитные. Для объяснения быстрого перехода геодинамической энергии в волновую/сейсмическую. H.F.Reid [1911] выдвинул теорию упругой отдачи при землетрясениях. Определение же суммарной энергии (магнитуды) в гипоцентре землетрясения базируется на анализе сейсмического излучения [Bullard, 1960; Frank]

Как было сказано выше, одной из основных особенностей катастрофических обвалов и землетрясений, является их «внезапность». Причем, если для ледово-каменных обвалов объемом до сотен миллионов кубометров отмечается некая «преемственность» по месту повторения ряда событий, то катастрофические обвалы с объемами более чем $3 \cdot 10^6 - n \cdot 10^9 \text{ м}^3$, а также разрушительные землетрясения представляются единичными проявлениями для территорий регионов с общей геодинамикой. Это появление опасности там, откуда не ждали, является причиной гибели большого количества людей, поскольку неизвестны время, место и размеры зон поражения предстоящих катастрофических событий.

Выводы о возможности прогноза

Современное состояние среднесрочного и краткосрочного прогнозирования природных катастроф, когда увеличение количества пунктов наблюдений и современное информационное обеспечение никоим образом не

улучшают его качество, можно назвать кризисным или тупиковым. Означает ли это необходимость прекращения исследований в области прогнозирования природных катастроф? Или это сигнал о необходимости смены парадигмы наших представлений о путях решения проблемы с применением иной практической методологии?

Очевидно, что для дальнейшего успешного развития теории и практики научного предвидения необходимо отойти, но не два шага назад, а на десять шагов в сторону от сложившегося стереотипа прогнозирования в узких отраслевых рамках с использованием ограниченного круга заранее определенных предвестников/предикторов.

В этом случае логичным представляется использование следующих современных элементов анализа и познания при разработке интегрированных методов и, в конечном итоге, методологии прогноза природных катастроф, в общем, а землетрясений и катастрофических обвалов в частности.

1. В основу разработки интеграционной среднесрочной и краткосрочной методологии такого прогнозирования закладываются современные представления и теории о зарождении и развитии Земли как единой системы.

2. На базе системного синергетического анализа выявляются степени взаимодействия различных видов энергии в разнородных средах, ибо «в ней (синергетике) исследуется совместное действие многих подсистем (преимущественно одинаковых или же нескольких различных видов), как результат, которого на макроскопическом уровне возникает структура и соответствующее функционирование. С другой стороны, для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизующимися системами, необходимо кооперирование многих различных дисциплин», [Хакен, 1978].

3. Применение научного метода исследований от общего к частному с обязательной обратной связью, при выдвижении отдельных (подсистемных) гипотез и теорий.

4. Учет состава и изменчивости свойств геологической среды в пространстве и времени с целью заполнения неосвоенной ниши – познания роли физического состояния верхних слоев литосферы и их геодинамики в происхождении природных катастроф.

5. Параллельное прогнозирование независимыми методами, например:

- прогнозирование на основе анализа динамики природных явлений, выявленных прямыми наблюдениями в верхних оболочках Земли;

- прогнозирование на базе комплексного анализа динамики изменения и взаимодействий наблюдаемых физических полей;

- прогнозирование методами когнитивного моделирования (когнитивных карт) [Горелова, Васьков, 2012]. Интегрирование результатов независимых методов позволит повысить качество прогнозирования до приемлемого уровня.

6. Использование имеющихся баз данных систем наблюдения (мониторинга) природной среды для выявления корреляционных связей и прогностических алгоритмов на основе статистической обработки минимальных, но достаточных выборок.

Реализация интегрированных методов в рамках соответствующей методологии прогноза природных катастроф откроет возможность решения одной из важнейших задач физики Земли - проблемы землетрясений.

Литература

1. *Амхоф Сабина (Sabine Amhof*, репортер ORF). Так умирают горы. Огромный обвал в Доломитах 12.10.2007 г. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://oesterreich.orf.at/tirol/stories/228199>.
2. *Васьков И.М.* Крупномасштабные обвалы: геодинамика и прогноз / Научная монография. Электронное издание Googl, «Триумф», Москва, 2019. С. 365.
3. *Вебер В.* По поводу обвала на Памире в 1911 году // Геологический Вестник. 1915. № 4. С. 238–243.
4. *Голицынъ Б. Б.* О землетрясеніи 18-го февраля 1911 года // Известія Императорской Академіи Наукъ. 9:10 (1915). VI серия. С. 991–998.
5. *Горелова Г.В., Васьков И.М.* О возможности применения когнитивного моделирования к исследованию опасных экзогенных процессов // Проблемы управления безопасностью сложных систем: тр. XX Междунар. конф. / Под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. М.: Изд-во РГГУ, 2012. 471 с. С. 240–244.
6. *Гликман А.Г.* Физика и практика спектральной сейсморазведки: [Электронный ресурс] 2002. Режим доступа: <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/book/viii2.shtml>
7. *Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А. Г.* Глубинная геодинамика. Новосибирск: Издание: СО РАН филиал ГЕО, Новосибирск, 2001. 409 с.
8. *Короновский Н.В. Наймарк А.* Землетрясение: возможен ли прогноз? // Наука и жизнь, 2013. № 3.
9. *Кузнецов В.В.* ФИЗИКА ЗЕМЛИ ISBN 978-5-91559-065-5 Новосибирск, 2011. С. 793 https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-fizika-zemli_5.pdf.
10. *Ловчиков А.В.* Горно-тектонические удары на Ловозерском редкометальном месторождении // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11. № 3. С. 385–392.
11. *Плачков И. В.* Познание и опыт - путь к современной энергетике. Раздел 1.3 Энергия. Виды энергии и их особенности. <http://energetika.in.ua/ru/about-books>.
12. Российская геологическая энциклопедия в 3 томах// ВСЕГЕИ. 2014 Стр. 1886. ISBN: 978-5-93761-163-5. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/1559/Горный
13. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 373 с.
14. СП 408.1325800.2018 ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И СЕЙСМОМИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ. Москва Стандартинформ 2019. стр. 17.
15. *Уломов В.И.* Расчеты ученых сейсмологов отправляют в корзину // Российская газета. 2006. 21 июля. Федеральный выпуск № 4124.
16. *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1978. С. 404.
17. *Хромовских В.С.* Каменный дракон. М.: Мысль, 1984. С. 95. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://lib.rus.ec/b/185878/read>.
18. *Целиков Д.* Сейсмологи пытаются улучшить прогнозирование землетрясений. 01 июля 2013 года: [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://compulenta.computerra.ru/zemlya/seismologiya/10007636/>. Подготовлено по материалам ScienceNOW.
19. *Bullard E.C.*, Response to award of Arhur L. Day medal, proc. Vol. for 1959. Geol. Sec. Am. 92 (1960).
20. *v. Poschinger A.* Long run out mass movements: The example of the Flims rockslide, Switzeland. Proceeding of International Workshop. Vladikavkaz. Russia, 18–20 September 2012, p. 22–23.
21. *Frank. D. Ctacey.* Reader in Physica. 342 с. Фрэнк. Д. Кейси. Читатель по физике.
22. *Reid H.F.* The elastic rebound thorny of earthquakes. Bull. Dept Geology Univ California 6. 413 (1911).

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ СЕЙСМОГЕНЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ ТУРЦИИ В 2023 ГОДУ ПО ДАННЫМ ФОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© Ю.М. Вольфман, Е.Я. Колесникова

*Институт сейсмологии и геодинамики КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь*

Аннотация. Колоссальный масштаб бедствий, причиненных землетрясениями в Турции 6 февраля 2023 года, и высокая сейсмическая активность региона в течение длительного времени обусловили актуальность исследования данного сейсмического процесса. В результате анализа изменений напряженно-деформированного состояния земной коры в очагах землетрясений установлено, что в регионе доминировали кинематические обстановки растяжения в широтном и юго-восточном направлениях, указывая на дивергентный характер взаимодействия Анатолийской микроплиты с остальной частью Аравии вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома.

Ключевые слова: землетрясения, фокальные механизмы, растяжение (сжатие) земной коры, кинематические обстановки, процессы дивергенции.

Введение

В течение 6 февраля в пределах Турции и пограничных с ней районов Сирии произошло два катастрофических землетрясения с магнитудами $M=7.75$ и $M=7.55$, приведших к многочисленным человеческим жертвам и колоссальным разрушениям. Очаг первого из этих них с координатами $\varphi=37.23^\circ$, $\lambda=37.019^\circ$ располагался на относительно небольшой глубине ($h=17.5$ км) в пределах густонаселенного региона, что многократно усилило катастрофический эффект его воздействий. Через 9 часов произошло второе катастрофическое землетрясение ($\varphi=38.008^\circ$, $\lambda=37.211^\circ$, $M=7.55$, $h=13.5$ км), которое привело к новым жертвам, довершило разрушение инфраструктуры региона и существенно усложнило проведение спасательных работ. Последовавший за этими событиями период характеризовался высокой сейсмической активностью региона, возникновением огромного количества афтершоков, в том числе таких, магнитуда которых превышала $M>5$, достигая величины $M=6.34$ (землетрясение 20 февраля с координатами $\varphi=36.159^\circ$, $\lambda=36.034^\circ$).

В основу исследований заложен алгоритм пространственно-временного и кинематического анализа данных о фокальных механизмах землетрясений, апробированный при исследовании процессов сейсмогенеза в разных регионах Средиземноморского пояса [Volfman et al., 2017; Вольфман и др., 2014]. Он предполагает: а) разделение фокальных механизмов по кинематическим обстановкам их формирования – сжатия или растяжения; б) исследование особенностей пространственно-временного распределения очагов разных типов; в) определение доминирующих направлений сжатия и растяжения, отражающих основные кинематические обстановки сейсмогенеза; г) анализ изменений напряженно-деформированного состояния земной коры региона и геодинамических факторов, обусловивших эти изменения. Исходными данными послужили выборки из сейсмических каталогов, размещенных на сайтах Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра (<http://www.emsc->

csem.org) и Global CMT Web Page (<https://www.globalcmt.org>). По первому из них отслеживались все события в регионе с $M \geq 2$. С 6 февраля до 31 марта, когда сейсмическая активность сохранялась на весьма высоком уровне, здесь было зарегистрировано 6535 землетрясений. Данные из второго каталога составили выборку землетрясений с $M \approx 4$ и выше, для которых были получены фокальные механизмы. За период с февраля по май идентифицировано 130 таких событий.

Определение кинематических обстановок в очагах выполнено в соответствии с классификацией деформационных режимов [Гущенко и др., 1991; Гинтов, 2005], в основу которой заложены соотношения углов наклона осей главных напряжений. Так, обстановкам растяжения геологической среды отвечают сбросовый, сдвиго-сбросовый и сбросо-сдвиговый деформационные режимы; обстановкам сжатия – взбросовый, сдвиго-взбросовый и взбросо-сдвиговый режимы [Ребецкий и др., 2017]. Формирование сдвиговых очагов было равновероятно как в обстановках сжатия, так и в условиях растяжения.

Общая характеристика активной фазы сейсмического процесса

Главной причиной высокой сейсмичности территории Турции является тектоническое взаимодействие Евразийской и Аравийской литосферных плит и их микроплит [Ружич и др., 2023; Elliott et al., 2013; Golonka, 2004; Nikishin et al., 2011; Okay, Nikishin, 2015 и мн. др.], которое, по мнению исследователей, имеет коллизионную природу. За исключением высокосейсмичной области на западе Турции (на побережье Эгейского моря), основные сейсмогенерирующие зоны региона приурочены к крупным линейно-вытянутым геоструктурам, по которым либо происходит сочленение Евразийской и Аравийской плит (системы разломов Северо-Анатолийская и Загрос), либо проходит граница Анатолийской микроплиты с основной частью Аравии – вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома (рис. 1).

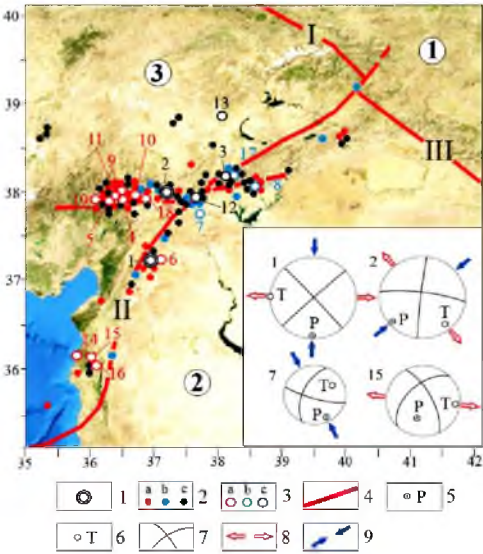


Рис. 1. Схема очагов землетрясений, для которых получены фокальные механизмы.

Условные обозначения. На схеме: 1 – эпицентры катастрофических землетрясений с $M > 7$; 2-3 – очаги с $M < 4,9$ (2) и с $M > 4,9$ (3), для которых получены фокальные

механизмы, сформировавшиеся в обстановках растяжения (а), сжатия (б), и сдвиговые очаги, равновероятные в условиях и растяжения, и сжатия земной коры (с); 4 – основные сейсмогенерирующие зоны региона (I, II – зоны Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов соответственно, III – система Загрос). На врезке – фокальные механизмы наиболее сильных землетрясений разных типов и их номера: 5 – оси сжатия; 6 – оси растяжения; 7 – проекции нодальных плоскостей; 8-9 – направления растяжения (8) или сжатия (9) в очаге. Цифры в кружках – Евразийская (1) и Аравийская (2) плиты; Анатолийская микроплита (3).

Основные особенности исследуемого сейсмического процесса: 1) катастрофические события не предварялись сколько-нибудь значительными форшоками; 2) очаги основных землетрясений и многочисленных афтершоков локализованы, главным образом, вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома северо-восточного простираения и в непосредственной близости от него, образуя ответвление в широтном направлении; 3) расположенная неподалеку зона Северо-Анатолийского разлома все это время оставалась незадействованной в сейсмическом процессе, «откликнувшись» несколькими событиями с $M=2-4$, вопреки тому, что Северо-Анатолийский разлом, трассирующий зону палеосубдукции, возникшую в результате сближения Евразии, Аравии и Африки, обычно весьма активен в сейсмическом отношении.

Характер активной фазы сейсмогенеза (включая все землетрясения, зарегистрированные в течение февраля-марта, и количественное соотношение очагов, сформировавшихся в разных кинематических обстановках), иллюстрирует хронограмма (рис. 2), отражающая посуточную последовательность проявлений сейсмогенеза. Ежедневно в регионе в среднем происходило более 100 сейсмических толчков с $M \geq 2$ (график n, правая шкала). На этом фоне выделяются периоды повышенной активности (так, с 6 по 12 февраля ежедневно регистрировалось до 230-и событий, 3 и 6-7 марта количество толчков в сутки превышало 150, а 15 марта произошло 202 землетрясения). Даже в периоды относительного сейсмического «затишья» их количество было достаточно большим – не менее 70 землетрясений в сутки; при этом некоторые из них (например, с 23 февраля по 1 марта) имели довольно высокие ($M \geq 4$) магнитуды, позволяющие идентифицировать кинематические обстановки в очагах в момент их формирования.

В геодинамическом аспекте интерес представляет соотношение разных типов землетрясений (гистограмма, левая шкала N на рис. 2). Так, из 130 очагов, для которых получены фокальные механизмы, основная часть – 47 % (в том числе, катастрофические события 6 февраля) являются сдвиговыми, формирование которых равновероятно как в обстановках сжатия, так и при растяжении земной коры.

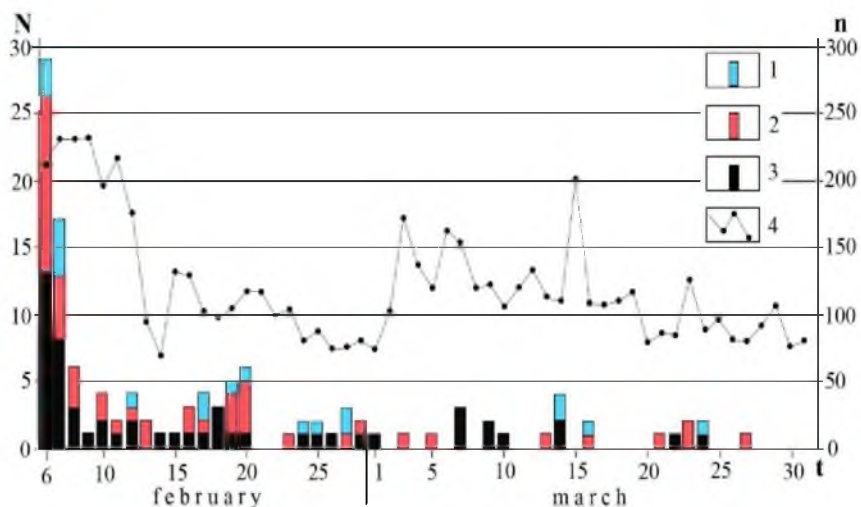


Рис. 2. Количественные соотношения разных типов землетрясений, для которых идентифицированы кинематические обстановки в очаге (N), и общее количество событий в регионе (n), произошедших в течение февраля-марта 2023 года.

Условные обозначения: 1-3 – очаги, сформированные в обстановках сжатия (1), растяжения (2) и сдвиговые очаги, возникновение которых равновероятно как в условиях сжатия, так и при растяжении (3); 4 – график распределения общего количества землетрясений с $M \geq 2$

Несколько в меньшей степени (38% очагов) проявились обстановки растяжения. И только 15% фокальных механизмов отвечают обстановкам сжатия земной коры региона. Подобное соотношение кинематических обстановок в очагах одного из сегментов коллизионного Средиземноморского пояса, явилось неожиданным. Логичным в данной ситуации было бы преобладание проявлений регионального сжатия по отношению к обстановкам растяжения. Однако, как оказалось, подобная тенденция характерна и для всего Средиземноморья: результаты анализа фокальных механизмов землетрясений, произошедших в его пределах с 1976 г. по 2020 г. (около 2-х тысяч событий), в еще большей степени отражают преобладание обстановок растяжения по отношению ко всем остальным, включая и сдвиговые, проявлениям сейсмогенеза [Вольфман и др., 2022]. Таким образом, в исследуемом сегменте коллизионного Средиземноморского пояса, равно как и в пределах остальной его части, процессы сейсмогенеза отражают доминирующее влияние *современных* систем напряжений, обусловленных *растяжением* земной коры, вследствие чего преобладают очаги землетрясений не взбросового (характерного для коллизионных обстановок), а сбросового и сдвигового типов.

Особенности распределения ориентировок осей главных напряжений в фокальных механизмах землетрясений

При многообразии идентифицированных обстановок сейсмогенеза, в регионе явственно проявились закономерности в распределении ориентировок осей сжатия и растяжения в очагах разных типов (рис. 3, 4). Так, сопоставление ориентировок осей растяжения (T) и сжатия (P) в очагах сдвигового типа (61 событие), характеризует сегментарный характер их распределения (рис. 3а). Две

пары максимумов ориентировок этих осей (в широтном и северо-западном направлениях для осей T , в меридиональном и северо-восточном направлениях – для осей P) отражают попеременное влияние 2-х систем сдвиговых напряжений на процессы сейсмогенеза – ортогональных (субмеридионального сжатия или субширотного растяжения) и диагональных (северо-восточного сжатия или северо-западного растяжения). В геодинамической трактовке, поскольку источником напряжений являются геоструктуры, расположенные к югу от исследуемой территории, правильнее будет считать, что диагональные обстановки обусловлены юго-восточным растяжением или юго-западным сжатием земной коры. В этих обстановках сформированы и землетрясения 6 февраля 2023 г. с $M=7.75$ и $M=7.55$.

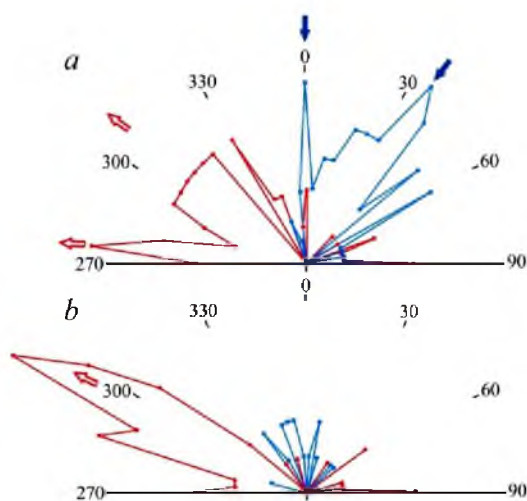


Рис. 3. Распределение ориентировок осей напряжений T (красное) и P (синее) в очагах сдвигового типа – 61 событие (а), в 49 очагах растяжения и в 19 очагах сжатия (б). Стрелками указаны направления регионального растяжения (красные) и сжатия (синие)

На рисунке 3б совмещены розы-диаграммы ориентировок осей T и P в очагах, отражающих обстановки растяжения и сжатия. Они построены не в относительном масштабе (в %), а в масштабе, отражающем количество очагов каждого типа. Вследствие этого диаграмма выглядит «несбалансированной», но иллюстрирующей истинное соотношение проявлений разных типов сейсмогенеза. Можно констатировать следующее:

- в совокупности очагов, в которых идентифицированы кинематические обстановки (растяжение или сжатие земной коры), в количественном отношении доминируют те из них, которые отражают влияние растягивающих напряжений на процессы сейсмогенеза;

- высокая степень концентрации ориентировок осей растяжения, обусловившая их контрастный максимум в направлении 295-310°, с одной стороны, и слабоконтрастные максимумы с рассредоточением вдоль многих направлений осей сжатия, с другой стороны, указывают на стабильный характер обстановок растяжения земной коры и высокую вариативность напряжений, обусловивших обстановки сжатия на исследуемой территории.

Весомым аргументом в пользу этих положений является и характер распределения ориентировок осей сжатия и растяжения в очагах разных типов сильных землетрясений – с магнитудами $M > 4.9$ (рис. 4). Здесь тоже весьма

уверенно выделяются две пары максимумов ориентировок главных осей напряжений, отражающих доминирующие кинематические обстановки в регионе: широтного растяжения–меридионального сжатия и юго-восточного растяжения–юго-западного сжатия. При этом высокие концентрации осей растяжения в интервалах 270-280° и 300-305° указывает на то, что именно процессы растяжения земной коры в этих направлениях играли основную роль в формировании сейсмогенеза.

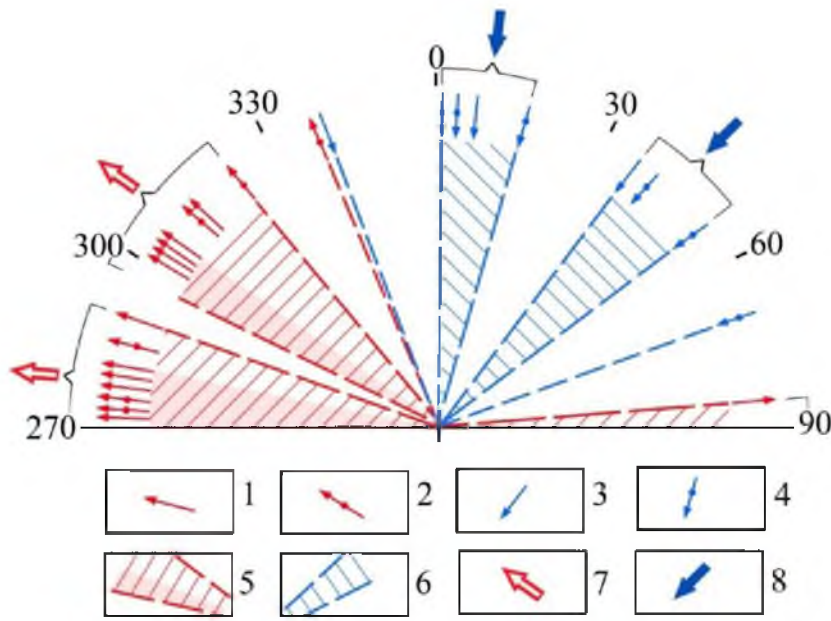


Рис. 4. Распределение ориентировок осей напряжений Т и Р в очагах землетрясений с $M > 4.9$.

Условные обозначения: 1-2 – ориентировки осей Т в очагах растяжения (1) и сдвиговых (2); 3-4 – ориентировки осей Р в очагах сжатия (3) и сдвиговых (4); 5-6 – секторы концентрации осей растяжения (5) и сжатия (6); 7-8 – направления регионального растяжения (7) и сжатия (8)

Таким образом, с высокой степенью вероятности можно полагать, что количественно преобладающие в процессе регионального сейсмогенеза очаги сдвигового типа, возникновение которых равновероятно как в обстановках сжатия, так и в обстановках растяжения, в большинстве случаев обусловлены именно обстановками растяжения земной коры в широтном и юго-восточном направлениях. В геодинамической трактовке это означает, что современное взаимодействие Анатолийской микроплиты с остальной частью Аравии вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома, где локализованы катастрофические землетрясения 6 февраля и их афтершоки, определяется, главным образом, не коллизионными, а дивергентными процессами, то есть растяжением земной коры в широтном и юго-восточном направлениях.

Анализ изменения во времени кинематических обстановок как в очагах показал высокую вариативность обстановок на всем протяжении сейсмического процесса. Изменения происходили в течение весьма коротких (порой исчисляемых всего несколькими часами) промежутков времени. Даже

катастрофические землетрясения 6 февраля отражают резкую перемену напряженно-деформированного состояния земной коры, поскольку ортогональная система напряжений сменилась диагональной (стереограммы №1,2 на врезке на рис. 1). Более того, в течение этих же суток произошло несколько значимых (с $M \geq 5$) событий в обстановках субширотного и юго-восточного растяжения, которые через несколько часов (7 февраля) сменились очагами субмеридионального сжатия с последующим восстановлением изначальных условий в виде вариативных обстановок растяжения земной коры.

Геодинамические сценарии развития региона и причины, обусловившие катастрофический характер турецких землетрясений

Результаты анализа изменения кинематических обстановок турецко-сирийских землетрясений 2023 года выявили основные особенности данного сейсмического процесса. Преобладающая часть очагов землетрясений (включая и очаги сдвигового типа) возникла в условиях растяжения земной коры, которые периодически (судя наличию очагов взбросового, сдвиго-взбросового и взбросо-сдвигового типов, не менее 15-20-ти раз) сменялись обстановками регионального сжатия. При этом доминирующими обстановками, предопределившими характер большей части проявлений сейсмогенеза и, соответственно, основные особенности геодинамики региона в период его высокой сейсмической активности, являются обстановки растяжения земной коры в широтном и юго-восточном направлениях. Это обстоятельство указывает на дивергентный характер взаимодействия Анатолийской микроплиты с остальной частью Аравии вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома.

Эта тенденция периодически нарушалась: процессы регионального растяжения сменялись кратковременными периодами сжатия земной коры, на что указывает возникновение землетрясений с очагами взбросового, сдвиго-взбросового и взбросо-сдвигового типов. Системный характер распределения ориентировок осей сжатия в этих очагах (в меридиональном и северо-восточном направлениях) согласуется с доминирующими обстановками, установленными ранее при исследовании процессов сейсмогенеза этого же региона за период с 1977 по 2013 г.г. [Вольфман и др., 2014; Volfman et al., 2017]. Было обосновано, что особенности геодинамики в этот период определялись периодически проявляющимися обстановками: а) меридионального сжатия, обусловленного движением Аравийской плиты на север; б) юго-западного–северо-восточного сжатия, вызванного процессами дивергенции в зоне Красноморского рифта, вследствие чего Аравия «напирает» на Евразию в северо-восточном направлении.

Таким образом, можно обосновать геодинамический сценарий развития процессов сейсмогенеза в пределах исследуемой территории, который включает долговременную и кратковременную составляющие.

Первая отражает коллизийное взаимодействие сегментов тектоносферы 2-х типов: 1) периодическое сжатие земной коры в меридиональном направлении, обусловленное движением Аравийской плиты на север; 2) юго-западного–северо-восточного сжатия коры, вызванное процессами дивергенции в зоне Красноморского рифта и перемещением Аравии в северо-восточном направлении.

Вторая часть геодинамического сценария охватывает период высокой сейсмической активности региона (с февраля 2023 года), в течение которого доминировали обстановки растяжения земной коры в широтном и юго-восточном направлениях, обусловленные дивергентным характером взаимодействия Анатолийской микроплиты с остальной частью Аравии вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома. По-видимому, преодоление общего тренда геодинамического развития могло реализоваться только в условиях инверсии и приложения значительных по величине напряжений, что обусловило катастрофический всплеск сейсмической активности в регионе.

Выводы

Результаты анализа фокальных механизмов и пространственно-временного распределения очагов катастрофических турецко-сирийских землетрясений 6 февраля 2023 года и их афтершоков показали, что их формирование было обусловлено, главным образом, доминирующими геодинамическими обстановками растяжения земной коры в широтном и юго-восточном направлениях. Дивергентный характер кратковременного взаимодействия Анатолийской субплиты с остальной частью Аравии вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома и, соответственно, кинематические обстановки, предопределившие основные особенности сейсмогенеза, как бы «выпадают» из общего, долговременного тренда геодинамического развития региона, определяемого преимущественно коллизийными процессами в зоне сочленения литосферных плит Аравии и Евразии. Это инверсионное возмущение общего хода геодинамического развития региона, проявившееся относительно локально – только в пределах зоны внутриплитного Восточно-Анатолийского разлома, могло реализоваться лишь в условиях приложения весьма значительных по величине напряжений, что обусловило «взрывной», катастрофический по интенсивности всплеск сейсмической активности в регионе.

Литература

1. Вольфман Ю.М., Гинтов О.Б., Колесникова Е.Я., Муровская А.В. Тектонофизическая интерпретация механизмов очагов землетрясений системы Загрос // Геодинамика и тектонофизика. 2014, 5(1). С. 305-319.
2. Вольфман Ю.М., Пустовитенко Б.Г., Колесникова Е.Я. Новые результаты тектонофизического анализа фокальных механизмов землетрясений Крымско-Черноморского региона // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2022. Т. 8(74). №4. С. 162–206.
3. Гуценко О.И., Мострюков А.О., Петров В.А. Структура поля современного регионального напряжения сейсмоактивных зон земной коры восточной части Средиземноморского активного пояса // Докл. АН СССР. 1991. 312. №4. С. 830-835.
4. Гинтов О.Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
5. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М.: ГЕОС. 2017. 234 с.

6. Ружич В.В., Бержинская Л.П., Левина Е.А., Пономарева Е.И. О причинах возникновения и последствиях двух разрушительных землетрясений в Турции 06.02.2023 г. // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 22-34.
7. Elliott J., Copley A., Holley R., Scharer K., Parsons B. The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2013. Vol. 118. pp. 1619-1637.
8. Golonka J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic // Tectonophysics. 2004. 381. P. 235-273.
9. Nikishin A., Ziegler P., Bolotov S., Fokin P. Late Palaeozoic to Cenozoic Evolution of the Black Sea-Southern Eastern Europe Region: A View from the Russian Platform // Turkish J. Earth Sc. 2011. 20. P. 571-634.
10. Okay A., Nikishin A. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region // Int. Geol. Rev. 2015. 57(5-8). P. 1051-1076.
11. Volfman Y.M., Kolesnikova E.Y., Pustovitenko B.G., Milyukov V.K. Selective manifestation of sesmogenic stress field within the Mediterranean belt (based on earthquake focal mechanism solutions). Journal of Volcanology and Seismology. 2017. Vol. 11. No. 6. pp. 447–461.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В ПЕРВУЮ ЧЕТВЕРТЬ XXI ВЕКА

© И.П. Габсатарова¹, А.С. Зверева²

¹ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск

²ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Пермь

Аннотация. Представлен краткий обзор развития сейсмических наблюдений на Северном Кавказе, наиболее сейсмоактивном регионе в европейской части России. Основные проявления современной сейсмической активности связаны или с продолжением реализации землетрясений в уже известных очаговыми зонами: Рачинское 1991 г, Чхалтинское 1963 г., Черногорское 1976 г., Дагестанское 1970 г., или с проявлением активности в новых местах. К таким относится Сальское землетрясение 2001 г в Манычском прогибе, Бердянское 2006 г. и Мариупольское 2016 г. на северном борту Азовского моря, Восточно-Черноморское землетрясение 23.12.2012 г. с $M_w=5.8$. Установлен период 2006-2009 гг. максимального выделения сейсмической энергии за счет реализации землетрясений 2006 и 2009 гг. в зоне Рачинского землетрясения 1991 г. на Большом Кавказе и Курчалойского землетрясения 11.10.2008 г. на границе Терского-Каспийского прогиба и Дагестанского клина. Повышение чувствительности сети позволило исследовать рои землетрясений в районах, где ранее они не были известны – западная часть Дагестана.

Ключевые слова: сейсмическая сеть, землетрясения, сейсмичность, механизмы очагов, Северный Кавказ

Сейсмическая сеть

Последние 30 лет являются периодом формирования современной сети наблюдений на Северном Кавказе. Во время существования СССР сеть станций в этом районе входила в общекавказскую сеть и была довольно редкой, так как считалось, что, по сравнению с районами Большого и Малого Кавказа, здесь происходят относительно слабые землетрясения. Особенно это коснулось западных районов Северного Кавказа, входящих в современный Южный округ РФ, которые долгое время оставались без должного внимания сейсмологов. Особое значение имело развитие сети в Причерноморье, где продолжительное время работали только две станции: «Сочи» (SOC) и «Анапа» (ANN). В то же время, там были известны серии умеренных по магнитуде, но ощутимых до 7–8 баллов по 12-ти балльной шкале MSK-64: Нижнекубанских 1879 г., 2002 г. и Анапских землетрясений 1966 г., Туапсинские 1935–1937 гг. и Сочинские 1970 г. рои, Краснополянские землетрясения 1955–1956 гг. Решение о проведении зимних Олимпийских Игр в 2014 г. в Сочинско-Краснополянской зоне, и получение новых оценок сейсмической опасности этой территории [Кузин и др., 2009, Осипов и др., 2015], послужило причиной развития сети в западном секторе Северного Кавказа. Об этом детально описано в работе [Маловичко и др., 2020].

Сейсмическая сеть в западной зоне продолжала развиваться и после 2014 г. В прибрежной зоне открыты (рис.1): Шапсуг SPGR (08.09.2015), Гойтх GOYR (29.09.2015), Марьино MRNR (17.11.2017), Сукко SUKR (15.10.2018), Таманский TMNR (11.10.2018). Кроме Причерноморья часть новых станций установлена на

территории платформенных структур Скифской плиты и Западно-Кубанского прогиба. Здесь открыты новые станции-наблюдательные пункты: Еремизино-Борисовская ERBR (07.10.2009), Сергиевский SRGR (04.10.2018), Гладковский GLDR (07.10.2018), Новополтавский NVPR (03.06.2019) и Головановский GLVR (06.06.2019) (рис. 1). В отличие от станций Северного Кавказа, установленных в горных условиях на скальных грунтах (I категории), платформенные станции обладают несколько повышенным уровнем микросейсмического шума, так как установлены они на грунтах в основном II-III категории, в районах с мощным слоем осадков. Однако даже в таких условиях улучшенная конфигурация сети позволила повысить уровень регистрируемых землетрясений на платформенных структурах на $1.0\text{--}1.5 K_p$.

В центральной зоне Северного Кавказа сеть сформировалась благодаря активному ее развитию в период 90-х – начало двухтысячных в районе Кавказских Минеральных Вод и сопредельных территорий. В настоящее время здесь находится 14 сейсмических станций, обеспеченных современным цифровым оборудованием. Важное значение для центральной и для восточной зон, имело создание сети Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, который сейчас состоит из 13 пунктов наблюдений, имеющих беспроводное или проводное подключение к сети Интернет для передачи данных в режиме, близком к реальному времени. Подобная ситуация сбора информации и в Дагестанском филиале ФИЦ ЕГС РАН, сейсмическая сеть которого стала полностью цифровой в 2015 г. и в настоящее время насчитывает 18 сейсмических станций.

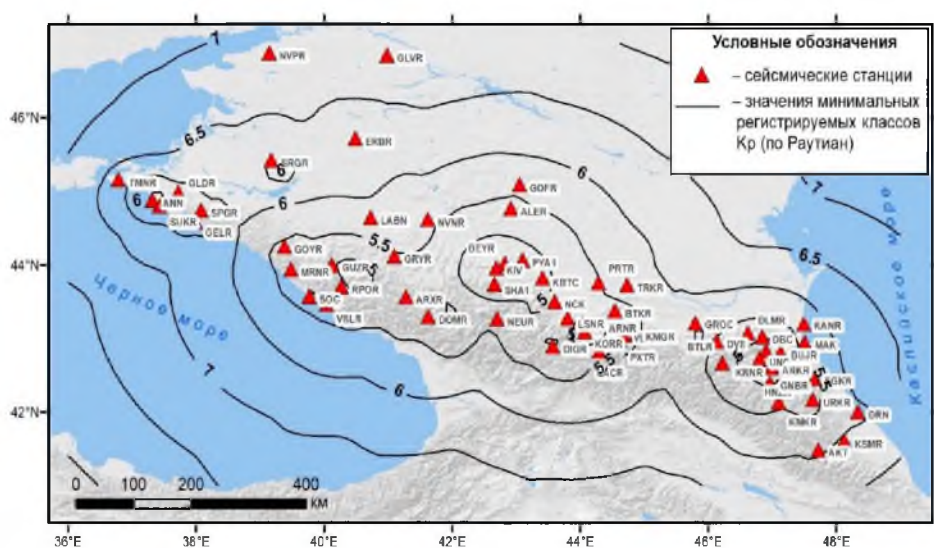


Рис. 1. Положение станций сети Северного Кавказа с изолиниями минимальных регистрируемых (представительных) энергетических классов (K_{min}), полученных с учетом среднегодового уровня шума в местах размещения станций

Оценка регистрационной возможности сети Северного Кавказа

На большей части территории региона сеть обеспечивает регистрацию землетрясений с $K_p=7.0$ и выше, в центральной (включая район Большого Сочи)

и в восточной частях региона представительными были землетрясения с $K_p=6.0$ и выше, а в отдельных локальных зонах (Сочи-Краснополянской, в Кавминводской, центральной части Северной Осетии-Алании, центральной части Дагестана) – с $K_p=5.5$ и выше (рис. 1). Оценка регистрационной возможности сети сделана на основе оценок средних уровней сейсмического шума в полосе частот 1–10 Гц по методике, учитывающей эмпирические кривые затухания сейсмических волн, которые используются при расчете магнитуд сейсмических источников в регионе. Для этого использованы программы MicroNoise V 1.3 и SArta v 1.0 [Дягилев, 2013, 2020].

Кроме того, значительно расширились возможности построения механизмов очагов по знакам первого вступления P -волны, что позволило ежегодно определять их практически для всех землетрясений с $K_p \geq 9.5$ (рис. 2). Подавляющее число землетрясений имеет взбросовый тип движения, что объясняется давлением со стороны Аравийской плиты. Однако в отдельных зонах (Туапсинская, Закатальская, Терско-Сунженская зона гипоцентров с промежуточными глубинами $h=80-150$ км) преобладают сбросы и сбросо-сдвиги. Данные по механизмам очагов используются исследователями для анализа напряженно-деформированного состояния земной коры и верхней мантии на Кавказе [Лук, Шевченко, 2019; Шевченко, Лук, 2020].

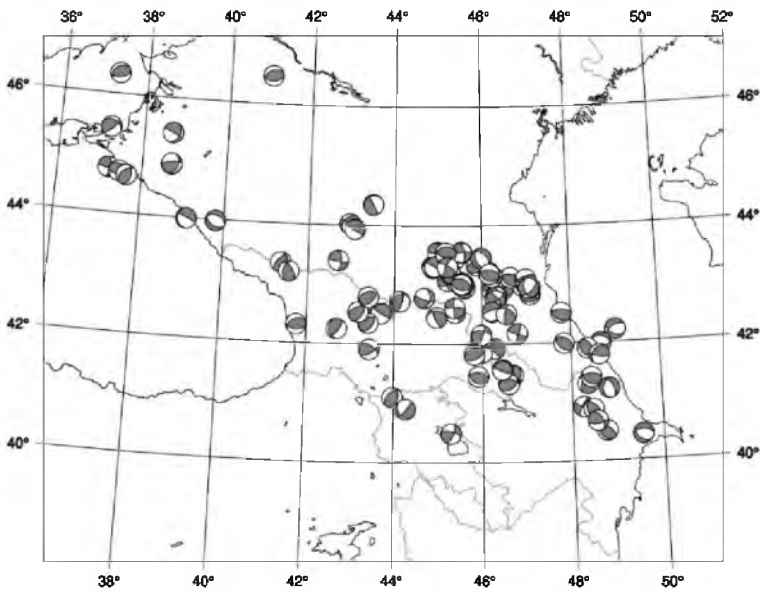


Рис. 2. Карта механизмов очагов землетрясений с $K \geq 9.5$ за 2018–2022 гг.

Особенности сейсмичности

Развитие сейсмической сети, безусловно, нашло отражение в качестве каталогов землетрясений и их наполненности. За 2000–2022 гг. было зарегистрировано более 20 тыс. землетрясений в зоне ответственности ФИЦ ЕГС РАН. Большая их часть произошла в восточной части региона. Значительно возросло число регистрируемых слабых событий, в связи с этим проводятся работы по распознаванию природы событий и чистка каталогов от промышленных взрывов в карьерах. Ежегодно сеть сейсмических станций на

Северном Кавказе регистрирует также землетрясения на сопредельной территории соседних государств: Грузии, Азербайджана и Армении.

По суммарному числу зарегистрированных землетрясений N , как на Северном Кавказе (в рамках границ региона), так и с сопредельными территориями, за последние 20 лет отмечается заметный рост числа землетрясений (рис. 3). Это объясняется ростом числа станций в сети и, в связи с этим, возросшей её чувствительностью при регистрации слабых землетрясений. Сопоставленный с диаграммой числа землетрясений, график выделившейся энергии говорит о наиболее сейсмоактивном периоде 2006–2009 гг., когда на сопредельной территории Грузии в зоне Рачинского землетрясения произошли Онийские землетрясения: Онийское 6.02.2006 г. с $MS=5.0$, Онийское-II 7.09.2009 г. с $K_p=14.2$ и Курчалойское 11.10.2008 г. с $Mw=5.6$ в Чеченской Республике, все три с многочисленными афтершоками. Чуть меньшая энергия выделилась в период Восточно-Черноморского землетрясения 23.12.2012 г. с афтершоками (рис. 4). В целом, последние годы Северный Кавказ и его окружение умеренно сейсмичны и выделившаяся энергия не превышает «фоновых значений» [Землетрясения России, 2008–2023].

Эпицентры всех зарегистрированных сейсмических событий в основном группируются в пределах, выделенных ранее сейсмогенерирующих зон. На Западном Кавказе это Анапско-Новороссийско-Геленджикская и Сочи-Краснополянская [Габсатарова и др., 2013], в Центральном Кавказе Минераловодская и Тебердинско-Гегечкорско-Чхалтинская, разделенные Эльбруско-Бечасынским «асейсмичным блоком» [Габсатарова, 2015]. На Восточном Кавказе высоко активны структуры Терско-Каспийского прогиба, Дагестанского клина и восточной части Большого Кавказа.

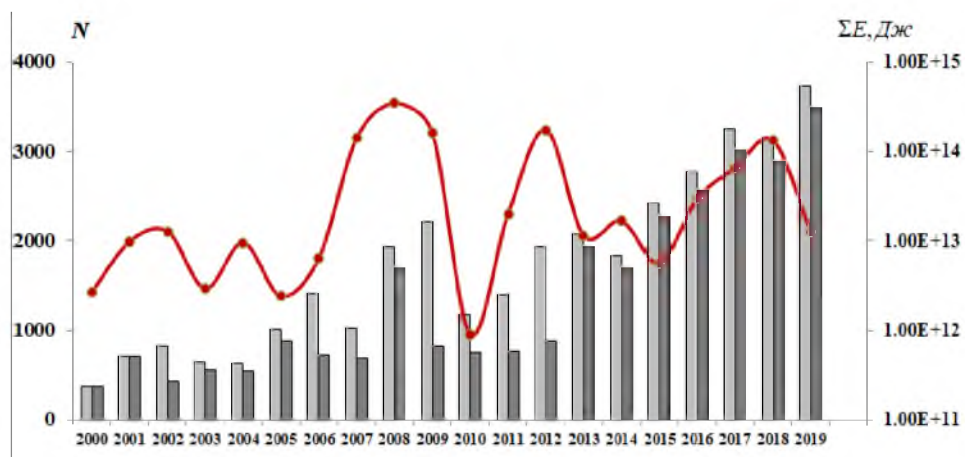


Рис. 3. График роста числа зарегистрированных землетрясений сетью Северного Кавказа в рамках границ региона (темно серый цвет) и включая сопредельные территории

Однако в этот период произошли особенные события, о которых следует упомянуть в таком общем обзоре.

Особое место в сейсмичности Северного Кавказа занимает Сальское платформенное землетрясение 22 мая 2001 г., впервые зарегистрированное на юго-западе России в 60 км восточнее г.

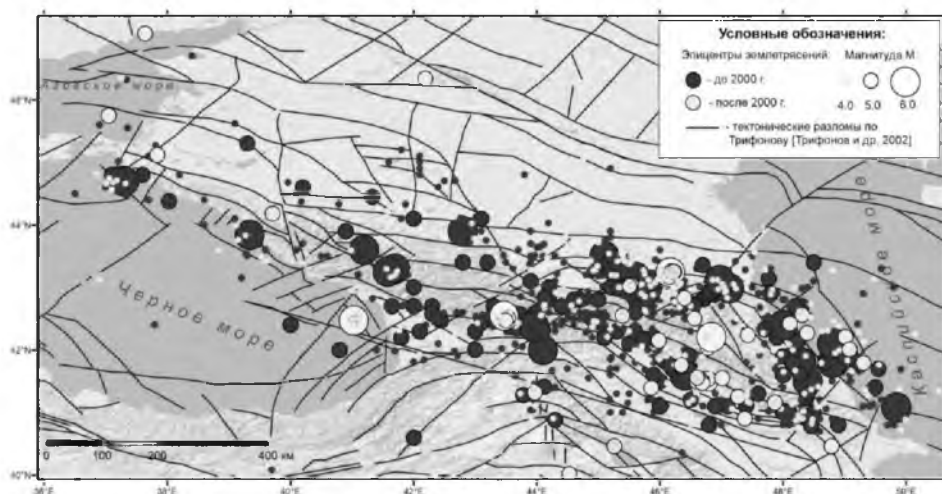


Рис. 4. Положение эпицентров наиболее сильных землетрясений Северного Кавказа в период с 1900 по 1999 гг. (темные круги), с 2000 г. по настоящее время (светлые круги) на фоне активных тектонических разломов по Трифонову [2002]

Сальска Ростовской области с $K_F = 12.5$, $I_0 = 6-7$ баллов. Структурно-тектоническая позиция Сальского землетрясения определяется, с одной стороны, принадлежностью к северной части Скифской плиты и, одновременно, к пограничной зоне с древней Восточно-Европейской платформой (ВЕП). Эта зона отделяется от Предкавказья Манычским прогибом, заложенным по крупным разломам в фундаменте. Построен механизм очага этого землетрясения, оно произошло под действием напряжений сжатия, ориентированных в близмеридиональном направлении. Одна из нодальных плоскостей имеет северо-западное простирание и пологое падение. Другая плоскость – имеет близширотное (или восток-северо-восточное) простирание и крутое падение. Тип движения по крутой плоскости – взброс (взброшено юго-восточное крыло), по пологой – надвиг с правосторонней сдвиговой компонентой (надвинуто северо-восточное крыло). Направление пологой нодальной плоскости совпадает с простиранием Манычского разлома [Трифонов и др., 2002]. Этот тип подвижки и направление простирания пологой нодальной плоскости согласуются с характерной асимметричной формой изосейст [Габсатарова и др., 2007], а также с результатами геофизического изучения очаговой области вдоль профиля методом микросейсмического зондирования [Горбатиков и др., 2019].

Впервые было установлено, что землетрясения с $M \cong 5.5$ в Черном море могут иметь длительный афтершоковый процесс. Отчасти это может быть объяснено триггерным эффектом из-за разрушения газоконденсатного слоя [Баранов, Габсатарова, 2015, Габсатарова и др., 2018]. Продолжительность реализации афтершоков в очаговой зоне Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. приближена к трем годам. Результаты исследования афтершокового процесса по записям ближайшей к очагу станции «Домбай», удаленной примерно на 90 км от эпицентра, показали, что процессы релаксации напряжений в очаговой зоне этого уникального землетрясения неоднородны. Основная выделившаяся энергия связана с небольшой зоной, вытянутой вдоль побережья, о таком направлении говорит и простирание одной

из нодальных плоскостей механизма очага основного толчка, представляющего чистый сдвиг по обеим плоскостям. По соотношению амплитуд в Р и S – волнах последующие афтершоки $AS_{max}/AP_{max} > 5$ могли также иметь сдвиговый механизм. Они распределились по всей зоне, вытянутой в северо-западном направлении. Другой тип афтершоков с $AS_{max}/AP_{max} < 5$ может быть связан с поперечным направлением, имеющем место в связи с другой нодальной плоскостью механизма очага. Это направление реализации афтершového процесса энергетически менее выражено [Заклюковская, Габсатарова, 2013].

В рассматриваемый период заметно проявилась сейсмичность в Азовском море. Очаги Бердянского 31 июля 2006 г. с $M_w=3.3$, $I_0=5$ и Мариупольского землетрясения 7 августа 2016 г. с $M_w=4.6$, $I_0=5$ относятся к зоне Северо-Азовского разлома в южной периферийной части Восточно-Европейской платформы и, одновременно, к зоне «неуверенного инструментального сейсмического мониторинга», поскольку ближайшие сейсмические станции расположены на удалении не менее 200 км. Однако развитые сети сейсмических станций в Крыму, на Северном Кавказе, Воронежском кристаллическом массиве позволили с удовлетворительной точностью определить положение эпицентра. Глубина очага достаточно надежно определена по выделенным глубинным фазам на станциях Китая и составила – 13 км. 15 октября 2018 г. в 10^h42^m с $K_p=11.0$ зарегистрировано землетрясение, приуроченное к субширотному Азовскому валу, являющемуся главной структурой, определяющей тектонический облик этого региона. Он представляет собой линейно вытянутое поднятие, погребенное под осевой частью впадины моря, северное его крыло представлено Главным Азовским надвигом, разделяющим структуры Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. Механизм очага этого землетрясения отражает тектоническую позицию: одна из нодальных плоскостей, более крутая, имеет подобное Азовскому валу субширотное простирание и падение на юг, тип движения по этой плоскости – взброс.

Повышение чувствительности сети открыло возможность детального изучения слабой сейсмичности и объединения ее в кластеры землетрясений, часть которых отнесена к роевым последовательностям (рис. 5). Установлены новые места проявления роев в Дагестане, где ранее они не выделялись. К примеру, Гагатлинский рой слабых землетрясений в конце 2018 г. начале 2019 г. на западной границе Дагестанского клина [Габсатарова и др., 2019]

Ежегодно не менее 10% эпицентров слабых землетрясений Северного Кавказа образуют роевые и афтершоковые последовательности. Отдельные рои предвещают возникновение относительно сильного землетрясения, как было перед Курчалойским 11.10. 2008 г., но чаще происходят как релаксация напряжений в тектонических узлах или вдоль разломов.

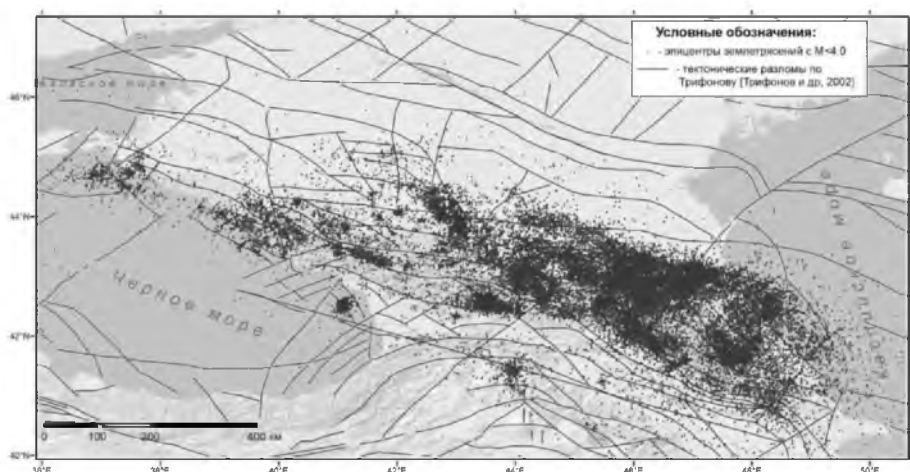


Рис. 5. Положение эпицентров наиболее слабых ($M \leq 4$) землетрясений Северного Кавказа в период с 2000 г. по настоящее время на фоне активных тектонических разломов по Трифонову [2002]

Продолжается регистрация землетрясений с промежуточными глубинами с $h > 70$ км в Терско-Сунженской зоне Терско-Каспийского прогиба. Установлена наметившаяся периодичность реализации таких землетрясений с M_s , близкой к 4.0 на глубинах $h = 150\text{--}170$ км с эпицентрами в пределах Притеречной антиклинальной зоны. Эта периодичность обозначила цикл в 4–5 лет по данным землетрясений в двухтысячных годах: 30.01.2002 г. с $M = 3.9$, 12.10.2006 г. с $M = 4.5$, 08.07.2011 г. с $M = 3.8$ и землетрясения 3 февраля 2016 г. и 22 апреля 2017 г. с $K_p = 10.8$. Координаты их довольно близки и занимают область между $43.5\text{--}43.6^\circ\text{N}$, $45.3\text{--}45.6^\circ\text{E}$, характеризую своеобразную «горячую точку», вероятно связанную с периодическим подъемом больших масс расплавленного вещества из верхней мантии.

Заключение

Сейсмический мониторинг Северного Кавказа в первую четверть XXI в. вышел на качественно новый уровень, благодаря открытию новых станций, модернизации оборудования за счет его цифровизации. Это открыло новые направления исследования связанные с особенностями строения земной коры в этом регионе. Перспективными направлениями также являются внедрение новых подходов в определении основных параметров землетрясений с учетом 3D моделей среды и спектральных параметров очагов.

Литература

1. Кузин И.П., Левченко Д.Г., Лобковский Л.И., Парамонов А.А. О сейсмической опасности района Большого Сочи // Океанология. 2009. Т. 49. №. 5. С. 773–783.
2. Осипов В.И., Ларионов В.И., Суцев С.П., Фролова Н.И., Угаров А.Н., Кожаринов С.В., Барская Т.В. Оценка сейсмического риска территории г. Б. Сочи // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2015. №. 1. С. 3–19.
3. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Дягилев Р.А., Мехрюшев Д.Ю., Зверева А.С. Оценка регистрационных возможностей сейсмической сети в западной части

- Северного Кавказа через геометрию сети и локальный уровень микросейсмических шумов // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56, № 3. С. 35–60. <https://doi.org/10.21455/si2020.3-3>
4. Дзягилев Р.А. MicroNoise, версия 1.3. Руководство пользователя. ФИЦ ЕГС РАН. Обнинск. 2013 –39 с. Дзягилев Р.А. SARra, версия 1. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru/new/sarra.htm>. ФИЦ ЕГС РАН. Обнинск. 2020.14 с.
 5. Лукк А.А., Шевченко В.И. Сейсмичность, тектоника и GPS-геодинамика Кавказа // Физика Земли. 2019. № 4. С. 99–123.
 6. Шевченко В.И., Лукк А.А. Глубокофокусные, мантийные землетрясения Восточной части Кавказского перешейка // Физика Земли. 2020. Т. 2020. №. 2. С. 50–68.
 7. Землетрясения России, 2008–2023 [Электронный ресурс]. <http://www.ceme.gsras.ru/zt/>
 8. Габсатарова И.П., Селиванова Е.А., Лежук Н.М. Современная сейсмичность Восточного Причерноморья Обнинск: ГСРАН. 2013. С. 119–124
 9. Габсатарова И.П. Современная сейсмичность Северного Кавказа Владикавказский научный центр Российской академии наук. 2015. С. 11–22.
 10. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: Геос, 2002. 224 с.
 11. Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А., Татевосян Р.Э., Плетнев К.Г. Сальское землетрясение 22 мая 2001 года с $M_S=4.7$, $M_0=6-7$ (Северный Кавказ) // Землетрясения Северной Евразии 2001г. Обнинск: ГС РАН, 2007. С. 301–316.
 12. Горбатиков А.В., Габсатарова И.П., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Погребченко В.А. Уточнение глубинного строения и кинематики тектонических движений в области Сальского землетрясения 2001 г. на основе новых геофизических данных // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46. №. 2. С. 5–15.
 13. Баранов С.В., Габсатарова И.П. Афтершоковые процессы сильных землетрясений Западного Кавказа // Физика Земли. 2015. № 3. С. 134–144.
 14. Габсатарова И.П., Карпович Е.А., Королецьки Л.Н., Войтова А.С., Каменская О.П. Восточно-Черноморское землетрясение 23 декабря 2012 г. с $K_f=14.1$, $M_{w_{\text{рег}}}=6.0$, $M_{w_{\text{GCMT}}}=5.8$, $I_0^p=7-8$ (Чёрное море, Абхазия) // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 21 (2012 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 433–443.
 15. Заклюковская А.С., Габсатарова И.П. Об особенностях афтершокового процесса Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. с $M=5.6$ // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГСРАН, 2013. С. 167–171
 16. Габсатарова И.П., Пономарева Н.Л., Королецьки Л.Н., Ахмедова М.М. Гагатлинский рой слабых землетрясений – проявление активности Андийского разлома // Российский сейсмологический журнал. 2019. Т. 1. №. 1. С. 46–56.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

© А.А. Додуев¹, И.А. Керимов^{1,2}, А.С. Эльжаев¹

¹ГГНТУ им. акад.М.Д. Миллионщикова

²ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН

Аннотация. Чеченская Республика вошла в число первых семи регионов, в которых созданы карбоновые полигоны для реализации мер контроля климатических активных газов. WAYCARBON – карбоновый полигон Чеченской Республики, одним из операторов которого является ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова. В числе проводимых на участках Карбонового полигона исследований важное место отводится геофизическим исследованиям, получившим, как известно, широкое применение в решении таких экологических задач как изучение территорий захоронения различных твердых отходов и других загрязненных (в том числе нефтепродуктами) территорий, негативно влияющих на состояние окружающей среды. В данной статье описаны методики и аппаратура геофизических исследований, проведенных на эталонном участке «Карбоновая ферма», а также на экспериментальном нефтезагрязненном участке. Также в статье представлены результаты исследований и сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: Геофизические исследования, карбоновый полигон, экспериментальные участки, сейсморазведка, электроразведка

ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова является одним из двух операторов Карбонового полигона Чеченской Республики. Карбоновый полигон «WAYCARBON» (территория, курируемая ГГНТУ) – это шесть эталонных участков с уникальной экосистемой, на которых учеными НИИ геоэкологии и природопользования ГГНТУ проводятся научные исследования по актуальным направлениям экологии, климатологии и др. [3-5].

Такие проблемы экологии (геоэкологии) как сейсмичность, выветривание, оползни, обвалы, загрязнения геологической среды и т.д. достаточно давно изучаются методами инженерной геофизики [1, 7-12]. Широкое применение геофизические методы нашли также в решении таких экологических (геоэкологических) задач, как изучение полигонов твердых бытовых отходов (ТБО), хвостохранилищ промышленных предприятий и других загрязненных территорий, негативно влияющих на состояние окружающей среды и здоровье человека.

В рамках проекта Карбонового полигона Чеченской Республики сотрудниками лаборатории геофизических исследований НИИ геоэкологии и природопользования ГГНТУ проведены исследования на эталонном участке «Карбоновая ферма» и экспериментальном участке, загрязненном нефтепродуктами.

Метод МПВ на «Карбоновой ферме»

Участок исследования расположен на северо-восточной окраине г. Грозный на территории бывшего полигона ТБО, рекультивированного путем засыпки отходов грунтом и высадки деревьев. Задача исследования – уточнение

границы подошвы техногенного грунта с целью последующего определения его толщины. Для её решения проведена сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ). Выбор метода обусловлен несколькими причинами, основными из которых являются: во-первых, низкие информативность и разрешающая способность на данном участке проведенного ранее метода электроразведки (разрез характеризовался как высокоомный, с нелогичными значениями удельных электрических сопротивлений); во-вторых, эффективность МПВ при решении задач выделения неглубоких границ и определения скорости отдельных слоев [8].

Сейсморазведка выполнялась в виде отдельных сейсмондирований по системе профилей. Для корректного построения карт сеть профилей выбиралась максимально равномерной и плотной [9]. Отработка каждого профиля включала от трех до четырех расстановок сеймоприёмников по 94 м каждая. Регистрация волн производилась с использованием 48-канальной линейной сеймостанции ЛАККОЛИТ-48М4. Шаг сеймоприемников составлял 2 м, а общая длина годографа – 94 м, что позволило изучить разрез до глубины 20 м. Всего выполнялось по 11 физических наблюдений (ФН) на пикетах пунктов возбуждения (ПВ). Последовательно выполнялась регистрация (табл. 1) продольных и поперечных волн. Возбуждение сейсмических волн осуществлялось ударами кувалды массой 8 кг по металлической пластине, установленной на грунт. Поперечные волны возбуждались разнонаправленными ударами по системе +YY и -YY. Система наблюдений – встречные и нагоняющие годографы.

Таблица 1

Параметры регистрации	
- частота дискретизации	- 2000
- длина записи, сек	- 2,56 сек.
- ФНЧ, Гц	- выключен
- ФВЧ, Гц	- $\frac{3}{4} N \min$
- режекторный фильтр, Гц	- выключен
- усиление, дБ	- 12
- формат записи	IEEE - SEG D

Камеральная обработка сейсморазведочных данных заключалась в следующем: построение годографов волн; определение скоростей и мощностей слоев; расчет и построение сейсмических разрезов.

По результатам обработки построены сейсмические разрезы продольных (рис. 1, а) и поперечных (рис. 1, б) скоростей (V_p и V_s) для каждого профиля.

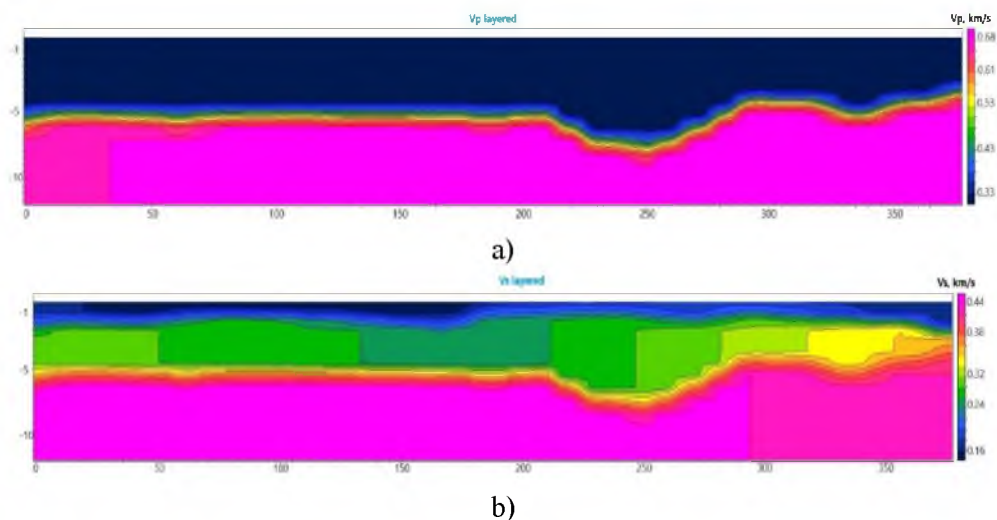


Рис. 1. Пример сейсмических разрезов продольных (а) и поперечных (б) скоростей

На полученных разрезах отчетливо отражаются подошва насыпного и кровля нетронутого грунта. Эта граница однозначно выделяется по дифференциации скоростей. Границы выделяются как по продольным V_p , так и по поперечным V_s скоростям, идентичны и наблюдаются на одной глубине. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что грунтовые воды расположены на глубинах ниже исследованных. На разрезе, построенном по данным поперечных скоростей, выделяется также насыпной слой, которым была проведена герметизация отходов.

По результатам проведенных исследований получены сейсмические разрезы по данным регистрации продольных и поперечных скоростей, построена карта мощности насыпного грунта (рис. 2).

Исследуемый участок расположен в г. Грозный на территории бывших нефтеперерабатывающих заводов. В настоящее время здесь находятся несколько заполненных отходами продуктов нефтепереработки «котлованов» (шламохранилищ). Визуальный осмотр участка показал, что территория вокруг шламохранилищ, включая их борты, заросли кустарниковой и злаково-разнотравной растительностью, содержащиеся в чашах хранилищ нефтеотходы ранее подвергались отжигу. Поверхность неустойчива, при движении по поверхности происходит колебание грунта [6].

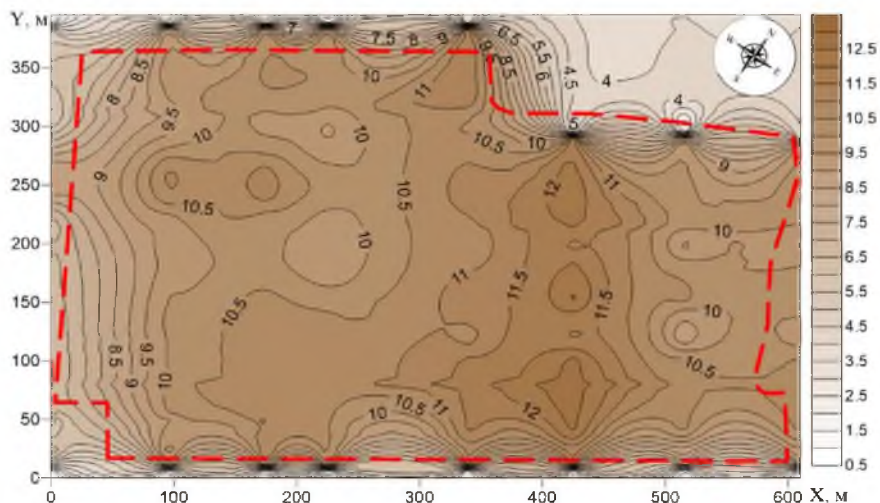


Рис. 2. Карта мощности насыпного грунта

Метод ЭТ на нефтезагрязненном участке

Задача исследования – анализ распределения УЭС в чаше хвостохранилища и оценка фильтрационных свойств его бортов (дамб). Одним из эффективных методов для решения поставленной задачи представляется электротомография (ЭТ).

Так, в работе [7] приводятся результаты электротомографии, которые позволили с высокой степенью достоверности выявить загрязнения окружающей среды нефтепродуктами и определить их площадное распространение. Опыт применения электротомографии для оценки объемов веществ хвостохранилищ горнодобывающих предприятий описан в [2]. Возможность применения геофизики, в том числе и электрических методов, рассмотрены также в работах зарубежных коллег [10-11].

На исследуемом участке с целью подбора оптимальной установки для электротомографии выполнено ВЭЗ на переменном токе частотой 4,88 Гц. Величина разносов АВ/2 принималась равной – 1,5, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 15, 20, 30, 40. В качестве источника тока использован генератор Астра с рабочей частотой 4,88 Гц, с режимом автоматической стабилизации выходного тока и внутренним калибровочным устройством. Заземление производилось латунными электродами на глубину 20-25 и 50 см. Величина токовой утечки определялась на максимальном разnose АВ/2.

Для анализа распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) в чаше шламоохранилища и оценки фильтрационных свойств его бортов на предмет наличия возможных утечек была проведена электротомография и измерения УЭС с использованием зонда ВЭЗ 4-х электродной мини-установки Виннера с шагом электродов 0,1 м. Диапазон полученных значений УЭС (на глубинах 25 и 65 см. от дневной поверхности) составил 0,5-2 Ом, что нетипично для естественных и характерно для техногенных грунтовых условий, особенно с фактором химического загрязнения верхней части грунтовой толщи.

Схема профилей и точек измерения представлена на рис. 3. Составлены карты-срезы распределения УЭС на обозначенных глубинах (рис. 4). Структурный анализ распределения УЭС выявил линейно вытянутую аномалию

с ЮЗЗ на СВВ в середине чаши исследуемого шламохранилища (порядка 1 Ом на обоих уровнях глубин), которая более контрастно выражена на глубине 65 см. от дневной поверхности (рис. 5). Более высокие (относительно полученного диапазона, порядка 1.2-1.6 Ом) УЭС приурочены к подповерхностной части, а на глубине 65 см. локализуются в районе линейно вытянутой аномалии. Наблюдаемая аномалия, вероятно, приурочена к внутренней перегородке, делящей чашу шламохранилища на две практически равные части, и выполненной, скорее всего, из глинистого материала.

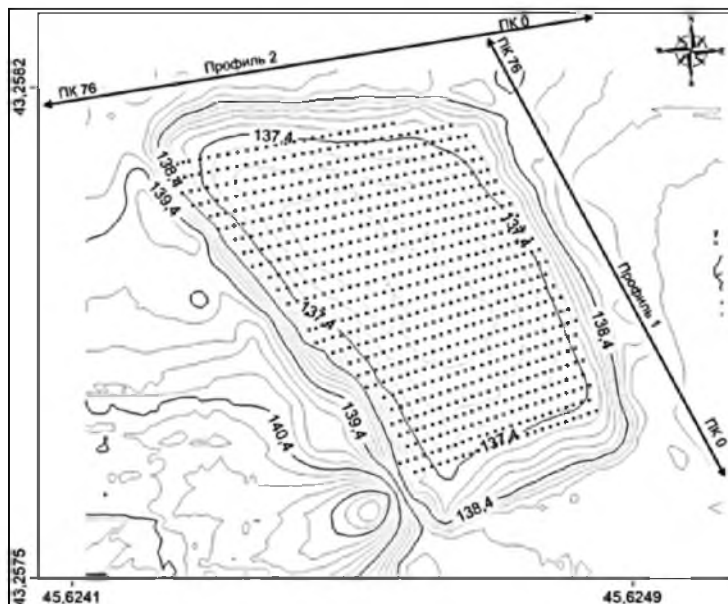


Рис. 3. Схема профилей ЭТ и точек измерений зондом мини-установки ВЭС

В северной части чаши также фиксируется локально ограниченная аномалия (1 Ом и менее), природу которой возможно установить только лишь после бурения шпуров и отбора проб на химический анализ. В результате инверсии полевых данных метода электротомографии получены геоэлектрические разрезы (рис. 5). На профилях по гребням восточного и северного бортов (дамб), ограждающих чашу хвостохранилища, разрезы структурно практически идентичны друг другу. Первый от дневной поверхности слой геоэлектрического разреза восточной дамбы (рис. 6) имеет мощность порядка 0.7-1.0 м и УЭС в диапазоне 60-250 Ом, второй слой характеризуется диапазоном УЭС от 10-35 Ом и мощностью около 1.7-2.0 м, УЭС третьего слоя – в диапазоне 25-110 Ом. Глубина исследования на восточной дамбе порядка 4 м и на северной дамбе порядка 4.5 м от дневной поверхности.

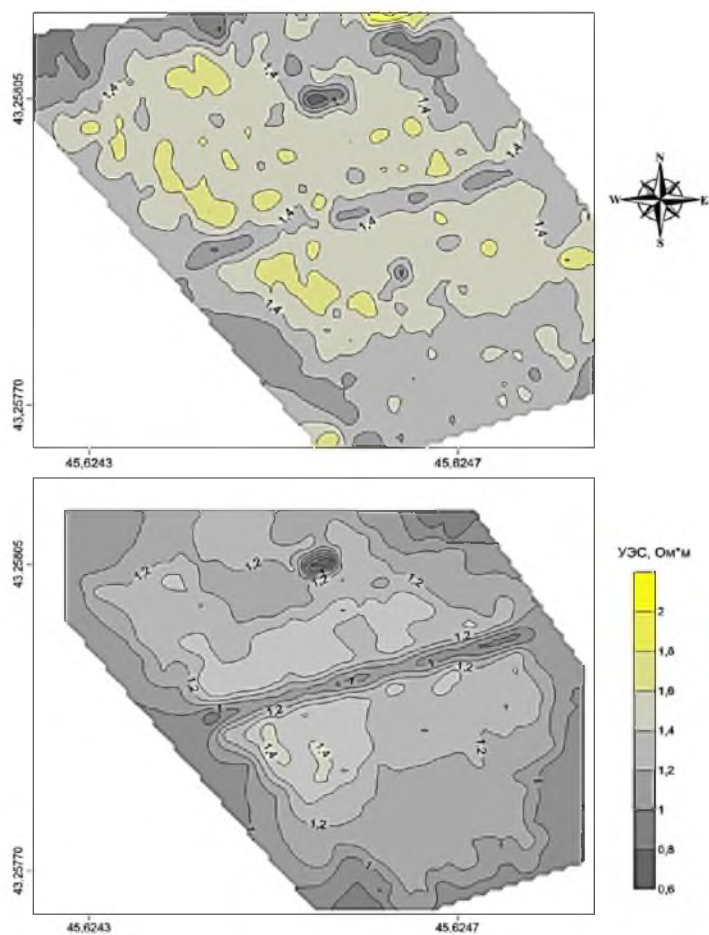
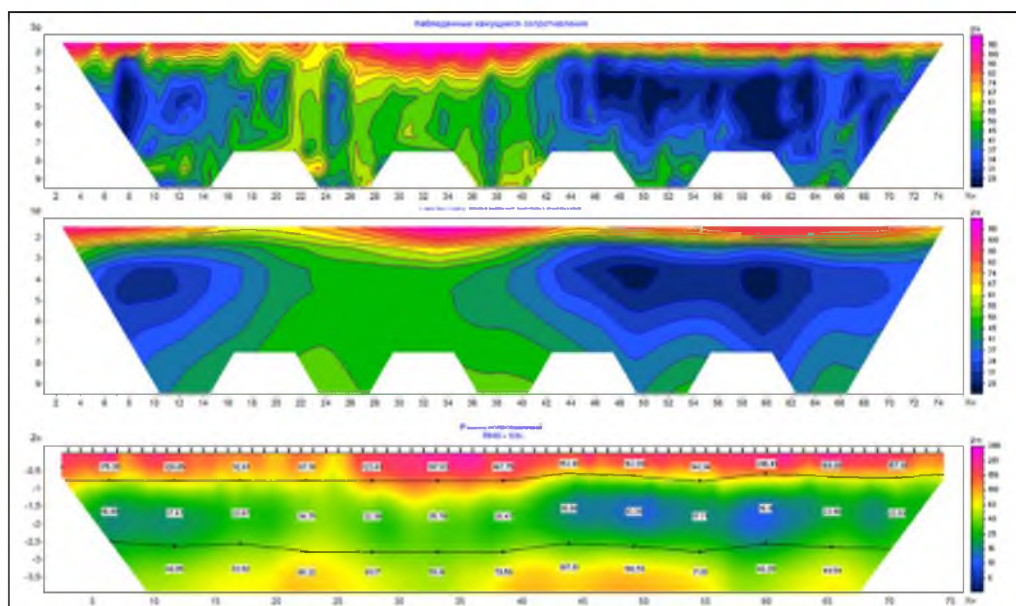
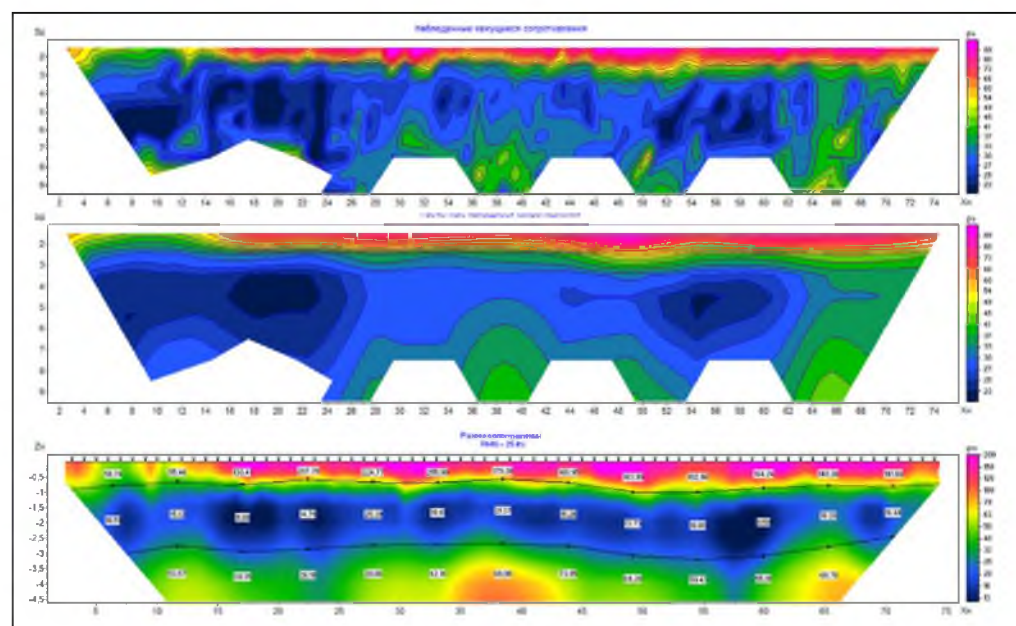


Рис. 4. Карты-срезы распределения УЭС на глубинах 25 и 65 см

Следует отметить, что УЭС второго (10-35 Ом) и третьего (45-110 Ом) слоёв на ЭТ-разрезе по северной дамбе (рис. 7) в среднем в 1.7 раза меньше значений УЭС тех же слоёв (10-20 Ом и 25-75 Ом соответственно) на ЭТ-разрезе восточной дамбы.



а)



б)

Рис. 5. Геоэлектрические разрезы а – восточной дамбы; б – северной дамбы

Таким образом, первый геоэлектрический слой, вероятно, исполнен маловлажными насыпными грунтами суглинистого происхождения. Второй геоэлектрический слой сложен или влажными грунтами суглинистого типа, или глинистыми грунтами. Третий слой, предположительно, представлен грунтами суглинистого типа, но естественной влажности.

В результате визуального обследования физического состояния бортов и чаши изучаемого хвостохранилища зафиксированы просадки грунта в чаше хранилища и на внутренних бортах ограждающих дамб – вдоль ПК 44-65

восточного ЭТ-профиля и вдоль ПК 23-57 северного ЭТ-профиля. С учётом низких значений УЭС второго слоя на обоих ЭТ-разрезах на этих пикетах можно предположить, что водоупорный экран в телах ограждающих дамб нарушен и идёт миграция флюидов из чаши за пределы хранилища.

Выводы

Результаты сейсмических исследований на участке «Карбоновая ферма» позволяют сделать следующие выводы:

- Границы ненарушенного и техногенного грунтов уверенно выделяются на всех разрезах по различию в скоростях. Для техногенного грунта характерны скорости продольных волн от 240 до 330 м/с в поле поперечных волн от 110 до 240 м/с.
- По соотношению величины скоростей до глубины 11-12 м разрез представляется необводненным.
- Сравнение полученных значений скоростей техногенной природы с литературными источниками и опытом ранее выполненных работ свидетельствует об уплотнении слоя отходов за последнее время, практически до состояния естественного грунта.

По результатам электротомографических измерений сделаны следующие выводы:

- Зарегистрированные значения УЭС характерны для участков, загрязненных отходами нефтехимического производства;
- На построенных картах-срезах отчетливо наблюдаются две аномалии – большая (линейно вытянутая), пересекающая хранилище отходов нефтехимического производства по середине, и маленькая (локально ограниченная) – в северной части участка. Первая аномалия с большой долей вероятности указывает на наличие под техногенным грунтом глинистой перегородки;
- Просадки грунта указывают на нарушение водоупорного экрана, вследствие чего вероятно распространение загрязнения за пределы шламохранилища.

Работа выполнена в рамках государственного задания ГГНТУ им. Акад. М.Д. Миллионщикова № FZNU-2021-0012 «Комплексная интерпретация геофизических и геоэкологических данных для изучения баланса парниковых газов»

Литература

1. Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика. Учебное пособие. Москва: МГУ, 2000. 254 с.
2. Карин Ю.Г., Юркевич Н.В. Подход к обработке данных электротомографии для оценки объемов веществ хвостохранилищ // Интерэкспо Гео-Сибирь. Т. 2. № 2. Новосибирск. 2021. С. 62-66.
3. Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики: I. Ландшафтные особенности и структура // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2021. Том 6. №3(25). С.35-47.
4. Керимов И.А., Махмудова Л.Ш., Мячина К.В. и др. Карбоновый полигон Чеченской Республики: II. Методы исследований и первые результаты // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Том 7. № 4 (30). 2022. С. 62-78.

5. Керимов И.А., Эльжаев А.С., Додуев А.А. Карбоновый полигон Чеченской Республики: III. Геофизические исследования на карбоновой ферме // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2022. Т.16. № 4. С. 60-67.
6. Маркарова М.Ю., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А. и др. Анализ парниковых газов на нефтезагрязненных территориях и разработка методов их биорекультивации (на примере г. Грозный). Геология и геофизика Юга России. 2022. 12(4). С.153-168.
7. Пыстин В.Н., Тупицына О.В., Букин А.А., Чертес К.Л. Геофизические изыскания и критерии применимости биологических методов при рекультивации нефтезагрязненных территорий // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. № 3(306). М.: Изд. дом «Губкин», 2022. С. 12-19.
8. Романов В.В., Иванов А.А., Кауркин М.Д. Инженерная сейсморазведка при изучении полигонов ТБО // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Изд-во РУДН, 2018. С. 142-146.
9. Романов В.В. Инженерная сейсморазведка. М.: Изд-во ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2015. 278 с.
10. Binley, A., Kemna, A. (2005). DC resistivity and induced polarization methods. In Y. Rubin & S.S. Hubbard (Eds.), Hydrogeophysics. Dordrecht, Netherlands: Springer. pp. 129-156.
11. Doolittle, J.A., Brevik, E.C. (2014). The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. Geoderma, 223. 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.027>.
12. Romero-Ruiz, A., Linde, N., Keller Th., Or, D. (2018). A Review of Geophysical Methods for Soil Structure Characterization. Reviews of Geophysics. Vol. 56. pp. 672-696.

АКТИВИЗАЦИЯ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ ЭЛЬБРУССКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

© З.И. Дударов¹, А.А. Саяпина², И.Ю. Дмитриева²

¹ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск

²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, Владикавказ

Аннотация. В работе отражены результаты исследования роевых землетрясений, зарегистрированных в районе Эльбурского вулканического центра (ЭВЦ) сейсмологической сетью ФИЦ ЕГС РАН. В программном комплексе LOS с использованием сложного комбинированного алгоритма локации, методами минимизации невязки времени в очаге и поиска по сетке с перебором глубин получены гипоцентры сейсмических событий роевых последовательностей. Решения фокальных механизмов наиболее сильных событий роевых процессов показали, что тип движения в очаге согласуется с кинематикой Эльбурско-Минераловодской зоной сбросо-сдвиговых нарушений. Анализ волновых форм и спектров мощности смещения большинства землетрясений роевых последовательностей по ближайшей сейсмической станцией показал, что события сгенерированы одним источником.

Ключевые слова: Эльбурский вулканический центр, ЭВЦ, вулкан Эльбрус, рой, сейсмическое событие, землетрясение, разлом, флюиды

Эльбурский вулканический центр – область проявления новейшего и современного вулканизма на территории Северного Кавказа, где имеют место интрузивные и гидротермальные процессы, эндогенные потоки вещества и энергии, образующие магматические структуры [9]. Основным геологическим элементом ЭВЦ выступает вулкан Эльбрус со своей геологией, морфологией и историей. Эльбрус расположен в центральной части Большого Кавказа (рис. 1а) и является одним из самых высоких вулканов мира. Многочисленные исследования последних нескольких десятков лет показали, что геофизические процессы, протекающие в районе Эльбруса, свойственны вулканам, и что он проявляет себя как действующий вулкан, находящийся в состоянии покоя [9]. Исследования по прогнозированию развития вулканической активности Эльбруса являются актуальными, так как возобновление эндогенных процессов (землетрясений, извержения с лавовыми потоками) и связанные с ними склоновые явления (сели, оползни, обвалы, лавины, подвижки ледников и крупные водные потоки за счет быстрого таяния ледников) могут нанести серьезные катастрофические воздействия на природные экосистемы региона и создать угрозу жизни людей, проживающих в близлежащих населенных пунктах.

Северная часть Большого Кавказского хребта, к которому приурочен ЭВЦ, является одним из активных в геодинамическом плане регионов России, который характеризуется интенсивными движениями земной коры. Оценка скоростей смещений [11] показывает движение структур Большого Кавказа в север-северо-восточном направлении со скоростью 27–28 мм/год в отсчетной системе ITRF2014, при общем сжатии региона со скоростью 1–2 мм/год относительно неподвижной Евразии.

Рассматривая разломную тектонику ЭВЦ можно отметить, что она имеет сложную структуру (рис. 1б), формирующуюся нарушениями разного генезиса.

Важную роль в этой системе занимает протяженная на несколько сотен километров Пшекиш-Тырныаузская шовная зона (ПТШЗ) близширотной направленности. Южнее ПТШЗ прослеживаются активный Сылтранский, проходящий через тело вулкана Эльбрус и Адылсуйский разломы. Восточнее вулкана проходит близмеридиональный Малкинский разлом. Сейсмические события [12, 13], произошедшие в прошлом на территории ЭВЦ, связаны с указанными разломами.

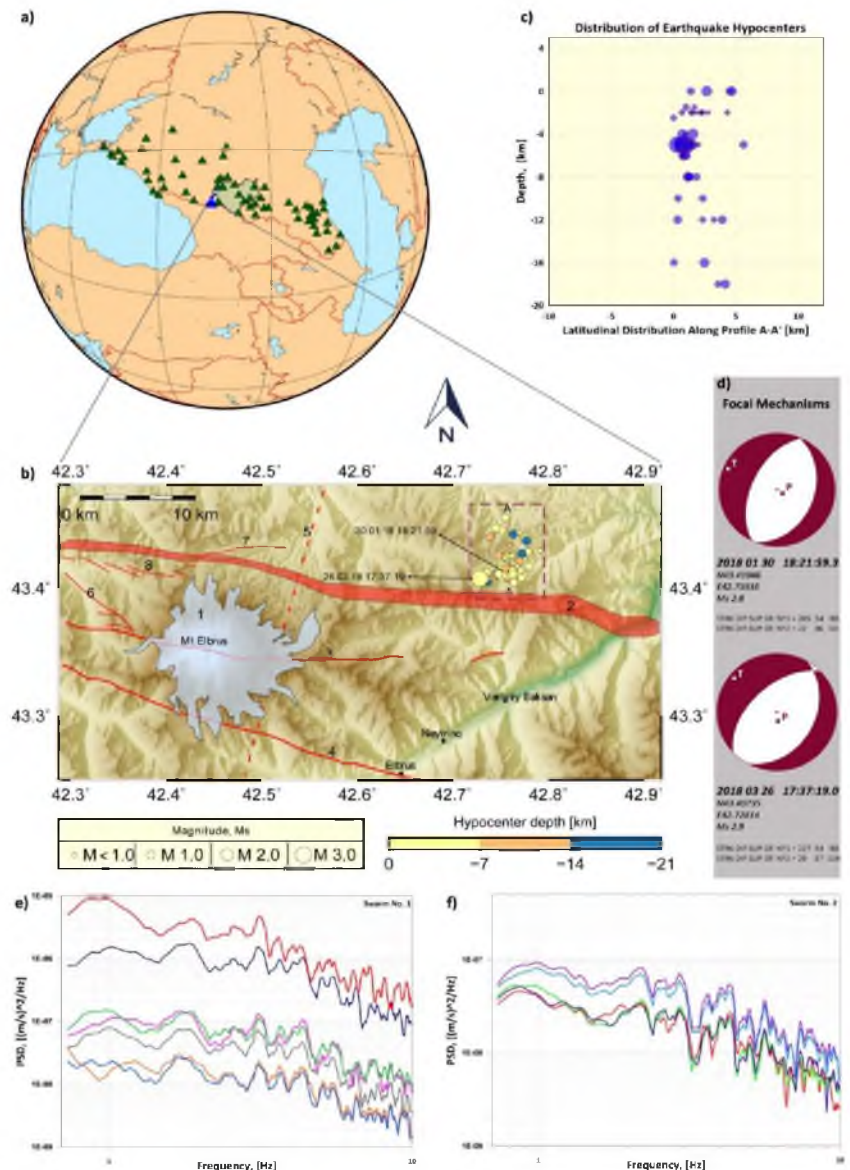


Рис. 1. Общая информация об объекте исследования и полученные результаты

Обозначения: а) - Федеральная сейсмическая сеть на территории Северного Кавказа (треугольниками показаны положения сейсмических станций, а синим маркером в. Эльбрус); б) – карта разломов ЭВЦ и эпицентров роевых землетрясений (1 – оледенение Эльбруса; 2 – Пшекиш-Тырныаузская шовная зона; 3 - Сылтранский разлом; 4 - Адылсуйский разлом; 5 – Малкинский разлом; 6 – Кюкюртлинский разлом; 7 –

Кызылкольский разлом; 8 – Чемарткольский разлом); с) – глубинное распределение роевых событий вдоль отрезка А-А' на (рис. 1b); d) – решения фокальных механизмов наиболее сильных очагов роевых процессов; е) – сравнение спектральной плотности мощности отдельных землетрясений первого роя; f) – сравнение спектральной плотности мощности отдельных землетрясений второго роя.

Изучение сейсмических процессов Большого Кавказа осуществляется сейсмологической сетью ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1a). Всего в регионе функционирует порядка 60 сейсмических станций, оснащенных современным цифровым оборудованием с защищенными каналами и передачей данных в информационно-обрабатывающие центры в режиме, близком к реальному времени. Большая часть территории Центрального Кавказа, в том числе и территория ЭВЦ находится в зоне ответственности Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

В процессе непрерывного мониторинга, сейсмологической сетью ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировано в январе и марте 2018 года две роевые последовательности, в непосредственной близости от Эльбруса. Первый рой включал в себя 15 землетрясений с магнитудой $0.3 \leq M_s \leq 3.2$ и длился с 25 по 30 января. При этом наибольшее число событий произошло 30 января. Вторым рой охватывает 44 толчка с магнитудой $0.1 \leq M_s \leq 2.9$. Из них 34 землетрясения произошли в течение двух часов 26 марта. Формирование второго роя завершилось 30 марта.

Координаты эпицентров роевых землетрясений были определены в программном комплексе LOS [1, 2] с использованием сложного комбинированного алгоритма локации. Методом минимизации невязки времени в очаге в первом приближении определялись координаты сейсмических событий, после чего из полученной конечной точки выполнялся поиск по сетке методом Generalized Beamforming [15] для набора глубин от 0 до 30 км с определением весов всех используемых для локации фаз. На последнем этапе, из центра оптимальной ячейки, для глубин от 0 до 30 км и с весами фаз выполнялся алгоритм минимизации невязки. В результате перебора глубин, за результирующую глубину выбиралась та, которая принимала наименьшее значение невязки.

Полученные эпицентры представлены на рис. 1b. Область сейсмической активности находилась в 20 км к северо-востоку от вулкана Эльбрус. Вдоль отрезка А-А' построен разрез глубинного распределения роевых событий (рис. 1c). Как видно из рисунка, гипоцентры в основном рассеяны в 10 км толще. При этом источник генерации сейсмических толчков располагался на глубинах 2-5 км, где наблюдается наибольшая плотность событий.

По данным региональных сейсмических станций, на основе знаков первых вступлений продольных Р волн построены механизмы очагов наиболее сильных событий роевых процессов (рис. 1d). Полученные результаты показывают, что движение в очаге произошло под действием значительного превалирования близ горизонтальных сил растяжения, ориентированных в северо-западном направлении. Тип подвижки по обеим плоскостям для землетрясения 30 января – чистый сброс. Тип движения по нодальной плоскости NP1 для очага 26 марта представлен сбросом с элементами левостороннего сдвига, по нодальной плоскости NP2 – сбросом с элементами правостороннего сдвига. Решения механизмов очагов демонстрируют подобный тип движения,

согласующийся с кинематикой Эльбруско-Минераловодской зоной сбросо-сдвиговых нарушений [10], в пределах которой они локализовались. Данная проницаемая область в виде полосы сближенных разрывных нарушений общей шириной до 30 км и транслирующаяся вдоль оси Минераловодской антиклинали в эпоху кайнозойского горообразования выполняла магнеподводящую роль и имела важное значение для циркуляции подземных вод [6].

Анализ волновых форм и спектров мощности отдельных землетрясений каждого из роев (рис 1e, 1f) по вертикальной компоненте ближайшей станции «Шиджатмаз» (расстояние 37 км), фильтрованных в диапазоне частот 1-10 Гц, включающих Р и S волны, показал высокие значения коэффициентов корреляции $R=0.85-0.98$, указывающие на генетическое подобие событий в пределах одного роя и отличие в разных. Идентичность волновых форм и спектров на одной и той же станции свойственны землетрясениям роевых процессов и неоднократно данная закономерность наблюдалась на Северном Кавказе [3-5].

Серии малых и средних землетрясений, которые происходят в некоторой локальной области за относительно короткий период времени относятся к роевым процессам. В вулканических и тектонических структурах роевые события происходят за счет внешних сил, наиболее распространенными среди которых являются асейсмические и локальные переходные процессы, такие как ползучесть, медленное скольжение, магматические интрузии и перераспределение флюидов. Некоторые исследователи связывают роевые последовательности с диффузией расширяющейся жидкости [16] и с образованием зоны дилатансии. В большинстве случаев рои землетрясений связаны с миграцией магмы и активностью геотермальных флюидов [17], что вполне может иметь место на вулкане Эльбрус, так как проведенные ранее исследования по изучению глубинного строения позволили получить результаты, подтверждающие наличие под Эльбрусом на глубине 5-6 км магматической камеры [7, 8, 14] и позволяющие делать предположительное заключение, что явление роеобразования на территории ЭВЦ можно рассматривать как процесс гидродинамический, связанный с движением флюидной массы (рис. 2), где последние, как было отмечено выше, играют важную роль в динамике смещения разлома.

Исследования глубинного строения методом микросейсмического зондирования на южном склоне Эльбруса и вдоль Баксанского ущелья не позволили провести оценку об объёмном размере магматического резервуара, но по глубине положение выявленной низкоскоростной разуплотнённой структуры, интерпретируемой как магматическая камера, совпадает с гипоцентрами роевых землетрясений.

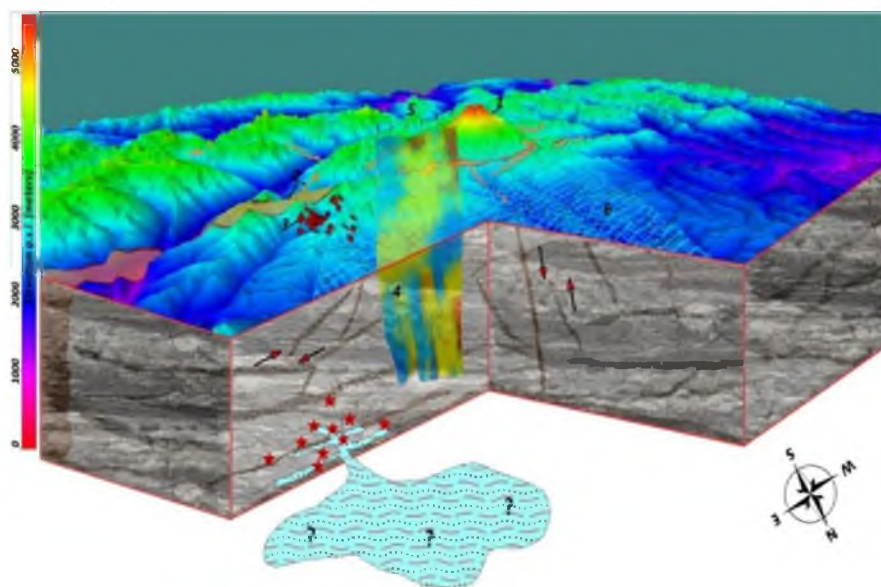


Рис. 2. Модель роеобразования в районе Эльбурского вулканического центра

Обозначения на схеме: 1 – пространственное положение в. Эльбрус; 2 – разрывные нарушения на территории ЭВЦ; 3 – проекция гипоцентров роевых землетрясений на дневную поверхность; 4 – геофизический разрез в. Эльбрус, полученный методом микросейсмического зондирования; 5 – пункты регистрации микросейсм при исследовании глубинного строения в.Эльбрус; 6 – Эльбурско-Минераловодская зона сбросо-сдвиговых нарушений.

В заключении можно отметить, активизация роевых процессов диктует необходимость развития инструментальных наблюдений на территории ЭВЦ, так как непрерывное изучение Эльбруса позволит понять глубже процессы, протекающие в его недрах и разработать методы предотвращения возможных катастроф. Необходимо помнить, что вулканы требуют постоянного мониторинга и контроля, чтобы избежать стихийных явлений и обеспечить безопасность людей.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания №075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

1. Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В. Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. 2021. Т. 3. № 1. С. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.02>.
2. Асминг В.Э. LOS. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021665940 от 05.10.2021 г.
3. Войтова А.С., Габсатарова И.П. Исследование слабых роев в 2016 г. в районе Сочи и Красной поляны // Современные методы обработки и интерпретации

- сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2016. С. 98–102.
4. Габсатарова И.П., Пономарева Н.Л., Королеуки Л.Н., Ахмедова М.М. Гагатлинский рой слабых землетрясений – проявление активности Андийского разлома // Российский сейсмологический журнал. 2019. Т. 1. № 1. С. 46–56.
 5. Габсатарова И.П., Королеуки Л.Н., Пономарева Н.Л., Каменская О.П. Сравнительные характеристики волновых форм роев землетрясений в Дагестане в 2019 // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 31.
 6. Годзевич Б.Л. Геологическое строение и история развития гор Пятигорья // Вестник Ставропольского государственного университета. 2002. № 31. С. 110–120.
 7. Дударов З.И., Лиходеев Д.В., Жостков Р.А., Преснов Д.А., Долов С.М., Боготов Н.Х., Данилов К.Б. Глубинное строение вулкана Эльбрус // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2016. С. 135–139
 8. Лиходеев Д.В., Дударов З.И., Жостков Р.А., Преснов Д.А., Долов С.М., Данилов К.Б. Исследование глубинного строения вулкана Эльбрус методом микросейсмического зондирования // Вулканология и сейсмология. 2017. № 6. С. 28–32.
 9. Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л., Комкова Л.А., Лаверова Н.И. Флюидно-магматические системы Северного Кавказа. М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2010. 280 с.
 10. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, 484 с.
 11. Милуков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Горбатилов А.В., Стеблов Г.М., Корженков А.М., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М., Агбалов А.О., Сенцов А.А., Dogan U., Ergintav S. Современные тектонические движения Западного Кавказа и Предкавказья по ГНСС наблюдениям // Геотектоника. 2022. № 1. С. 51–67.
 12. Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на северном Кавказе в голоцене // Физика Земли. 2005. № 3. С. 33–46.
 13. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатилов А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. М. ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
 14. Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Горбатилов А.В. Глубинное строение и режим вулканической и сейсмической активности Приэльбрусья // Геотектоника. 2018. № 6. С. 69–81.
 15. Kværna T., Ringdal F. Generalized Beamforming, Phase Association and Threshold Monitoring using a Global Seismic Network / Eds E.S. Husebye, A.M. Dainty // Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty. NATO ASI Series. V. 303. Dordrecht: Springer, 1996. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0419-7_24.
 16. Nur A. Matsushiro, Japan, earthquake swarm: Confirmation of the dilatancy-fluid diffusion model // Geology. 1974. V. 2. № 5. P. 217–221.
 17. Shelly D.R., Ellsworth W.L., Hill D.P. Fluid – faulting evolution in high definition: Connecting fault structure and frequency-magnitude variations during the 2014 Long Valley Caldera, California, earthquake swarm // J. of Geophys. Res.: Solid Earth. 2016. V. 121. № 3. P. 1776–1795.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ

© В.Б. Заалишвили

Геофизический институт ВНИЦ РАН, Владикавказ

Аннотация. В работе представлен комплексный метод оценки сейсмической опасности территории, предусматривающий на выходе составление вероятностных карт сейсмического микрорайонирования. Комплексный подход, основанный на современных достижениях инженерной сейсмологии, позволяет значительно повысить адекватность или обоснованность оценок и более целенаправленно проводить работы по сейсмическому микрорайонированию территорий (СМР) не формально, а с учетом особенностей того или иного региона на основе использования самых совершенных методов и способов СМР для создания вероятностных карт СМР – непосредственной основы сейсмостойкого проектирования и строительства.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, детальное сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование, интенсивность, ускорение, акселерограмма

В настоящее время в мире для определения сейсмических нагрузок для инженерных проектов, как правило, используется вероятностная оценка сейсмической опасности. Вероятностный подход представляет собой более систематизированный метод для оценки количества, размеров и местоположения будущих землетрясений [8, 14, 18], чем это делается при использовании других методов. Формальные процедуры для вероятностной оценки включают в себя определения пространственно-временных неопределенностей для прогнозируемых (будущих) землетрясений. Важным этапом в развитии метода стала компьютерная программа Мак Гайра EQRISK [17]. Программа была широко распространена и по сегодняшний день весьма популярна. В связи с этим, вероятностную оценку сейсмической опасности часто называют методом Корнелла-МакГайра. Программа включает в себя интегрирование по распределению неопределенностей.

Кавказский регион характеризуется высокой интенсивностью динамических геологических процессов [16] и связанными с ними опасностями как естественной, так и техногенной природы. Особенно ярко среди этих опасностей выражена сейсмичность, сопровождающаяся широким спектром вторичных процессов. Среди них можно отметить разрывы земной поверхности, оживление ранее известных неактивных разломов, оползневые явления, обвалы, лавины, крип, просадки земной поверхности, активизацию покровных структур, разжижение грунтов и другие опасные явления.

Согласно результатам проведенной экспертной оценки сейсмического потенциала ($M_{\text{макс}}$) были составлены карты районирования сейсмических источников – зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ) территории Северной Осетии.

Максимальная магнитуда ожидаемых землетрясений (сейсмический потенциал, $M_{\text{макс}}$) оценивалась по результатам применения внерегионального сейсмотектонического метода оценки сейсмической опасности, предложенного Г.И. Рейснером. Использование внерегионального сейсмотектонического метода оценки сейсмического потенциала, основы которого описаны в ряде публикаций

[4, 6], показало, что Северный Кавказ представляет собой область весьма высокой сейсмической опасности.

В 2007 г., по данным полевых исследований, было установлено, что наибольшую опасность для урбанизированных территорий Северной Осетии представляют Владикавказская, Моздокская, Сунженские и Терская зоны ВОЗ. После составления этих карт была выполнена параметризация очагов, т.е. для каждого из очагов оценивалась их $M_{\max}$ – наибольшая возможная магнитуда [7]. Это наиболее трудная задача в процессе параметризации зон ВОЗ. $M_{\max}$ определялась по данным ряда авторов [5, 13, 21].

Второй существенный параметр, характеризующий ожидаемые землетрясения, это диапазон глубин очагов, в которых зарождается большинство сейсмических событий соответствующей магнитуды. Согласно многочисленным исследованиям Кавказ представляет собой регион верхнекорового расположения очагов – глубина их не превышает 20–25 км (более глубокая сейсмичность наблюдается в Терско-Сунженской зоне в районе г. Грозного и в Каспийском море). Так как для этого района распределение очагов по глубине не проводилось, для расчетов было принято среднее значение глубины равное 10 км (табл. 1).

Для оценки параметров соотношения повторяемости в процессе выполнения ряда исследований по международным проектам был проверен и уточнен каталог землетрясений. Исправленный каталог Кавказа содержит более 61000 землетрясений, включая 300 исторических событий, которые произошли в течение 2000 лет. Этот каталог был выверен и исправлен. Некоторые гипоцентральные параметры землетрясений были рассчитаны повторно.

Пороговая магнитуда для всего каталога, а также значения a и b закона повторяемости были определены для крупных тектонических зон, поскольку их расчет для отдельных зон ВОЗ был невозможен из-за отсутствия данных. Значение b закона повторяемости определяется по формуле Гутенберга-Рихтера:

$$\lg(N/T)=a-bM, \quad (1)$$

где a и b –параметры, соответственно наклон и уровень графика повторяемости при $M=0$.

Эффект землетрясения оценивался на основе использования двух различных параметров: макросейсмической интенсивности и пикового ускорения основания (PGA). Макросейсмическая интенсивность (шкала MSK-64) традиционно использовалась для сейсмического районирования в СССР. В работе [15] показано, что параметры макросейсмического поля, определенные в каталоге сильных землетрясений, дают средние значения, которые хорошо описывают макросейсмическое поле для средних землетрясений и вдали от эпицентра. В вышеупомянутой работе параметры определены для сильных землетрясений и сравнительно близких расстояний.

С другой стороны, инструментальные данные сильных движений на Кавказе и смежных областях позволяют нам использовать PGA и спектральный закон затухания ускорения для анализа сейсмической опасности.

Сопоставление соотношений затухания для пикового горизонтального ускорения с подобными соотношениями для других регионов, в частности, с

моделями Запада Северной Америки показывает хорошее соответствие. Очевидно, что затухание в Европе более низкое по сравнению с Кавказом и прилегающей областью. Предсказанные пиковые значения в ближней зоне выше, чем соответствующие значения, полученные с помощью других Европейских моделей [20].

Для территории Северной Осетии были созданы карты сейсмической опасности, определяющие вероятность превышения фиксированной величины сотрясений в течение различных времен экспонирования, в виде набора карт для макросейсмической интенсивности при повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2%, 5% и 10% в масштабе 1:200 000.

При расчетах использовалась компьютерная программа SEISRISK III, разработанная в 1987 Бендером и Перкинсом [9, 19]. Карта наблюдаемых максимальных интенсивностей сопоставлялась с картами различных периодов экспозиции, и на основе анализа различий между наблюдаемыми и расчетными картами была выбрана наиболее реальная карта. В соответствии с этими критериями, для сейсмического районирования территории Северной Осетии может быть рекомендована карта 5% вероятности превышения в течение 50 лет.

Анализ карт показывает, что главная сейсмическая опасность связана с теми разломами или зонами ВОЗ, которые расположены близко к городу Владикавказ (рис. 1 и 2).

Как уже отмечалось, в 2007 г. такая карта сейсмической опасности территории в масштабе М 1:200 000 (в 1 см 2 км) была создана для Северной Осетии. Подобные карты сейсмической опасности существуют, но с масштабом М 1: 8000 000 (в 1см 80км). А значит, они проигрывают в детальности.

Предлагается использовать карты в масштабе 1:200 000 для всего Северного Кавказа. Могут быть созданы карты сейсмической опасности в масштабе М 1:200 000 для Чеченской, Кабардино-Балкарской и других территорий. Учитывая, что разломы и другие отличительные характеристики территории существуют вне любых границ, в том числе, государственных, вполне можно в принципе построить совершенно непривычную, но вполне физически обоснованную одну общую карту детального сейсмического районирования территории всего Кавказа в масштабе М 1:200 000, причем можно строить их для различных временных экспозиций и, соответственно, вероятностей. Так созданные карты детального сейсмического районирования РСО-А соответствуют 10%, 5% и 2% вероятностям превышения опасного события. Карты 10% соответствуют реализации землетрясения в 500 лет раз, 5% – 1000 лет и 2% – 2500 лет. При этом по мере увеличения времени растет уровень сейсмической опасности и т.д.

Собственно, описанные карты детального сейсмического районирования представляют собой ни что иное как «долгосрочные» карты прогноза мест ожидаемой различной интенсивности. Разумеется, заранее вывести людей с опасной территории до прогнозируемого землетрясения не удастся, но исключить погребение населения под разрушаемой, а точнее только повреждаемой в той или иной степени застройкой, формируемой с учетом таких карт, вполне реально. Там, где более грамотное общество, там всегда меньше сейсмический риск, т.е. меньше экономических и социальных потерь. Так, что приоритеты ясны.

На основе указанных карт необходимо составить карты сейсмического микрорайонирования городов и крупных населенных пунктов каждого

отдельного субъекта Федерации с использованием самых современных стандартных методов и способов, но уже в масштабе М 1:10 000 (в 1см-100м). Впервые разработаны вероятностные карты сейсмического микрорайонирования. Такие карты сейсмического микрорайонирования являются непосредственной и надежной основой сейсмостойкого проектирования и строительства объектов.

Созданный по вышеописанной методологии комплект карт позволяет обеспечить одинаковую степень риска в пределах территорий, охватываемых каждой из карт, и предназначен для сейсмостойкого строительства и мер по снижению сейсмического риска для разных категорий степени ответственности и сроков службы [21]. Мы предлагаем использовать карты 5%-ной вероятности для массового, т.е. основного строительства, а карты 2%-ной вероятности для строительства объектов повышенной ответственности. В то же время, необходимо иметь в виду, что указанные карты представляют необходимую основу для проведения сейсмического микрорайонирования (СМР) и создания соответствующих карт.

Кроме того, необходимо отметить, что при использовании традиционных единиц макросейсмической интенсивности границы между различными зонами характеризуются резкими изменениями, явно не соответствующими реальной ситуации монотонного изменения интенсивности для однородных грунтовых условий исследуемой территории. Это, несомненно, будет формировать заметные погрешности при оценках уровня сейсмической опасности той или иной территории. Использование на практике искусственного дробления интенсивности в виде, например, 7,2 или 8,3 балла недостаточно обосновано с теоретической точки зрения. Так, во-первых, обычно не объясняется, как эти дробные оценки получены, а, во-вторых, последующий переход к единицам ускорений (очевидно, по зарубежным данным, т.к. записей ускорений для формирования надежной корреляции в России нет), несомненно, формирует значительную погрешность, да и вряд ли физически обоснован из-за условности собственно параметра «интенсивность в баллах».

При оценках сейсмического воздействия инженеры при сейсмостойком проектировании используют значения ускорений, соответствующие (строго говоря, принятые достаточно условно) определенным интенсивностям в баллах. Так, принято, что 7 баллам соответствует расчетное ускорение $a = 0,1 \text{ g}$, 8 баллам – $0,2\text{g}$, 9 баллам – $0,4\text{g}$ и т.д. В то же время, развернутая сеть цифровых станций на Южном Кавказе, начиная со Спитакского (Армения, 1988), Рачинского (Грузия, 1991), Барисахского (Грузия, 1992), Бакинского (Азербайджан, 2000), Гюбанского (Грузия, 2000), Тбилисского (Грузия, 2002) и других землетрясений, создала условия для формирования базы данных записей ускорений для Кавказа. Это позволяет совершенно независимо строить карты сейсмической опасности в единицах грунтового ускорения. Такие карты для территории Северной Осетии, а именно карты сейсмической опасности (PGA – пики грунтовых ускорений) для повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2%, 5% и 10% также в масштабе 1:200 000 были построены. Хорошо видно, что меняя шаг сглаживания можно получать любое, и при этом физически вполне обоснованное, плавное изменение ускорений, которые прямо можно использовать при задании сейсмических воздействий.

В отличие для карт ОСР с масштабом $M 1: 8\,000\,000$ и в лучшем случае с масштабом $M 1:2\,500\,000$ полученные карты обоих видов в масштабе $1:200\,000$ можно отнести к картам типа ДСР (детального сейсмического районирования).

Таким образом, представленные материалы позволяют на детальном уровне оценить сейсмическую опасность, по известным формулам макросейсмического поля рассчитать сейсмические воздействия в баллах, что может послужить надежной основой для проведения сейсмического микрорайонирования.

На следующем этапе проводится сейсмическое микрорайонирование (СМР). Необходимо отметить, что в качестве основы будут использованы карты с различной вероятностью превышения в качестве исходной интенсивности, величина которой прямо соответствует интенсивности участков, сложенных средними грунтами или характеризующихся средними грунтовыми условиями, и которые, таким образом, будут отнесены к 7, 8 или 9 баллам (аналогично и для ускорений). Использование в последующем соответствующих методов и способов СМР позволит получить соответствующие карты СМР.

Особый интерес представляет обоснованность задания сейсмического воздействия в виде акселерограммы. Здесь весьма привлекательным является использование подхода, разработанного на основе учета физических механизмов формирования очага. Если в традиционных расчетах вид воздействия специально задается величинами амплитуды, периода и продолжительности колебаний и т.д., полученных на основании статистической обработки данных прошлого опыта, то в рассматриваемом подходе синтезированная акселерограмма формируется на основе величины максимальной магнитуды, протяженности разлома, глубины очага, эпицентрального расстояния от опасного очага и, несомненно, физически более обоснована. Использование подобного подхода позволяет на исследуемой площадке кроме уровня интенсивности, получать синтезированные акселерограммы с помощью программы FINSIM (Beresnev, Atkinson). Возможности модели были проверены по записям сильных землетрясений. Изучение достоверности результатов показало, что стохастический конечно-разломный метод, описанный выше, точно воспроизводит грунтовые движения для целого ряда значительных событий, включая землетрясение $M=8,1$ Мехико (1985), $M=8,0$ Чили (1985), $M=5,8$ Квебек, (1998) и $M=6,7$ Нортридж (1994) [10, 11]. Использование подобного подхода позволяет для средних грунтовых условий получать записи, которые далее будут претерпевать искажения, обусловленные распространением приходящей волны в различных видах грунтов, слагающих исследуемую площадку.

Анализ и последующий учет трансформации исходных синтезированных акселерограмм станет основой прогноза поведения указанных грунтов при сильных сейсмических воздействиях [3].

Методы подобного моделирования основаны на условии соответствия спектральных свойств искусственного и реального землетрясения. В целом, точность критерия моделирования зависит от того, с какой целью должно быть использовано суммарное движение и точное восстановление характеристик, которые оказывают влияние на поведение конструктивной системы должно быть обязательным.

Источник землетрясения, представляющий собой область разрыва, может рассматриваться в виде точечного на расстояниях больших по сравнению

с размером разлома. На меньших расстояниях становятся значимыми явления связанные с конечными размерами разлома. Эти явления в первую очередь вызваны конечной скоростью распространения испарывания, в результате чего отдельные части разлома излучают энергию раньше, чем другие; волны, излучаемые, таким образом, с задержками затем интерферируют, вызывая значительные эффекты направленности [10, 12].

Сопоставляя полученные амплитудные спектры расчетных акселерограмм с амплитудным спектром зарегистрированного колебания грунтов от реального землетрясения, сформированного в рассматриваемом источнике, можно видеть, что спектры колебаний от расчетного землетрясения и реального события схожи по их главным показателям.

Использование карт ДСР в единицах ускорений на уровне СМР возможно только для расчетного метода, где результаты расчетов даются прямо в единицах ускорений. Традиционный инструментальный метод СМР в настоящее время не позволяет получать результаты приращений интенсивности в ускорениях, в силу традиционного ориентирования исключительно на получение приращений в единицах макросейсмической интенсивности в баллах. Исключение составляет способ изучения ускорений грунта от сильных землетрясений, когда исследователь непосредственно получает записи ускорений сильных движений (при наличии акселерометра) [1]. В то же время, соответствующие исследования нами ведутся и, очевидно, в скором времени, проблема будет решена.

В последние годы разработан новый инструментально-расчетный метод СМР [2]. Метод основан на подборке из базы данных сильных движений, включающих около 50 000 записей землетрясений, грунтовых условий, наиболее соответствующих реальным грунтовым условиям исследуемой площадки. Затем производится выбор записей землетрясений, с определенными параметрами или их интервалами (магнитуда, эпицентральное расстояние и глубина очага). Далее выполняется пересчет максимальных амплитуд колебаний на заданное эпицентральное расстояние. Коэффициент поглощения может быть вычислен по модели затухания для данного региона.

Таким образом, комплексный метод оценки сейсмической опасности территории, предусматривает на выходе составление вероятностных карт СМР, являющихся непосредственной основой сейсмостойкого проектирования и практического строительства. Такой подход повышает физическую обоснованность результатов.

Рассмотренная процедура на уровне создания зон ВОЗ, карт ДСР и СМР, в зависимости от конкретных условий, на практике может в определенной мере отличаться от изложенной выше. Так, при необходимости возможно проведение палеосейсмогеологических исследований типа «тренинг» [5], позволяющие наиболее обосновано определять повторяемость и другие особенности реализации природных сейсмических событий.

В настоящее время созданы условия для разработки карт типа ДСР, подобные описанным выше для всей территории Северного Кавказа по самой совершенной методике на основе современных достижений инженерной сейсмологии. Это позволит далее провести работы, связанные с созданием вероятностных карт СМР, с использованием мощных невзрывных источников колебаний, методик и разработок, позволяющих учитывать физическую нелинейность грунтов [2]. В то же время, необходимо отметить, что для

повышения надежности конечных результатов в последнее время стали вновь использовать и традиционные детерминистские методы для расчета уровня сейсмического воздействия.

Выводы

- Для изучения сейсмичности и анализа сейсмической опасности территории составляются следующие базы данных: макросейсмическая, сейсмологическая, а также зон ВОЗ (или потенциальных очагов землетрясений - ПОЗ). На основе анализа различных данных (сейсмологических, геологических, геофизических и т.д.) составляется набор вероятностных карт сейсмической опасности территории для повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2%, 5% и 10%.
- Эффект землетрясения оценивается на основе использования двух различных параметров: макросейсмической интенсивности (MSK-64) и пикового ускорения основания (PGA). Границы зон в обеих единицах (балл и ускорение) находятся в хорошем соответствии. При этом варьируя шаг сглаживания, карты в единицах ускорений, характеризуясь непрерывностью значений, позволяют в отличие от традиционного подхода с резкой сменой границ, получать непрерывные значения ускорений или смену границ с любым сглаживанием вплоть до традиционных.
- Созданный комплект карт позволяет обеспечить одинаковую степень риска в пределах территорий, охватываемых каждой из карт, и предназначен для сейсмостойкого строительства и разработки мер по снижению сейсмического риска для разных категорий степени ответственности и сроков службы.
- Предложено использовать карты 5%-ной вероятности для массового, т.е. основного строительства, а карты 2%-ной вероятности для строительства объектов повышенной ответственности.
- Подход, основанный на физических механизмах очага, обуславливает получение синтезированных акселерограмм, формируемых на основе величины максимальной магнитуды, протяженности разлома, реального эпицентра от опасного очага и, несомненно, физически наиболее обоснован.
- Для каждой из вероятностных карт разработаны карты сейсмического микрорайонирования выделением зон различной прогнозируемой интенсивностью (7,8,9,9*). Аналогичные карты в единицах ускорений показывают сходственные результаты.
- Использование в качестве исходных данных сценарных синтезированных записей, например, с учетом характеристик разломов, позволяет учитывать трансформацию исходных акселерограмм, обусловленную свойствами грунтов территории.
- Комплексный подход, основанный на современных достижениях инженерной сейсмологии, позволяет значительно повысить адекватность или обоснованность оценок и снизить погрешности сейсмостойкого проектирования и строительства.
- Возможность проведения исследований по составлению карт сейсмической опасности типа детального сейсмического районирования (ДСР) на основе самых совершенных полевых методов исследований и анализа для каждого из субъектов Северного Кавказа по отдельности в масштабе 1:200 000 позволит в последующем связать воедино в мало достижимую, на первый

взгляд, но вполне обоснованную с геологических и геофизических позиций в одну карту ДСР всего Северного Кавказа, когда равномасштабные зоны ВОЗ будут объединены в одну общую сеть зон ВОЗ.

- Подход позволяет целенаправленно проводить работы по СМР не формально, а с учетом особенностей того или иного региона, на основе использования совершенных методов и способов СМР для создания вероятностных карт СМР – непосредственной основы сейсмостойкого проектирования и строительства.

Литература

1. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. ОИФЗ РАН. М., 2000. 367 с.
2. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок М.: Наука, 2009. 350 с.
3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Бурдзиева О.Г. Определение сейсмического воздействия на основе конкретной инженерно-сейсмологической ситуации района «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», 2010 г., №1. С. 35-39.
4. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Комплексная типизация земной коры как основа для решения фундаментальных и прикладных задач. Статья 1 и 2, Бюлл. МОИП, 1997 отд. геол., т.72, вып.3, стр.5-13
5. Рогожин Е.А. История активности сейсмогенерирующих структур Северной Евразии в голоцене // Докл. РАН. 2000. Т. 370, №3. С. 390-392.
6. Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами //Современные математические и геологические моделив задачах прикладной геофизики: Избр. Науч. Тр./Под ред. акад. В.Н. Страхова. М.: ОИФЗ РАН. 2001. С. 279-300.
7. Рогожин Е.А. Зоны ВОЗ и их характеристики для территории Республики Северная Осетия-Алания //Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий: Материалы Межд. конфер. VI. 28-30 мая 2007 г. Владикавказ: Изд-во «Терек», 2007. С. 283-284.
8. Bazzurro P. and C. A. Cornell (1999). Disaggregation of Seismic Hazard, Bull. Seism. Soc. Am. 89, 2, 501-520
9. Bender, B. and D. M. Perkins (1987). SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. US Geological Survey Bulletin 1772. 48p.
10. Beresnev I.A. Atkinson G.M. (1997). Modeling finite fault radiation from ω n spectrum. Bull. Seism. Soc. Am., 87, 67–84.
11. Beresnev I.A., Atkinson G.M. (1998a). Stochastic finite-fault modeling of ground motions from the 1994 Northridge, California earthquake. I. Validation on rock sites. Bull. Seism. Soc. Am.
12. Beresnev I.A., Atkinson G.M. (1998b). FINSIM – a FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults. Seismological Research letters. Vol. 69. No. 1
13. Chelidze T., Javakhishvili Z., 2003, Natural and technological hazards of territory of Georgia: implications to disaster management. Journal of Georgian Geophysical Society. Issue (A) Solid Earth, v. 8. 3-18.
14. Cornell C. A. Engineering risk in seismic analysis. Bull. Seism. Soc. Am. 54 1968, 583-1606
15. Javakhishvili, Varazanashvili, Butikashvili, 1998. Interpretation of the Macroseismic field of Georgia. Journal of Georgian Geophysical Society. Issue (A) Solid Earth, v. 3. 85-88.
16. McClusky S., Balassanian S., Baskin C. et al. Global Position System constraints on plate kinematics and dynamics of the Mediterranean and Caucasus // J. Geophys. Res.2000. Vol. 105, N B3. P.55695-5719.

17. McGuire R., 1976, FORTRAN computer program for seismic risk analysis, US Geological Survey, open file report 76-67.
18. McGuire R., 1995, Probabilistic Seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. vol. 83, No 5, 1275-1284
19. Musson R. Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan region. 1999. *Annali di Geofisica*. vol. 42 N6 1109-1124.
20. Smit P., Arzmanian V., Javakhishvili Z., Arefiev S., Mayer-Rosa D., Balassanian S., Chelidze T. 2000. The Digital Accelerograph Network in the Caucasus. In: "Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction". Kluwer Academic Publishers. pp. 109-118.
21. Ulomov V.I., Shumilina L.S., Trifonov V.G. et al. 1999. Seismic Hazard of Northern Eurasia// *Annali di Geofisica*. vol. 42, N6, 1023-1038.

ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НЕУСТОЙЧИВОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА

© Ш.Г. Идармачев, И.Ш. Идармачев

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. В работе сделан анализ данных наблюдений струнным датчиком за период 2020–2022 гг. Установлено, что изменение ширины трещины коррелируется с сезонной температурой атмосферы. В отдельные периоды наблюдаются аномалии большой амплитуды не связанные с температурой атмосферы. После сильного землетрясения магнитудой $M=5.6$, произошедшим 08.12.2022 на эпицентральной расстоянии 20 км было зарегистрировано изменение большой амплитуды. Измерение было проведено в день землетрясения через 2 часа после толчка. Аномалия имеет форму скачкообразного изменения с последующей быстрой релаксацией. Пик аномалии практически совпадает со временем землетрясения. Поэтому в работе сделана попытка рассмотреть связь других аномалий линейного изменения ширины трещины с сильными сейсмическими событиями в регионе.

Ключевые слова: эпицентр, магнитуда землетрясения, лазерная линейка, волны Релея, Лява

Объектом исследований является неустойчивый скальный массив над районным центром Гуниб с координатами (с.ш. 42,38; в.д. 46,96), расположенным на Северном Кавказе с населением более 2500 человек, представляющим опасность обрушения (рис. 1). Размеры исследуемого массива равны: ширина верхней кромки 18–20 м; длина 60 м; высота 50 м; объем пород 60 тыс. м³. Данный участок представляет из себя вертикальный блок, оторванный от основной известняковой толщи, основание которого лежит на слое из алевролитистой глины мощностью до 1 м. Вся известняковая толща в месте прослойкой глин наклонена под углом 40° в сторону обрыва. На поверхности ширина трещины между основным устойчивым и неустойчивым блоками составляет около 1,5–2 м. Учитывая, что прочность глин на сжатие и сдвиге ниже, чем у известняков, деформация твердой части толщи горных пород будет происходить в сторону уклона по глинистой прослойке. В результате чего в вышележащем слое образуются вертикальные трещины отрыва гравитационной природы. Проникновение дождевой воды в трещины вызывает размокание глинистого слоя, лежащего ниже и тем самым, активизирует деформацию массива.

На рис. 1 показано место установки струнного датчика и лазерной линейки.



Рис. 1. Фото отрывной трещины сверху (место установки струнного датчика и лазерной линейки на трещине показано жирной линией)

Методика и аппаратура исследований

Струнный датчик для измерения ширины трещины состоит из вольфрамовой проволоки диаметром 0,3 мм, закрепленной на обеих сторонах трещины. Один конец проволоки закреплен на подвижной части измерительного устройства с циферблатом. В данном устройстве нет электронных устройств, требующих электропитания. Натяжение проволоки обеспечивается пружиной. Поворот стрелки циферблата на 360° соответствует изменению линейного размера трещины на 1000 мкм. Погрешность измерения составляет 10 мкм или 0,01 мм, что соответствует одному делению на циферблате. Измерительное устройство имеет кожух от влияния воздействия солнца и дождя. Для изучения температурных эффектов измеряется также и температура атмосферы.

Одновременно ширину трещины измерялось лазерной линейкой марки Laser Distance Meter -100 (LOM-VUM), с погрешностью измерения длины ± 1 мм. Во время измерений корпус лазерной линейки вставляется в специальное гнездо, фиксирующее его местоположение на краю неподвижной части скалы. Отражателем служит вертикальная противоположная часть подвижной скалы. В данном месте, выбранной для измерений, ширина трещины составляет 197,8 см. Однако, как показали повторные измерения, погрешности в отдельные периоды достигают нескольких сантиметров. Поэтому данные, полученные лазерной линейкой, в настоящей работе не рассматриваются.

Результаты измерений струнным датчиком за период наблюдений 18.07.2020–30.01.2023 приведены на рис. 3.

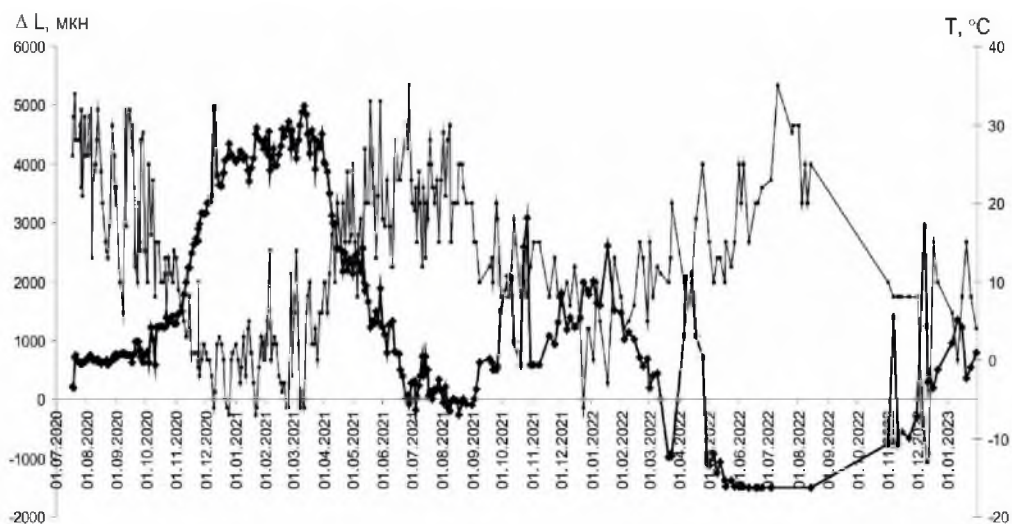


Рис. 2. Графики изменения ширины трещины скального массива относительно первоначального значения, полученные с помощью струнного датчика в микрометрах (жирная линия) и температуры атмосферы

В работе [4, 5] проведен анализ данных, полученных струнным датчиком за период 2020–2021 гг. Показано, что сезонная температура атмосферы оказывает влияние на изменение ширины трещины. Максимальная амплитуда в зимний период 2020–2021 гг. достигает 4435 мкм (4.435 мм). Увеличение ширины трещины, связанное с наклоном массива в сторону его падения, не наблюдается. Связь с осадками не обнаружена.

Визуально на рис. 2 полного согласия графиков нет. Для первой половины наблюдается заметное отставание ΔL от T на 1-2 месяца, при этом коэффициент корреляции равен $K=-0.81$. Для второй половины периода $K=-0.54$, а для всего периода наблюдений составляет -0.64 . Из этого следует, что на изменение ширины трещины оказывают свое влияние и другие природные процессы.

Внешними факторами триггерного воздействия могут служить климатические аномалии, проливные дожди, колебания умеренных близких или удаленных сильных землетрясений. Известно, что сильные землетрясения магнитудой $M=9$ вызывают возникновение медленных волн Релея и Лява, способных несколько раз обегать вокруг земного шара [7]. Волны Релея вызывают смещение частиц земной поверхности по вертикали, а Лява – по горизонтали. Периоды колебаний меняются от нескольких секунд до нескольких десятков секунд [3]. Амплитуды смещения могут достигать до 1 см. Поверхностные волны вызывают покачивание высотных зданий амплитудой до 0,5 м, оползни, обвалы на горных склонах, возникновение трещин в грунтах, обрывы проводов телефонных и электрических линий. Из этих данных следует, что землетрясения с максимально возможной магнитудой $M \geq 8,5-9,0$, произошедшие на расстоянии 1000 км и более могут вызвать обвальные процессы в массивах горных пород, находящихся в условиях неустойчивого равновесия.

За небольшой период сейсмометрических наблюдений на скале были зарегистрированы колебания от землетрясения, произошедшего 15.09.2020 г. на

Главном Кавказском хребте магнитудой $M=3.6$ координатами эпицентра: $42,39^\circ$ с.ш., $46,49^\circ$ в.д. [6] Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 43 км от Гуниба. Глубина очага – 15 км. Данная запись землетрясения приведена на рис. 4.

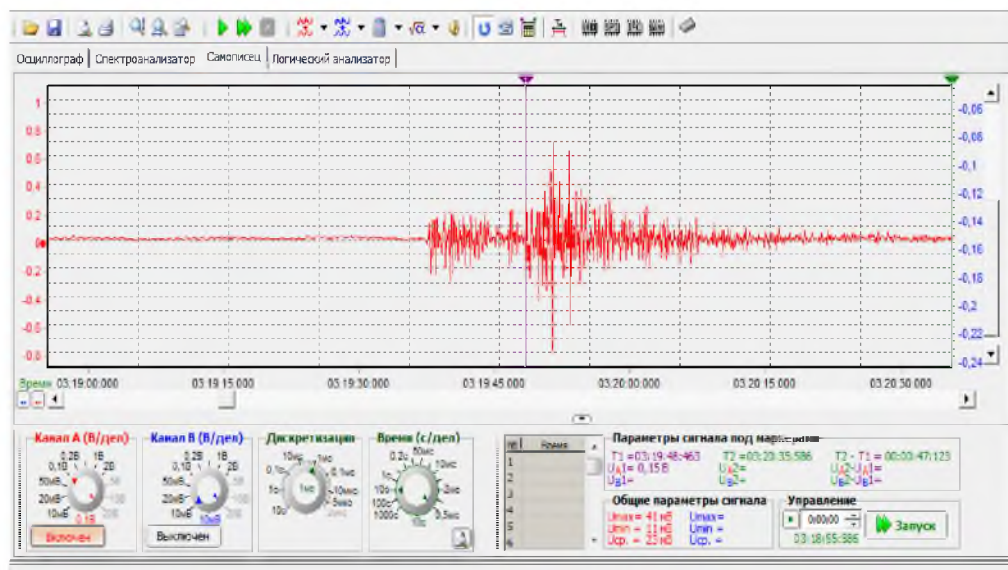


Рис. 3. Сейсмограмма землетрясения 15.09.2020 г.

На сейсмограмме выделяются две волны, продольная V_p продолжительностью 12 с максимальной амплитудой 15.6 мкм и поперечная V_s с большей амплитудой (57 мкм) и продолжительностью 20 с. На рис. 3 вступление поперечной волны отмечено вертикальным маркером. Частоты колебаний этих волн находятся в пределах $\omega=0.45\text{--}0.55$ Гц. Экспериментально полученное значение собственных колебаний массива составляет $\omega=1.1\text{--}1.3$ Гц. Сравнение их показывает, что они не совпадают по фазе. Поэтому на записи землетрясения нет аномальных резонансных колебаний, связанных с частотой собственных колебаний массива.

На рис. 4 приведены график струнного датчика и время землетрясений. Для анализа выбраны сильные землетрясения магнитудой $m_b \geq 5.5$, произошедшие в радиусе до 300 км от Гуниба и относительно слабые толчки, зарегистрированные на эпицентральных расстояниях до 55 км. Более точные параметры землетрясений приведены в таблице. На карте эпицентров землетрясений (рис. 5) показаны их расположения соответственно с номерами на рис. 4.

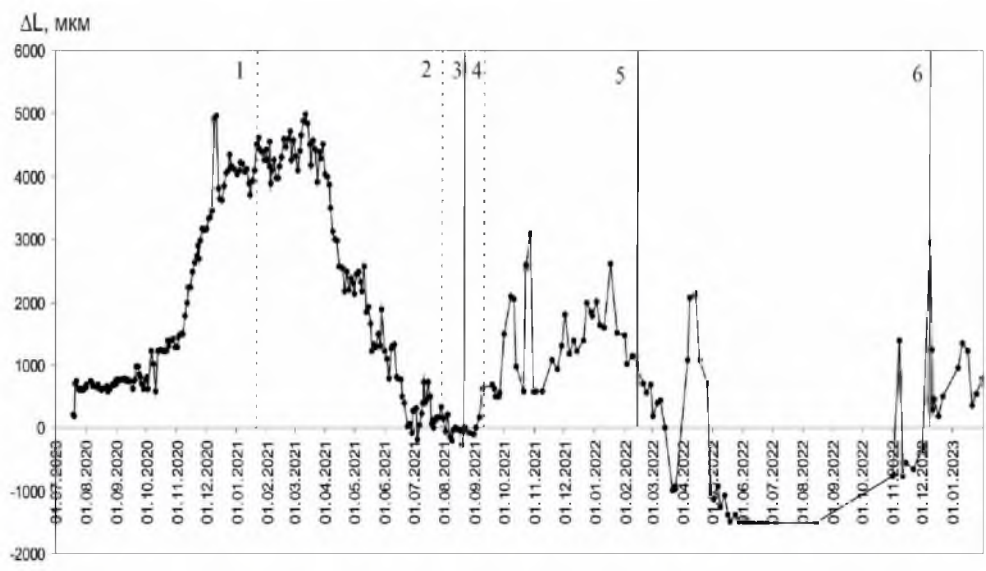


Рис. 4. График струнного датчика (параметры землетрясений на данном рисунке и на карте эпицентров приведены в таблице соответственно их номерам, сильные землетрясения отмечены сплошной линией)

Таблица 1

№	Время (GMT)	Шир. гр	Долг. гр	Глуб. км	Магн. mb	Регион	Эпицентральное расстояние, км
1	2021-01-02 01:05:53	42.09	47.98	10	4.8	Дагестан	55
2	2021-07-28 00:41:27	42.68	46.61	30	4.7	Дагестан	30
3	2021-08-16 01:44:05	41.11	43.99	5	5.5	Грузия-Армения-Турция	200
4	2021-09-03 03:34:49	42.22	46.04	10	4.8	Дагестан	30
5	2022-02-13 18:25:55	41.08	43.77	10	5.7	Грузия-Армения-Турция	210
6	2022-12-08 06:42:15	42.17	46.80	30	5.6	Дагестан	20

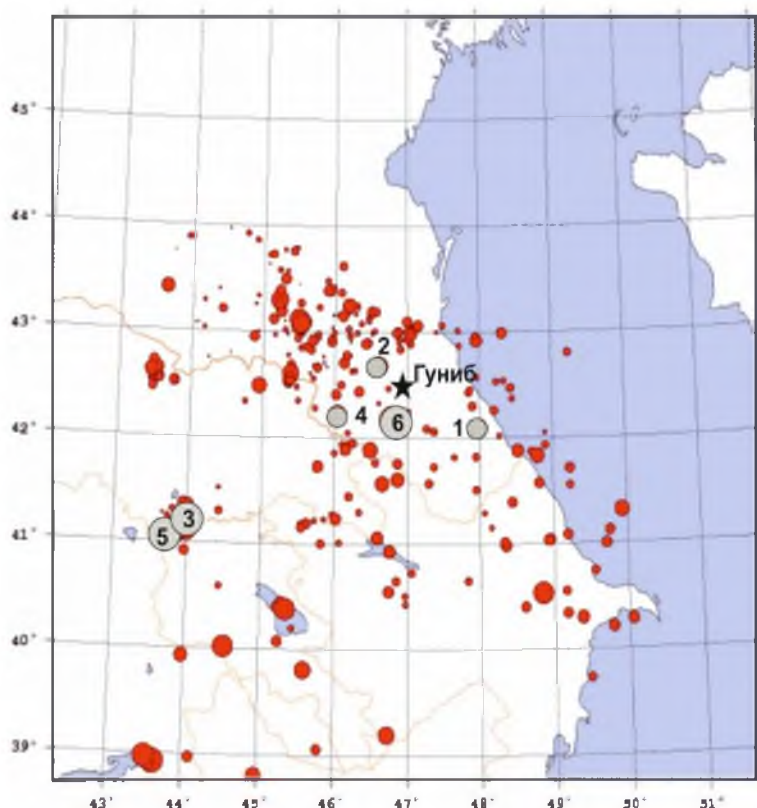


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных в радиусе до 300 км за период 17.07.2020–31.01.2023

На рис. 5 видно явное совпадение времени сильного землетрясения под №6 с скачкообразным изменением струнного датчика. Землетрясение магнитудой $m_b=5.6$ произошло на эпицентральной расстоянии 25 км. Глубина его равна 30 км. Интенсивность сотрясения 5–6 баллов. Оно ощущалось в Махачкале и других городах Дагестана. На сейсмограммах станции «Гуниб» максимальная амплитуда и длительность колебаний наблюдается для Vs волны. Длительность колебаний землетрясения равнялась 22 с. Максимальные амплитуды колебаний для продольной волны (V_p) равна 196 мкм, а поперечной (V_s) – 364 мкм. Сравнение низкочастотного спектра поперечной волны большой амплитуды (1.4–1.2 Гц) с колебаниями собственной частоты исследуемого массива (1.1 Гц) показывает, что их наложение друг на друга может привести возникновению резонансных колебаний скалы большой амплитуды. Однако последствия от землетрясения ограничились лишь падением нескольких крупных камней, которые не причинили ощутимого вреда населенному пункту.

По данным струнного датчика, ширина трещины увеличилась на 3300 мкм. Точная амплитуда аномалии неизвестна, так как измерение было сделано через два часа после землетрясения. Через четыре дня ширина трещины вернулась обратно в свое первоначальное положение. Сравнение амплитуды колебаний поперечной волны с изменением ширины трещины после землетрясения показывает, что амплитуды разнятся на порядок. Данный факт позволяет предположить возможность резонансного процесса колебания скального массива.

Другие относительно слабые землетрясения № 1, 2 и 4, произошедшие на эпицентральных расстояниях 30–55 км, аномальных изменений ширины трещины не вызывают. Особый интерес представляют сильные землетрясения (№ 3, 5), произошедшие на границе Грузии, Азербайджана и Турции. Следует отметить, что через определенный промежуток времени после землетрясения наблюдается аномальное увеличение ширины трещины, в первом случае на 2500 мкн, во втором - 3000 мкн. Эти факты позволяют предположить возможность генерирования сильным землетрясением медленных деформационных волн [1, 2]. Скорости могут составлять десятки и сотни километров в год, длина волны 200 км. В работе [8, 9] рассмотрен механизм миграции эпицентров сильных землетрясений по разлому Кипр-Кавказ. Отмеченные на карте эпицентры сильных землетрясений под № 3, 5 и 6 как раз попадают в зону влияния данного разлома.

В нашем случае из графика, приведенного на рис. 5, видно, что интервал времени между землетрясениями под № 3, 5 и скачкообразными аномальными изменениями ширины трещины составляет 1.5–2.0 месяца. Для эпицентрального расстояния данных землетрясений 200 км скорость распространения фронта предполагаемой геодинамической волны равна 1200–1600 км/год. Разумеется, интерпретация данных аномалий нельзя рассматривать, как обоснованный факт распространения фронта деформационной волны в упруго-вязкой среде земной коры в силу того, что оцененные нами скорости сильно отличаются от данных других авторов. С другой стороны недостаточно данных для определенных выводов наличия таких волн, но, тем не менее, полученные результаты позволят более глубоко изучить природу разнообразия волнового фронта в разломах, где массив горных пород, находящийся на его пути распространения в условиях неустойчивого равновесия, является своего рода чувствительным геофизическим прибором.

Выводы

Зарегистрировано совпадение во времени сильного землетрясения, произошедшего на эпицентральном расстоянии 25 км со скачкообразным увеличением трещины на 3.3 мм. Сравнение частот колебаний поперечных волн землетрясения на сейсмической станции «Гуниб» и собственных колебаний исследуемого массива показало их близость, что могло привести резонансным процессам, увеличению амплитуды колебаний массива, при этом существенную роль могла сыграть длительность колебаний поперечной волны (7 с) по сравнению импульсной волной. Относительно слабые землетрясения, зарегистрированные на расстояниях 20–55 км, изменений ширины трещины не вызывают. После двух сильных землетрясений, произошедших на границе Грузии, Азербайджана и Турции наблюдается кратковременное увеличение ширины трещины на 2.5–3.0 мм. Предлагается механизм генерирования сильными землетрясениями медленных деформационных волн, распространяющиеся вдоль разломной зоны Кипр-Кавказ со скоростью 1200–1600 км/год. Данный факт в настоящее время нельзя считать достаточно обоснованным и поэтому требует продолжения исследований в этом направлении.

*Работа выполнена в Институте геологии ДФИЦ РАН по теме:
«Мониторинг, изучение и прогноз катастрофических геологических*

Литература

1. Барабанов В.Л., Гридневский А.О., Беликов В.М., Ишанкулиев Г.А. О миграции коровых землетрясений // Динамические процессы в геофизической среде. М.: Наука, 1994. С. 149–167.
2. Децеровский А.В., Журавлев В.И., Максимов А.Б., Сидорин А.Я. Миграция возмущений геофизических полей и сейсмичности. // Изучение природных вариаций геофизических полей. 1994. Москва. ИФЗ РАН. С. 37–59.
3. Дубянский А.И., Зайцев С.В., Силкин К.Ю. Поверхностные волны сейсмических событий в условиях Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геофизика. Воронеж. 2005. №1. С. 221–225.
4. Идармачев Ш.Г., Джамалудинов А.М. Мониторинг движения неустойчивого скального массива на горе Гуниб // Научные исследования: итоги и перспективы. ДГТУ. Махачкала. 2022. Том 3. № 3. С. 3–11. ID: 49621045. DOI: 10.21522/2713-220X-2022-3-3-3-1.
5. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А., Идармачев И.Ш. Изучение динамики ширины трещины потенциально обвального скального массива струнным датчиком на горе Гуниб (Дагестан) // Геология и геофизика Юга России. 2022. Том. 12. № 2. С. 78-88. DOI: 10.46698/VNC.2022.70.64.006.
6. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Идармачев И.Ш. Сейсмометрический мониторинг скального массива в Гунибском районе Дагестана (Северный Кавказ) // Геология и геофизика юга России. 2021. Т.11, № 2. С. 74–86. DOI: 10.46698/VNC.2021.49.57.006
7. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология. 1963. 670 с.
8. Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С. О долгосрочном прогнозе сильных землетрясений в Средней Азии и в Черноморско-Каспийском регионе // Физика Земли. № 4. 2002. С. 31–47.
9. Уломов В.И., И.П. Кузин, О.Н. Соловьева, Т.П. Полякова, Н.С. Медведева. О миграционных сейсмогеодинамических процессах в Центральном Каспии и в сопредельных структурах Кавказа и Копетдага // Физика Земли. №2. 2005. С. 13-22.
10. <http://gsras.ru/cgi-bin/new>

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© Ш.Г. Идармачев, А.Ш. Идармачев
Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. Установлено уменьшение электрического сопротивления земной коры в районе Чиркейского водохранилища, связанное с процессом ее обводнения за период 14 лет после начала его заполнения. Предложен механизм фильтрации, позволяющий объяснить понижение кажущегося сопротивления пород. Установлена мощность обводненного слоя и коэффициент фильтрации пород.

Ключевые слова: коэффициент фильтрации, геоэлектрический разрез, дипольное электрическое зондирование, техногенное землетрясение, кажущееся сопротивление.

На Юге России, в Республике Дагестан, на р. Сулак расположен каскад из 7 ГЭС: Чиркейская, Миатлинская, Чирюртовская, Ирганайская, Гочатлинская, Гунибская и Гергебильская. Из них Чиркейская, Миатлинская и Чирюртовская находятся в наиболее сейсмоопасной зоне Северного Кавказа, в полосе перехода горной части в предгорную, где происходят сильные землетрясения с магнитудой $M \geq 6$. Самая крупная из них является Чиркейская ГЭС. Его наполнение привело к резкому повышению сейсмической активности района.

Опасные геологические процессы, возникающие при заполнении водохранилищ, требуют изучения механизмов их проявления для снижения риска от возможных катастрофических последствий. В мире насчитывается всего 45 тыс. водохранилищ. В отдельных случаях заполнение крупных водохранилищ приводят к повышению сейсмической активности, катастрофическим оползням. На период 2005 г. по данным [1, 11, 12] известно всего 106 случаев проявления техногенной сейсмичности, связанной с заполнением крупных водохранилищ. Оно начинается постепенным увеличением числа слабых толчков, роевой активностью в различных частях водохранилища. Сильные землетрясения происходят чаще всего через 2–3 года после заполнения. В отдельных случаях максимальные магнитуды толчков достигают $M=6.5$, которые приводят к катастрофическим последствиям.

Механизмы техногенной сейсмичности обсуждаются в работах различных авторов [7, 11]. Это рост упругих напряжений от нагрузки веса водохранилища, повышение порово-трещинного давления воды в подстилающих породах, снижение прочности пород на сдвиг в зонах разломов, имеющих гидродинамическую связь с водохранилищем. Изучение процесса фильтрации воды из водохранилища в окружающую среду позволяет исследовать природу вышеуказанных механизмов, например, как они развиваются в пространстве и во времени, какая скорость фильтрации в трещинных зонах, через какое время вода достигает тех глубин, где формируются очаги землетрясений.

Для изучения геодинамических процессов, происходящих в земной коре, используются различные методы наблюдений: геологические, гидрогеологические, геодезические, геофизические и др. Геофизическим методам относятся сейсмологические, электро-магнитные, гравитационные,

наклономерные, деформометрические и др. Из них электрические позволяют следить за процессом фильтрации воды в породы, расположенные в ложе водохранилища, так как электрическое сопротивление пород, за исключением графитов и металлов, зависит от пористости и насыщения водой.

В настоящей работе сделан анализ результатов наблюдений (1976–1988 гг.) в районе Чиркейского водохранилища за вариациями кажущегося электрического сопротивления породы методом дипольного электрического зондирования. Анализ данных показал, что заполнение Чиркейского водохранилища привело уменьшению кажущегося сопротивления пород в несколько раз. Рассмотрены возможные механизмы изменения электросопротивления пород, связанные с фильтрационными процессами.

Характеристика района исследований

Чиркейское водохранилище располагается на северо-восточном уступе Кавказского горного сооружения в зоне Сулакского меридианального выступа, который является северо-западным окончанием Дагестанского клина. Река Сулак разделяет здесь Гимринскую и Салатаускую антиклинали, образующие в рельефе одноименные хребты с высотными отметками от 2000 до 3000 м и протекает в глубоком каньоне с обрывистыми бортами. Плотина ГЭС высотой 232 м образует водохранилище объемом 2.9 км^3 . Сезонные колебания уровня воды в водохранилище достигают 35–40 м. В период заполнения с 1974 по 1975 гг., при достижении уровня воды в верхнем бьефе плотины 120 м, наблюдалось более чем десятикратное увеличение числа слабых толчков, по сравнению с периодами до начала его заполнения. Затем произошло несколько весьма сильных землетрясений $M \geq 5.0$, которые привели к обвалам в Сулакском каньоне и повреждению зданий в близлежащих поселках. Район водохранилища до настоящего времени является наиболее высокосейсмичным районом Дагестана. Спустя 25 лет после начала заполнения водохранилища в его окрестности произошло очередное землетрясение $M=5.7$. В течение года было зарегистрировано более 1000 афтершоков, из них 50% очагов располагались под ложем водохранилища [4].

Район водохранилища представляет собой комплекс мезокайнозойских отложений, которые характеризуются большим разнообразием фаций, мощностей и условий залегания. Наиболее широкая часть протяженностью 12 км состоит из верхнемеловых известняков с мощностью 400–450 м. Вначале они залегают почти горизонтально, а в хвостовой части углы падения пластов возрастают постепенно до $35\text{--}40^\circ$. Верхняя юра представлена известняками с прослоями гипса. Мощность ее равна 350 м. Нижний и верхний мел представлен известняками, слоистыми прослоями тонких мергелей (450 м).

По утверждению [13] наличие предельных тектонических напряжений является одним из основных условий для возникновения «плотинных» землетрясений. По результатам геологических, геоморфологических, тектонических и тектонофизических исследований [8] район Чиркейской ГЭС относится к потенциально сейсмоопасным участкам земной коры. Расчлененный рельеф, который привлекает внимание проектировщиков с точки зрения экономичности, чаще всего встречается в горных районах, отличающихся сложным геологическим строением. Гидроузлы располагаются на висячих крыльях взбросов глубинного типа, испытывающих интенсивные

новейшие тектонические движения. Потому большинство створов высоконапорных плотин оказываются приуроченными к наиболее тектонически-неоднородным участкам земной коры, которые подвержены проявлениям опасных геологических процессов.

На территории Дагестана расположены крупные разломы, такие как Срединный, Пшекиш-Тырнаузский, Наратюбинский и др. В локальном плане в районе Чиркейского водохранилища зафиксированы более низшего ранга разломы, секущие в различных направлениях ложе водохранилища. Расположение этих разломов показано на рис. 1.

Методика измерений кажущегося сопротивления горных пород

Величина кажущегося электрического сопротивления породы (ρ_k) является функцией от параметров слоистого разреза и их удельных электрических сопротивлений, в частном случае, для однородной среды, кажущееся сопротивление совпадает с удельным сопротивлением пород.

Для измерения кажущегося сопротивления пород применяется метод дипольного электрического зондирования на постоянном токе, при этом глубина зондирования определяется расстоянием между питающим (излучающим) и приемным диполями. Максимальное расстояние между диполями определялось размерами водохранилища. В нашем случае разносы диполей составляют 9.7 км и 10.5 км. Такого прядка разносы диполей позволяют получать интегральные электрические характеристики земной коры в интервале глубин от 2–5 км. Особенностью данного метода электрического зондирования является то, что он позволяет проводить наблюдения на большой площади с помощью одного генератора и нескольких приемных диполей, расположенных в различных частях вокруг водохранилища. Измерения на приемных пунктах проводились объездным способом с помощью мобильной станции, при этом важным условием повторных измерений является то, чтобы места расположений приемных электродов оставались неизменными. Для этого используются свинцовые электроды, закопанные в землю на глубине около 1 м. Для создания электрического поля в земной коре нами [6] был разработан стационарный генератор мощностью 120 КВА, питающийся от промышленного тока. Излучателем тока в землю служить электрическая линия длиной 720 м, подвешенная на электрических столбах. Ток от генератора в землю пропускается с помощью специальных заземлений, выполненных из 20 металлических штырей, соединенных между собой для уменьшения переходного сопротивления заземления. Схема расположений питающего и приемных диполей приведена на рис. 1. Питающий диполь с заземлениями А и В расположен в северной окрестности водохранилища. Величина дипольного момента установки достигает $1.4 \cdot 10^5$ А·м. Величины сигналов на приемных точках № 1 и № 2 составляют в пределах до 0.5–1 мВ. Один сеанс измерений состоит из серии 50 сигналов переключения тока в питающем диполе. После их статистической обработки погрешность сеанса измерений ρ_k не превышает 3%.

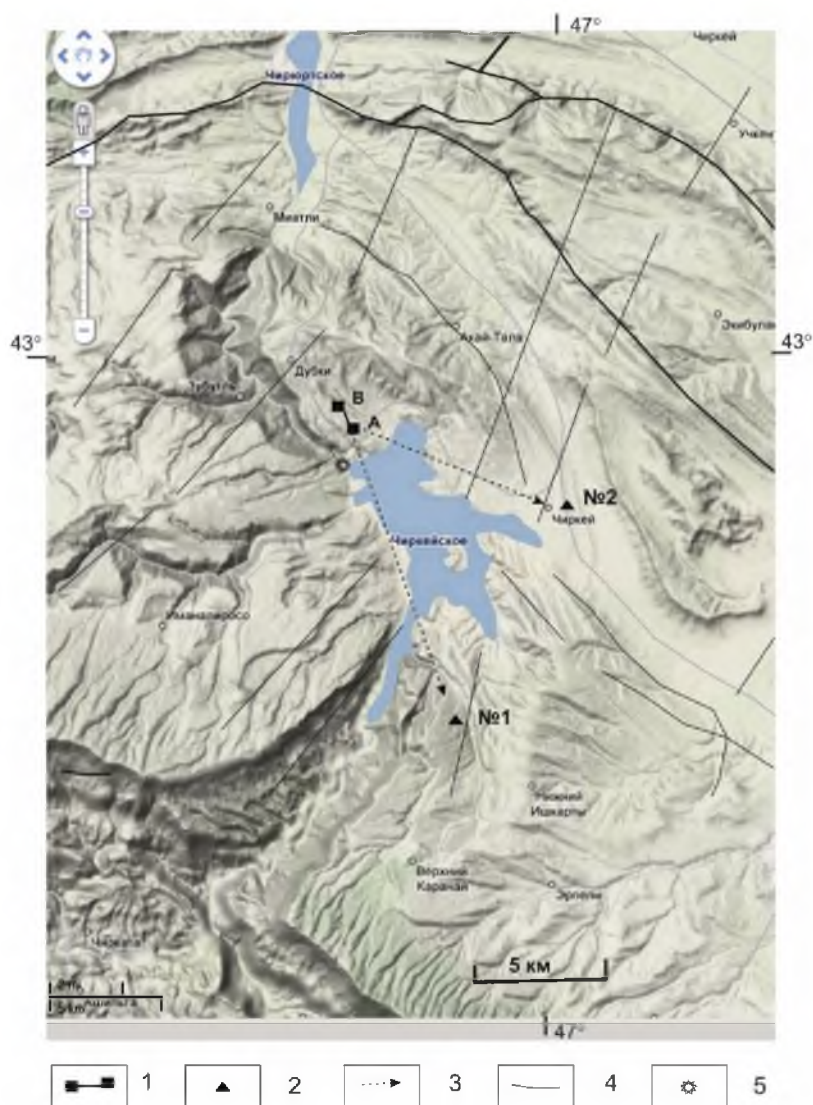


Рис. 1. Схема расположения дипольной установки:

1 – питающий диполь; 2 – приемные станции; 3 – оси дипольных установок №1 и №2;
4 – разломы (жирные линии) и космофототолінеаменты (тонкие линии); 5 – плотина

Приемный диполь № 1, закрепленный на южном берегу водохранилища, вместе с питающим диполем образует осевую установку и позволяет контролировать изменение электрического сопротивления горных пород под водохранилищем. Диполь № 2 образует параллельную установку и характеризует электрическое сопротивление пород в восточной части водохранилища и его окрестности. В таблице приведены данные о разностях диполей r , длинах приемных диполей l и их координат и r_k .

Таблица 1

№ станции	l, м	г, км	$\rho_k, \text{Ом} \times \text{м}$	φ°	λ°
№1	450	10.5	240	42.912	46.922
№2	450	9.7	890	42.955	46.990

Обсуждение результатов наблюдений

Измерения ρ_k были начаты в июле 1976 г., т.е. практически после заполнения водохранилища. Заполнение началось в августе 1974 г. Наиболее полной мере измерения проводились в полевые сезоны 1976, 1977 гг., а в остальные года измерения проводились 2–3 месяца в году. На рис. 2. приведены графики ρ_k для пунктов № 1 и № 2, составленные по имеющимся данным, за период 1976–1988 гг. Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы:

- величина ρ_k медленно уменьшается, показывая тем самым, что после заполнения водохранилища процесс обводнения горных пород продолжается более чем 14 лет;

- экстраполяция линий трендов графиков ρ_k позволяет определить их первоначальные и конечные значения: для (б), 1000 Ом·м и 560 Ом·м; для графика (в), 325 Ом·м и 100 Ом·м. Из этих данных следует, что сопротивления пород на приемных пунктах №1 и №2, уменьшились в 3.25 и 1.82 раза, соответственно.

Причина такого различия ρ_k для этих пунктов возможно связано с геологическим строением района. Например, трасса зондирования в направлении приемного диполя №1 совпадает с русловой частью реки, где породы были обводнены еще до заполнения водохранилища. Оценим их сопротивление по известной формуле [10]:

$$\rho_n = \frac{\rho_v}{P} \quad (1)$$

где ρ_n – удельное сопротивление породы; ρ_v – удельное сопротивление воды; P – коэффициент пористости ($P=\Delta V/V$), где ΔV – объем пор; V – объем породы.

Подставляя численные значения $\rho_v=20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $P=0.05\text{--}0.1$ в (1) получаем $\rho_n= 400 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и $200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, соответственно. Из этих данных можно видеть, что первоначальное значение $\rho_k=325 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ для пункта №1 находится в пределах численных оценок удельного сопротивления пород, насыщенных водой.

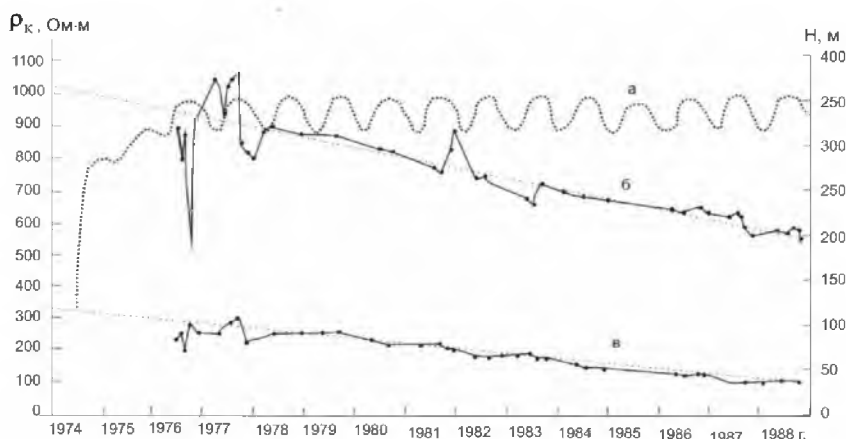


Рис. 2. Графики уровня воды в водохранилище (а), кажущихся сопротивлений пород на приемных пунктах №1 (в) и №2 (б)

Породы для приемного пункта №2, у которого ось зондирования находится в некотором удалении от русловой части реки, имеют величину кажущегося сопротивления, превышающую в несколько раз, чем на пункте №1.

После заполнения водохранилища процесс фильтрации воды приводит к понижению удельного сопротивления пород. По мере продвижения ее фронта объем пород, насыщенных водой, будет увеличиваться, что в свою очередь приведет к изменению кажущегося сопротивления, так как оно зависит удельных сопротивлений различных слоев, проницаемых и не проницаемых. В самом простом виде процесс обводнения пород можно представить в виде двухслойного геоэлектрического разреза, где мощность h_1 верхнего влажного слоя с низким сопротивлением ρ_1 увеличивается, а нижний слой представлен, относительно высоким сопротивлением ρ_2 и мощностью $h_2 = \infty$. Для численных расчетов используем формулу вычисления ρ_k для двухслойной среды [10]:

$$\rho_k = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n r^3}{[r^2 + (2nh_1)^2]^{3/2}} \right\} \quad (2)$$

где $k = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$; r – расстояние между питающим и приемным диполями.

Численные значения равны: $r = 10$ км; $\rho_1 = 200$ Ом·м. Значения ρ_2 оценивались по экстраполированным графикам ρ_k в точке пересечения оси X с началом наблюдений в июне 1976 г. Были взяты следующие значения для пунктов №1, $\rho_2 = 300$ Ом·м и №2, $\rho_2 = 950$ Ом·м.

Вычисления производились для различных h_1 , начиная от 0.1 км и выше, пока значения ρ_k не совпали с конечными измерениями кажущихся сопротивлений в октябре 1988 г.: для пункта №1, $\rho_k = 100$ Ом·м; для - №2, $\rho_k = 550$ Ом·м. Согласно этим расчетам мощности водонасыщенных слоев h_1 для пунктов №1 и №2 увеличились до 5 км и 1.5 км, соответственно. Отсюда, зная время наблюдений путь фильтрации, можно рассчитать коэффициент фильтрации пород. Так для пунктов №1 и №2 они составляют $K_f = 0.3$ и 1.0 м/сутки.

Согласно данным различных авторов [18, 19] K_f меняется в широких пределах. Для сильнотрещиноватых пород, в том числе известняков он меняется от 10 до 1000 м/сутки, а для слабо трещиноватых пород $K_f=5-60$ м/сутки. Таким образом, полученные нами значения $K_f=0.3$ и 1.0 м/сутки вполне могут быть приняты во внимание для объяснения механизма длительного уменьшения кажущегося сопротивления пород фильтрацией воды из водохранилища вплоть до глубин 1.5 км и более. Однако могут быть и другие альтернативные механизмы процесса фильтрации воды в ложе водохранилища, например, связанные с заполнением протяженных трещинных зон вертикального простирания или на контакте водохранилища с разломами земной коры. Такие зоны с низким электрическим сопротивлением, по сравнению с окружающими непроницаемыми породами, можно рассматривать как геоэлектрические аномалии, вызывающие изменение кажущегося сопротивления. Например, моделирование такого процесса в ванне с водой методом электрического зондирования показало уменьшение ρ_k на 30% при погружении в воду металлической пластины, имитирующей «проводящий пласт», между питающим и приемным диполями [5]. Эти данные подтверждаются также результатами аналитических моделей для геоэлектрического разреза пород с различной проводимостью, где «проводящий пласт» расположен вертикально [2].

Обе предложенные механизмы, приводящие к уменьшению электрического сопротивления пород в районе водохранилища, имеют общие признаки, связанные с их обводнением.

Выводы

На основе анализа данных дипольного электрического зондирования района Чиркейского водохранилища за период наблюдений 1976–1988 гг. установлено уменьшение кажущегося сопротивления пород в несколько раз. На одном из пунктов начальное и конечное значения равны 1020 Ом·м и 550 Ом·м, на другом – 325 Ом·м и 100 Ом·м. Полученные данные согласуются с геоэлектрическими особенностями района в русловой части реки и удалении от нее.

На основе геоэлектрической модели рассмотрен механизм фильтрации, позволяющий объяснить понижение кажущегося сопротивления пород в ложе водохранилища. Модель фильтрации представлена виде двухслойного геоэлектрического разреза, где мощность первого слоя с низким удельным сопротивлением увеличивается. Для различных пунктов наблюдений за период 14 лет мощность первого слоя увеличивается на 1.5–5.0 км, а коэффициент фильтрации пород равен $K_f=0.3-1.0$ м/сутки.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме НИР, выполняемой Институтом геологии ДФИЦ РАН: «Изучение, мониторинг и прогноз катастрофических геологических процессов природного и техногенного происхождения на территории Восточного Кавказа».

Код ГМСW-2022-0026

Литература

1. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК. 2005. 252 с.
2. Алелов Ю.А., Любошиц В.М. Об одном из электрических предвестников землетрясений // Физика Земли. 1981. № 10. С. 103–107.
3. Братиславский В.Д., Смирнов В.С. Методическое руководство по сбору инженерно-геологической информации. М.: Недра. 1981. 243 с.
4. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М. Вариации кажущегося сопротивления горных пород в период Кизилюртовского землетрясения 1999 г. в Дагестане // Геофизические исследования. 2013. Т.14. №2. С. 15–25.
5. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А. и др. Возбужденная сейсмичность в районе Чиркейского водохранилища и ее проявление в геофизических полях. Махачкала. Изд. «aleph». 2012. 103 с.
6. Левкович Р.А., Идармачев Ш.Г. Сейсмичность района Чиркейского водохранилища в период его заполнения // Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука 1977. С. 35–37.
7. Мирзоев К.М., Николаев А.В., Лукк А.А., Юнга С.Л. Наеденная сейсмичность и возможности разрядки накопленных тектонических напряжений в земной коре // Физика Земли. 2009. № 10. С. 49–68.
8. Николаев Н.И. О состоянии изучения проблемы возбужденных землетрясений, связанных с инженерной деятельностью. Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука. 1977. С. 8–21.
9. Справочное руководство гидротехника / Под ред. Максимова В.М. М.: Наука, 1979. 437 с.
10. Электроразведка. М.: Наука. 1989. 437 с.
11. Gupta H.K. Reservoir-induced earthquake. Elsevier. 1992. 364 p.
12. Simpson D.W., Leith W.S., Scholz C.H. Two types of reservoir-induced seismicity // Seismol. Soc. Am. 1988. V. 78. P. 2025–2040.
13. Rothe J. P. Seismic artificial // Tectonophysics. 1970. Vol. 9. No. 2. P. 215.

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ РАЗЛОМНО-БЛОКОВЫХ СТРУКТУР

© И.А. Керимов

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

Аннотация. В статье рассмотрены алгоритмы и программы моделирования и интерпретации аномального гравитационного поля разломно-блоковых структур. Исследования показали, что для геологической интерпретации аномального гравитационного поля в условиях Терско-Каспийского прогиба наиболее эффективным является анализ высших производных гравитационного поля. Разработана программа моделирования гравитационного поля разломно-блоковых структур, основанная на решении прямой задачи гравиразведки для вертикальных линейных призм различной ориентировки и размеров с использованием формул В.Н. Страхова. Предложен двухэтапный способ расчета высших производных на базе метода F-аппроксимации. На первом этапе выполняется глобальная аппроксимация на всей исследуемой территории, затем выполняется процедура восстановления на регулярной сети значений потенциальных полей в узлах регулярной сети с учетом разновысотности исходных и результативных точек (3D-интерполяция). На втором этапе производится расчет горизонтальных и вертикальных производных на локальной аппроксимации в пределах скользящего окна заданного размера.

Ключевые слова: гравиразведка, разломно-блоковая тектоника, моделирование, интерпретация, метод F-аппроксимации.

Терско-Каспийский передовой прогиб (ТКП) характеризуется разломно-блоковым строением осадочного чехла и фундамента, глубинные разломы оказали решающее влияние не только на геоструктурные особенности палеозойского фундамента, но и на тектонический план платформенного чехла. Необходимо отметить также, что зоны глубинных разломов вследствие многократных подвижек отдельных блоков могут быть осложнены многочисленными поднятиями при- и надразломного характера, системой трещин, делающим толщи горных пород, благоприятными для миграции и аккумуляции углеводородов. На ряде реальных геолого-геофизических материалов показана эффективность применения гравимагнитных данных для изучения разломной тектоники и прогнозирования нефтегазоперспективных ловушек в глубокопогруженных горизонтах Предкавказья [1-9].

Наиболее эффективными методами обработки и интерпретации гравиметрических данных являются современные аппроксимационные методы, числу которых относится и метод F-аппроксимации. На модельных и практических примерах показана эффективность решения на основе метода F-аппроксимации широкого круга важных практических задач [1-4]:

- восстановление значений потенциальных полей в узлах регулярной сети с учетом разновысотности исходных и результативных точек (3D интерполяция);
- исключение искажающего влияния аномального вертикального градиента при пересчете наблюдаемого поля на горизонтальную плоскость или любую заданную поверхность;
- фильтрация помех, нарушающих гармонический характер наблюдаемого потенциального поля.

Методы исследований. Для обработки и интерпретации аномального гравитационного поля нефтегазоперспективных регионов предлагается комплекс методов, включающих моделирование аномального поля, глобальные и локальные аппроксимации, вычисление различных трансформант поля и последующую геологическую интерпретацию, с использованием данных сейсморазведки, морфометрического анализа рельефа и бурения.

Моделирование. Для оценки эффективности гравиметрических методов при изучении систем разломов и зон трещиноватости была разработана серия моделей и рассчитаны аномальное гравитационное поле и его производные. Для решения прямой задачи гравиразведки для вертикальных линейных призм различной ориентировки была разработана программа, основанная на формулах В.Н. Страхова [5]. Как показало моделирование аномального гравитационного поля системы разноориентированных разломов для их трассирования наиболее эффективно использование третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести.

Глобальная аппроксимация. На первом этапе выполняется глобальная аппроксимация на всей исследуемой территории, затем выполняется процедура восстановления на регулярной сети значений потенциальных полей в узлах регулярной сети с учетом разновысотности исходных и результативных точек (3D интерполяция). Одним из наиболее эффективных методов глобальной аппроксимации гравиметрических и топографических данных является метод F-аппроксимации аномальных гравитационных и магнитных полей, разработанный в рамках метода линейных интегральных представлений В.Н. Страхова. Данный метод полностью адекватен реальной геофизической практике и позволяет избавиться от различных идеализаций (идеализация плоского поля; идеализация границы раздела земля-воздух как бесконечной горизонтальной плоскости; идеализация непрерывного задания того или иного элемента поля на бесконечной горизонтальной плоскости или куске этой плоскости; идеализация задания того или иного элемента поля в узлах правильной геометрической сети и др.). Результаты апробирования метода на модельных и фактических геофизических данных, заданных на нерегулярной и разновысотной сети, позволили сделать вывод о высокой точности восстановления поля путем F-аппроксимации. В рамках метода F-аппроксимации разработаны алгоритмы и компьютерные технологии 3D-трансформации (вычисление высших производных потенциальных полей, аналитическое продолжение в верхнее и нижнее полупространства элементов потенциальных полей, разделение аномальных полей) [1-4].

В методе F-аппроксимации принимается, что исходное поле задано на нерегулярной по горизонтали и вертикали сети:

$$W_a(x), x = (x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

Выражение для вычисления восстановленного поля на основе F-аппроксимации при заданной произвольной сети расчетных точек (ξ_1, ξ_2, ξ_3) выглядит следующим образом:

$$W_z(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(2z_{k,l}^2 - 3p_{k,l}^2) \cdot z}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{\frac{7}{2}}}, \quad (2)$$

где

4. λ_i – множители Лагранжа;

$$p_{k,l} = \sqrt{(x_{1,k} - \xi_{1,l})^2 + (x_{2,k} - \xi_{2,l})^2};$$

$$z_{k,l} = x_{3,k} + \xi_{3,l} + 2H.$$

Данное выражение позволяет находить пространственное распределение поля на заданной сети расчетных точек (ξ_1, ξ_2, ξ_3) , в т.ч. и регулярной сети.

Горизонтальный градиент W_{sz} и третья вертикальная производная W_{zzz} потенциала силы тяжести на основе F-аппроксимации определяются по следующим формулам:

$$W_{sz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(3\rho_{k,l}^2 - 4z_{k,l}^3)p_{k,l}}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}}, \quad (3)$$

$$W_{zzz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l}(8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}} \quad (4)$$

Приведенные выше выражения позволяют находить пространственное распределение W_{sz} и W_{zzz} в заданной сети расчетных точек (ξ_1, ξ_2, ξ_3) .

Для практической реализации технологии глобальной аппроксимации как для модельных, так и для практических примеров был использован следующий единый трехэтапный методический подход:

1-й этап – формирование матрицы A

На этом этапе с использованием описанных выше программ вычислялись элементы матрицы размером $N \times N$, где N – число исходных пунктов с известными координатами и значениями аномального гравитационного (магнитного) поля.

Предварительно до вычисления элементов матрицы производится сортировка данных и выборка определенного числа пунктов для независимого контроля точности аппроксимации. Для исследования эффективности аппроксимационного подхода предлагается несколько способов выбора контрольных точек и оценки точности на модельных примерах.

1. Первый способ трехступенчатого контроля заключается в следующем. На первом этапе из исходных гравиметрических (магнитометрических) пунктов случайным образом (или любым другим способом) исключается порядка 20% пунктов, которые включаются в число контрольных, а оставшиеся 80% пунктов используются для построения F-аппроксимации. На втором этапе F-аппроксимация осуществляется с использованием всех 100% исходных гравиметрических (магнитометрических) пунктов. На третьем этапе производится сгущение сети и оценка точности по дополнительным пунктам, которые не использовались при F-аппроксимации.

2. Второй способ трехступенчатого контроля имеет нижеследующие особенности. На первом шаге из исходных пунктов исключается порядка 20% пунктов, имеющих минимальные по модулю значения аномального поля, которые включаются в число контрольных, а оставшиеся 80% пунктов используются для построения аппроксимационной конструкции. На втором шаге из контрольных пунктов выделяется половина, имеющих максимальные по модулю отклонения от исходного поля, и они добавляются к числу пунктов,

используемых для построения аппроксимации. Контроль точности производится по оставшимся контрольным пунктам (10%). На третьем шаге для построения F-аппроксимации используются все исходные пункты.

3. Третий способ заключается в следующем. Из исходных гравиметрических (магнитометрических) пунктов исключался каждый пятый (десятый) пункт (или любые заданные пункты) или случайным образом исключалось определенное количество $N_{\text{контр}}$ пунктов наблюдений (5-20% от общего числа пунктов). После исключения части пунктов наблюдений снова производился расчет элементов матрицы СЛАУ размером $M \times M$, где $M = N - N_{\text{контр}}$. Исключенные из исходных данных $N_{\text{контр}}$ пунктов в последующем использовались для независимого контроля точности аппроксимации. На следующем шаге F-аппроксимация уже строится с использованием всех пунктов.

2-й этап – решение СЛАУ

Вторым этапом и наиболее важной вычислительной проблемой практической реализации аппроксимационного подхода к спектральному анализу аномального гравитационного и магнитного полей является СЛАУ большой размерности. Для этой цели использовались программы из пакета прикладных программ СППМ, реализующие три вычислительных метода:

- а) метод М.М. Лаврентьева (программа S-1);
- б) метод регуляризации разложения Холецкого (программа S-5);
- в) итерационный метод В.Н. Страхова (программа S-6);

3-й этап – восстановление поля и оценка точности аппроксимации

На этом этапе производится расчет гравитационного (магнитного) поля по результатам аппроксимации и оценка точности. Восстановление поля и его сравнение с исходным (а в случае модельных примеров с точным значением поля) производится в N исходных пунктах, если вычисление элементов матрицы ($N \times N$) и соответственно решение СЛАУ производилось по N исходным пунктам. В случае если эти расчеты производились для M пунктов, то восстановление поля и оценка точности производилась для $N_{\text{контр}}$ контрольных пунктов и всех исходных пунктов N порознь. Расчет восстановленного поля производился с использованием множителей Лагранжа, полученных тремя описанными выше методами решения СЛАУ, а также с использованием среднеарифметических значений множителей Лагранжа, полученных тремя методами. производится расчет гравитационного поля по результатам аппроксимации. Для оценки точности аппроксимации производится сравнение восстановленного и исходного гравитационных полей.

4-й этап – вычисление трансформант поля

На этом этапе производится пересчет поля на горизонтальную плоскость и на регулярную сеть с заданными параметрами. На данном этапе также выполняются следующие трансформации:

1. Пересчет поля в верхнее и/или нижнее полупространство.
2. Расчет высших горизонтальных и вертикальных производных (W_z, W_{zz}, W_{zzz}).
3. Разделение поля на разноглубинные составляющие, гравитационная томография.

Локальная аппроксимация. Для локальной аппроксимации в Данных способ основан на аппроксимации наблюдаемого поля по координатам X и Y в пределах прямоугольной палетки размером $(2m+1) \times (2K+1)$ алгебраическим полиномом степени m ($m \leq 5$):

$$\Delta g_{анп}(x, y) = \sum_{k=0}^m \sum_{\ell=0}^{m-k} a_{k\ell} x^k y^\ell \quad (5)$$

Значение высших производных потенциала силы тяжести можно определить дифференцированием по переменным X и Y . В центре окна ($X=0$; $Y=0$) значения высших производных и сглаженного поля с точностью до постоянного множителя равны коэффициентам при соответствующих переменных.

Модуль горизонтального градиента W_{sz} и третья вертикальная производная силы W_{zzz} тяжести определится следующим образом:

$$W_{sz}(0,0) = \sqrt{V_{xz}^2(0,0) + V_{yz}^2(0,0)} = \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2} \quad (6)$$

$$W_{zzz}(0,0) = -(V_{xxz}(0,0) + V_{yyz}(0,0)) = -2(a_{20} + a_{02}) \quad (7)$$

Аналогично могут быть определены и другие производные.

Для нахождения коэффициентов аппроксимирующего полинома использован метод наименьших квадратов. Этот метод основан на условии минимума среднеквадратичного отклонения между исходной и аппроксимирующей функциями:

$$S = \sum_{i=-m}^m \sum_{j=-k}^k (\Delta g_{наб}(x_{ij}, y_{ij}) - \Delta g_{анп}(x_{ij}, y_{ij}))^2 \rightarrow \min \quad (8)$$

Частным дифференцированием относительно коэффициентов составляется СЛАУ:

$$\frac{\partial S}{\partial a_{kl}} = 0 \quad \begin{pmatrix} k = 0, 1, 2, \dots, m \\ \ell = 0, 1, 2, \dots, m - k \end{pmatrix} \quad (9)$$

При аппроксимации эмпирических данных для систем уравнений типа (17) свойственна малая обусловленность, т.е. решение системы может быть неустойчивым. Особенностью рассматриваемого алгоритма является то, что с целью повышения обусловленности при аппроксимации наблюдаемого поля силы тяжести полиномом степени m в пределах прямоугольного окна была использована скользящая система прямоугольных координат с началом в центре окна. Это наряду с тем, что приводит элементы матрицы к одному порядку, что повышает устойчивость решения системы уравнений, позволяет также в значительной степени упростить систему уравнений. Это обусловлено тем, что для симметричной относительно осей координат X и Y прямоугольной палетки

значения координат x_{ij} и y_{ij} равны и противоположны по знаку, а суммы этих переменных по нечетным степеням равны нулю.

Описанный алгоритм вычисления высших производных силы тяжести на основе аппроксимации двумерными полиномами до пятой степени реализован в программе "Градиент". Исходными данными для программы являются: поле силы тяжести, заданное в узлах прямоугольной сети, размеры этой сети, размеры скользящего окна и степень аппроксимирующего полинома. Следующей процедурой после ввода программы является формирование матрицы коэффициентов в системе линейных уравнений. Далее полученная СЛАУ решается методом исключения Гауссиана, в результате чего находятся коэффициенты аппроксимирующего полинома, по которым вычисляются высшие производные.

Выводы

1. Результаты моделирования аномального гравитационного поля системы блоковых структур позволили сделать вывод, что для трассирования разломов наиболее эффективно использование третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести.
2. Разработаны алгоритмы и программы двухэтапного способа вычисления высших производных на основе глобальной и локальной аппроксимаций.
3. Апробирование программ на модельных и реальных геолого-гравиметрических данных показали эффективность предлагаемого метода.

Литература

1. Керимов И.А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. М.: Физматлит, 2011. 264 с.
2. Керимов И.А. Использование F-аппроксимации при интерпретации гравиметрических данных. I. Методика и результаты опробования на модельных примерах // Физика Земли. 2003. №1. С. 57-76.
3. Керимов И.А. Использование F-аппроксимации при интерпретации гравиметрических данных. II. Результаты опробования на материалах гравиметрических и магнитометрических съемок // Физика Земли. 2009. №5. С. 77-93.
4. Керимов И.А. F-аппроксимации рельефа земной поверхности // Физика Земли. 2009. №8. С. 101-112.
5. Керимов И.А. Методы гравитационной томографии на основе F-аппроксимации // Геология и геофизика юга России. 2020. №1. С.55-67.
6. Керимов И.А. Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба // Геология и геофизика юга России. 2021. №4. С.30-42.
7. Керимов И.А. Моделирование гравитационного поля систем разломов и зон трещиноватости // Геология и геофизика Юга России. 2022. №12(4). С. 59-71.
8. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Бадаев С.В. Разломная тектоника, гравитационные аномалии и сейсмичность ТКП // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Том 6. №4 (26). С. 37-53.
9. Керимов И.А., Эльжаев А.С., Додуев А.А. Геофизические исследования на карбоновом полигоне Чеченской Республики // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. №3. С.49-62.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ КАК ФАКТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© Т.Н. Куропаткина
КубГУ, Краснодар

Аннотация. В инженерно-геологических изысканиях наибольший интерес представляет верхний геодинамический этаж. Характерной для горно-складчатых сооружений денудации, возраст разрывных нарушений не старше возраста основных элементов рельефа и, соответственно, может быть определен как неотектонический, а сами разломы можно считать сформировавшимися за счет воздействия молодых полей напряжений. Современная роль разлома должна определяться степенью его подвижности. Для определения ориентировки установленных тектонических нарушений были построены розы-диаграммы, а анализ пространственной ориентировки тектонических нарушений выявил ряд закономерностей.

Ключевые слова: тектонические разрывные нарушения, линеамент, геодинамические напряжения, ориентировка разломов.

С учётом высоких темпов освоения Черноморского побережья Краснодарского края территория южного склона Северо-Западного Кавказа требует более тщательного изучения особенностей ее геологического строения, динамики геологической среды и влияния тектонических нарушений на состояние инженерных сооружений.

Одним из важнейших условий формирования тектонических нарушений является геодинамическая этажность земной коры [2, 4], которая определяется изменением ориентировки осей главных напряжений с глубиной. Это служит основным фактором образования тектонических разломов различного кинематического типа. С точки зрения инженерно-геологических изысканий наибольший интерес представляет верхний геодинамический этаж. Здесь горизонтальные геодинамические напряжения преобладают над вертикальными геостатическими напряжениями от веса горных пород. Оси максимального и промежуточного главных нормальных напряжений (σ_1 и σ_2) в этой части разреза располагаются горизонтально. Ось минимального главного нормального напряжения (σ_3) совпадает с вектором силы тяжести и имеет строго вертикальную ориентировку (рис. 1). Такая расстановка сил формирует тектонические нарушения с надвиговой (взбросовой) кинематикой смещения. Глубина их развития ограничивается сотнями метров [3].

С учетом непрерывной денудации, характерной для горно-складчатых сооружений, возраст разрывных нарушений будет не старше возраста основных элементов рельефа и, соответственно, может быть определен как неотектонический, а сами разломы можно считать сформировавшимися за счет воздействия молодых полей напряжений.

В работе в качестве объекта исследования выступают тектонические разрывные нарушения, проявившиеся на участке Черноморского побережья г.-к. Геленджик – г. Туапсе. Предметная область сводилась к изучению их пространственной ориентировки.

Выполненный морфоструктурный анализ (М 1:50000) позволил оценить данные о расположении неотектонических нарушений на изучаемой территории и выполнить их трассировку [1]. Результатом послужила карта тектонических блоков с выделением на ней разрывных нарушений низкого (IV) ранга, которые являются оперяющими разломами вдоль границ основных линейментов (рис. 2). Именно этот уровень тектонических нарушений сопоставим с размерами инженерных сооружений и представляет интерес для анализа.

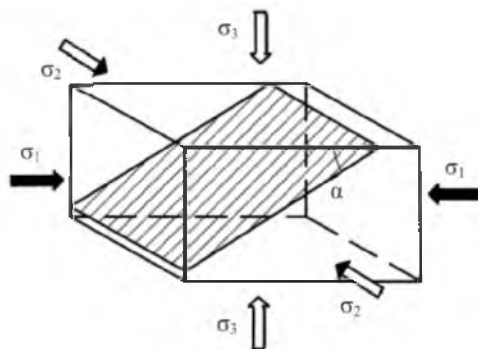


Рис. 1. Формирование разломов в поле тектонических напряжений в верхней части земной коры (верхний геодинамический этаж)

Если рассматривать разломы с позиций инженерной геологии, то современная роль разлома должна определяться степенью его подвижности. Последняя тектоническая активизация региона связана с постплейстоценовым временем, в течение которого существующая сеть дизъюнктивных структур на фоне относительно медленного дифференцированного воздымания, продолжающегося и до настоящего времени была обновлена и/или частично заново сформирована. В связи с этим для оценки современной активизации тектонических нарушений необходимо понимание ориентировки разломов в поле современных геодинамических напряжений, действующих на конкретном участке земной коры.

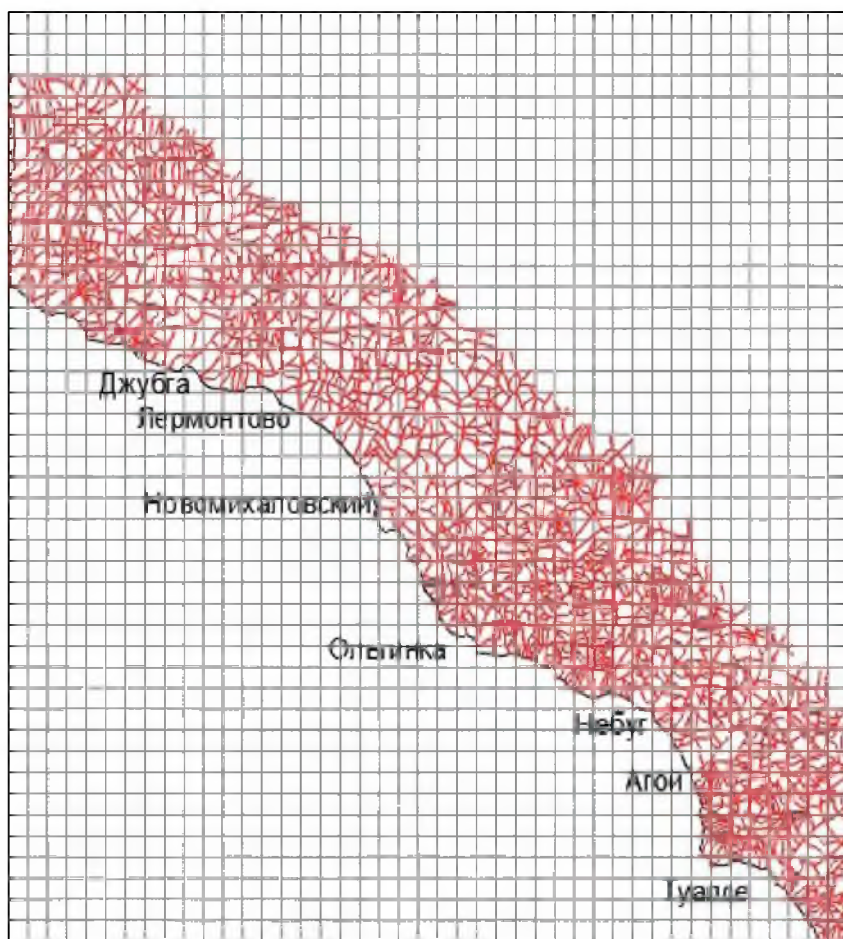


Рис. 2. Фрагмент схемы тектонических блоков исследуемого участка (от автора, 2020)

Для определения ориентировки установленных тектонических нарушений были построены розы-диаграммы (рис. 3). Анализ пространственной ориентировки тектонических нарушений выявил ряд закономерностей:

1. Образование и активизация тектонических нарушений происходит, чаще всего, под воздействием двух преобладающих главных максимальных напряжений (ГМН), имеющих ориентировки $260-270^\circ$ и $285-290^\circ$.

2. Сбросы (раздвиги), параллельны ГМН и перпендикулярны надвигам. Надвиги имеют характерную ориентировку: среднюю $350^\circ-355^\circ$ при ГМН $260^\circ-270^\circ$ и 200° при ГМН 290° .

3. Каждая из основных систем ГМН (260° или 285°) формирует свои системы сдвигов. В качестве признака, следует указать, что угол скола (угол с ГМН) составляет обычно $40-45^\circ$. Для ГМН 260° азимут левых сдвигов составляет $300^\circ-310^\circ$, а азимут правых сдвигов составляет примерно 220° . Для ГМН 290° характерные азимуты сдвигов составляют $330^\circ-335^\circ$ и примерно 240° .

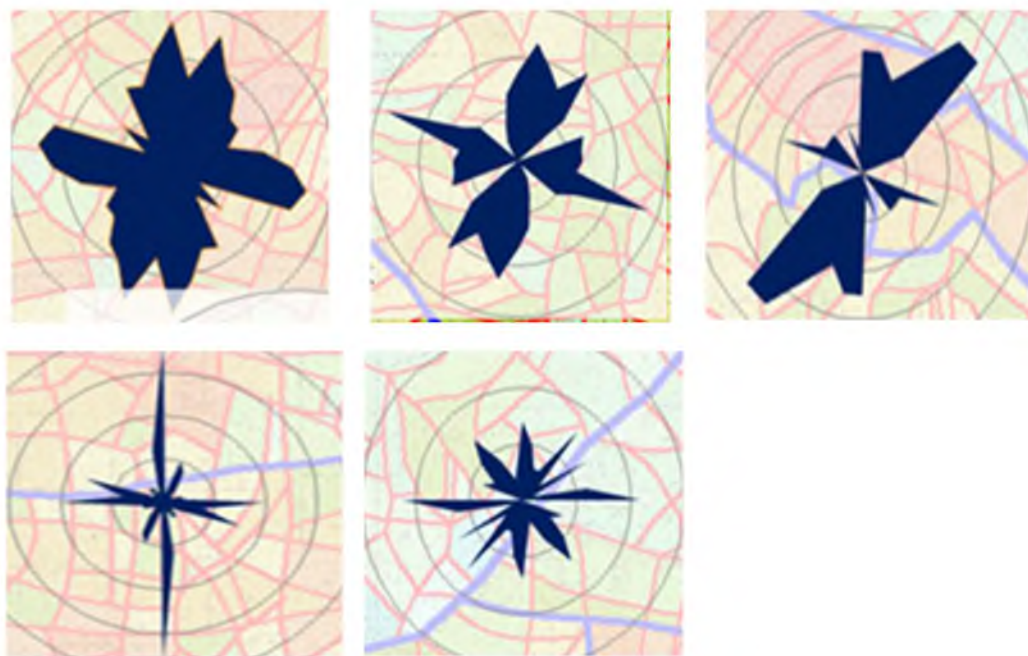


Рис. 3. Розы-диаграммы отражающие ориентировки разломов IV порядка

Проведенная увязка опасных инженерно-геологических процессов с выделенными тектоническими нарушениями позволила предположить, что часть оползневых явлений на изучаемой территории связана со сбросами, имеющих субширотную ориентировку.

Литературы

1. Куропаткина Т.Н. Структурно-геоморфологический анализ Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа // Региональные географические исследования. Сб. науч. тр. Под общ. ред. А.В. Погорелова. Краснодар, 2020. С. 5–9.
2. Тагильцев С.Н., Лукьянов А. Е. Геомеханическая роль тектонических разломов и закономерности их пространственного расположения // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. (12–14 октября 2011 г.). Екатеринбург, 2012. С. 26–39.
3. Тагильцев С.Н. Закономерности пространственного расположения тектонических нарушений в поле современного напряженного состояния земной коры // Горный журнал. Изв. ВУЗов. 2018. №7. С. 52–66.
4. Тектонический кодекс России / Г.С. Гусев, Н.В. Межеловский, А.В. Гуцин и др. ГЕОКАРТ: ГЕОС Москва, 2016. 240 с.

НЕОТЕКТЕНИКА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА С ОЦЕНКОЙ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ (РАЙОН Г. ГЕЛЕНДЖИКА)

© В.М. Макеев, М.О. Ревазов

Геофизический институт ВНЦ РАН, Владикавказ

Аннотация. Район г. Геленджик (Краснодарский край) исследован относительно неотектонических структур и геодинамических условий с учетом эволюции орогенного поднятия Большого Кавказа и глубоководной Черноморской впадины. Прикладная значимость исследований связана с обеспечением безопасности водоотводных сетей (трасс) территории г. Геленджик и его окрестностей. В основу исследований положен структурно-геоморфологический (неотектонический) метод с определением современных геодинамических условий. В результате выделены разновозрастные геоморфологические ступени, неотектонические структуры изгибного и разломного типа, по происхождению связанные с разнотипными напряжениями сжатия (коллизийные) и растяжения (рифтогенные?). Впервые установлена суперпозиция разнородных сил и напряжений, выраженная перекрестно-структурным планом.

Ключевые слова: неотектоника, геодинамика, структурно-геоморфологические ступени, впадины, поднятия, складчатость, разрывные нарушения.

Район г. Геленджика и его окрестностей расположен в пределах Геленджикской подгорной равнины, сопряженной с Маркотхским хребтом на севере (макс. абс. отм. от 500 до 700 м) и черноморским побережьем на юге (рис 1, 2). Равнина подвержена интенсивному воздействию сезонных атмосферных вод и селевым потокам со стороны Маркотхского хребта в направлении побережья моря. Каналами стока являются овраги (щели), балки и ложбины, источником селей – делювиальные склоны и элювий. Равнина приурочена к границе Ю-3 ступени (крыла) поднятия Северо-Западного сегмента Большого Кавказа с Абрауской бортовой зоной Туапсинского прогиба Черноморской впадины [4]. Граница согласуется с протяженными верхнекоровыми разломами [10].



Рис. 1. Район г. Геленджик и его окрестности с проектируемыми водоотводными трассами и точками полевых наблюдений (август, 2023 г.). 1 – Маркотхский хребет, 2 – Дообский хребет.

Целью исследований является структурно-геоморфологическое и неотектоническое исследования с оценкой геодинамических условий района г. Геленджик в связи с проектированием инженерных водоотводных сетей (трасс) и обеспечения их безопасности от негативных геологических процессов. Методом исследований является структурно-геоморфологический с построением профилей с выделением геоморфологических ступеней и оценкой их возраста, а также неотектонический методический подход, направленный на выделение структур с учетом возможных источников полей напряжений и деформаций. Методологией исследований является признание разнородности, разноранговости и разновозрастности напряжений и деформаций [3, 11, 12].

Общие представления о неотектонике и геодинамике региона

Элементы продольного (общекавказского) строения. Рассматриваемый район расположен в пределах Северо-Западного сегмента эоценового поднятия Большого Кавказа на сопряжении с плиоценовой впадиной Черного моря [4]. Ю-В крыло сегмента Большого Кавказа представлено структурной ступенью преимущественных поднятий, переходящей в бортовую зону преимущественных опусканий, скрытую под водами Черного моря. В ней различается внешняя и внутренняя подзоны резко и слабо дифференцированных опусканий, сопряженных с центральной частью Черноморской глубоководной субокеанической впадины. Границей ступени и бортовой зоны являются разрывные нарушения с падением в сторону впадины Черного моря. По простиранию в северо-восточном направлении нарушения переходят в Абрауский желоб северо-западного простирания.



Рис. 2. Геленджикская бухта с городской застройкой.
На переднем плане Ю-З ступенчатый склон Маркотхского хребта

Элементы поперечного (антикавказского) строения

Поднятие Северо-Западного Кавказа по простирацию переходит в Центрально-Кавказское поднятие с изменением простираия с северо-западного на субширотное [9]. Границей двух поднятий является Пшехско-Адлеровская поперечная флексура, сопровождаемая разрывными нарушениями с падением на запад. Имея кулисообразное строение, поперечная флексура по простираию в южном направлении пересекает бортовую зону Черноморской глубоководной впадины и сливается с юго-восточной границей ее центральной части. В северном направлении поперечная зона пересекает осевую зону свода Большого Кавказа, согласуясь с простираием северной границы Идоло-Кубанского краевого прогиба. Немного восточнее с зоной согласуется Новоафонская поперечная флексура. Ее южная оконечность выражена в виде желоба, который частично приурочен к границе внутренней и внешней подзон борта Черноморской глубоководной впадины.

Что-то похожее по строению наблюдается в северо-западной части Черноморской глубоководной впадины на сопряжении бортовой зоны с центральной частью глубоководной впадины. На простираии границы центральной части впадины с внешней подзоной находится Геленджикская поперечная (антикавказская) флексура. Явных признаков пересечения ею бортовой зоны не наблюдается, но она прослеживается на сопряжении Абрауского погребенного поднятия внешней подзоны с другими поднятиями внутренней подзоны. С Геленджикской флексурой согласуется Анапская поперечная флексура, находящаяся чуть западнее. На ее простираии в южном направлении находится граница бортовой зоны Черноморской впадины с Керченско-Таманской областью поперечных погружений. Рассматриваемая флексура по причине ветвления может соответствовать границе внутренней и внешней подзон борта Черноморской впадины.

Этапы тектонического развития

Альпийский тектоно-магматический цикл (T_3-Q), с которым связана эволюция рассматриваемого района, начался с общего погружения и завершился

сводовым поднятием. Цикл состоит из ранне- (T_3-P_2) и позднеальпийских (P_2-Q) этапов соответственно.

1) В раннеальпийское время образовался сеноман-маастрихский верхнемеловой карбонатный флиш (мальм-эоценовый структурный этаж), принадлежащий Новороссийскому тектоническому покрову [2, 4]. На севере покров представлен Тхабско-Шапсугским синклинием, а на юге – Геленджикским. Граница Тхабско-Шапсугского и Геленджикского синклинириев представлена Семигорской узкой антиклиналью, интенсивно нарушенной взбросо-надвиговыми разрывами (рис. 3). В рельефе антиклиналь выражена Маркотхским хребтом, что позволяет рассматривать ее как антиклинальное поднятие. То же, но с обратным знаком движений, следует подразумевать под синклинальным прогибом. Южная граница Новороссийского покрова выражена Кавказско-Черноморской зоной глубинных разломов, рассматриваемой в качестве сейсмогенной с $M=5,5$ [7, 13].

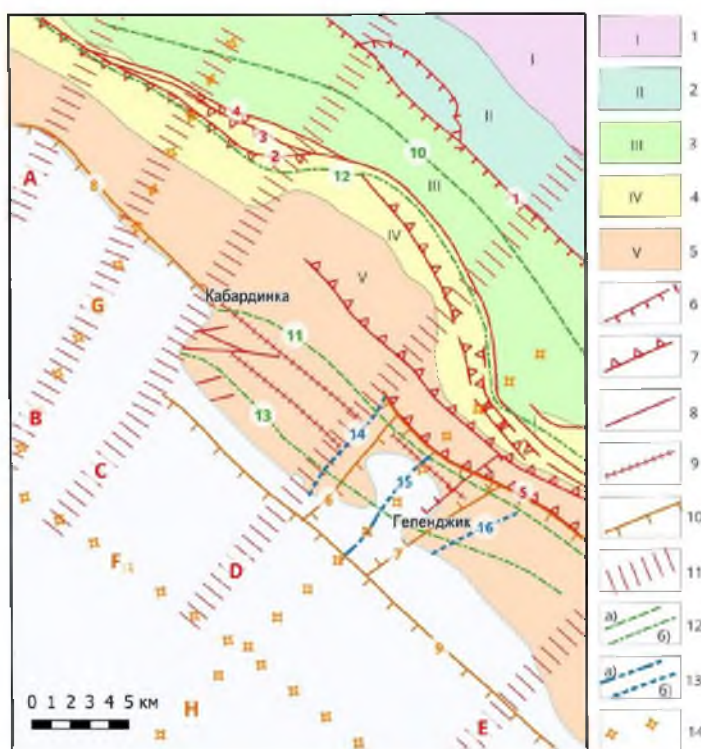


Рис. 3. Неотектоника района г. Геленджик и ее окрестностей.

1 – позднеальпийский структурный ярус, молассы (I). 2 – Гойтхский среднеальпийский структурный ярус (II). Новороссийский тектонический покров: 3 – Тхабско-Шапсугский синклиний (III), 4 – Семигорская антиклиналь (IV), 5 – Геленджикский синклиний (V). Разрывы: 6 – сбросы (1 – Верхне-Абинский), 7 – взбросы (2 – Адегойский, 3 – взброс Щели Ремизова, 4 – взброс щели Глубокой, 5 – Мзыбский взбросо-надвиг), 8 – неясной морфологии, 9 – глубинные разломы, установленные по геофизическим данным, 10 – новейшие разрывы и флексурно-разрывные зоны (6 – Марьянская, 7 – мыса Толстый, 8 – Гайдукский, 9 – Джанхотский); 11 – зоны антикавказских нарушений: А – Цемесская, В – Шесхарисская, С – Кабардинская, D – Яшамбайская, Е – Джанхотская. Складчатые структуры. 12 – альпийского цикла: а) синклинали, б) антиклинали. 13 – новейшего этапа: а) синклинали, б) антиклинали. 14 –

Сейсмоактивные зоны: F – Кавказско-Черноморская, G – Шесхарийская, H – Геленджикская.

На границе орогена Большого Кавказа и Туапсинского прогиба выделены два глубинных верхнекоровых разлома по геофизическим данным, которые в пределах Геленджикской бухты и западнее согласуются с Геленджикским синклиномом [10]. Западнее в районе Кабардинки на простирании одного из этих разломов (относительно более северный) находится сбросовое нарушение, переходящее затем во взброс. С ним согласуется северная граница Новороссийской бухты. Относительно более южный разлом в западном направлении пересекает Новороссийскую бухту дугообразно изменяя простирание с северо-западного на субширотное. Отметим, что у самого побережья выделен короткий фрагмент такого же дугообразно выраженного разлома. Здесь оба разлома косо секут структуры синклинория, теряя связь с орогеном, геодинамически тяготея больше к прогибу к его бортовой зоне, чем к Ю-З склону орогена.

Исследуемый район включает Дюбскую и Семигорскую антиклинали, сопряженные с Кабардинской синклиналью, осложненные мелкого размера складчатостью. Юго-западное крыло Семигорской антиклинали по Мезыбскому крутому взбросо-надвику опрокинута к юго-западу. Все складки имеют юго-западную асимметрию, что подтверждают движения Новороссийского тектонического покрова с северо-востока в юго-западном направлении, вызванного раннеальпийской субдукцией Восточно-Черноморской микроплиты под Большой Кавказ [2].

2) В позднеальпийское время произошло горообразование (орогенез), которое определило состав и строение отложений Кавказского региона. Этот этап, как новейший, делится на ранне- и позднеорогенную стадии, рубежом которых является сарматский век позднего миоцена (N_1^{2-3}) [5]. В это время изменяются геодинамические условия с субдукционных на коллизионные, связанные со сближением Аравийской и Евразийской литосферных плит, а точнее, Восточно-Черноморской и Скифской микроплит [1, 8]. В это время в плиocene образовалась Черноморская глубоководная субокеаническая впадина, как источник дополнительных сил и напряжений в регионе.

Таким образом, район г. Геленджик принадлежит двум типам неотектонических (позднеорогенных) структур. Один тип связан с активностью высокогорного поднятия Северо-Западного Кавказа, как коллизионного образования, другой – с активностью Черноморской глубоководной впадины с отчетливо выраженной бортовой зоной и секущими структурами, формирующимися в условиях напряжений растяжения. Впадина имеет отчетливо выраженную неотектоническую и современную зональность, которая распространяется от центральной ее части в сторону осевой зоны поднятий Большого Кавказа. В этом аспекте рассматриваемый район является представительным для изучения разнотипных напряжений, а также расслоенности земной коры и верхней мантии.

Результаты работы и их обсуждение

В районе Геленджика и его окрестностей, включающих Ю-З склон Маркотхского хребта, Геленджикскую бухту, Тонкий и Толстый мысы

проведены структурно-геоморфологические и неотектонические исследования (см. рис. 2).

1) Структурно-геоморфологические исследования связаны с построением продольных и поперечных профилей относительно простираний горных хребтов с выделением эрозионно-денудационных ступеней, морских и речных террас и оценкой их возраста и высотного положения. Возраст ступеней определен на основе сопоставления их с известными опорными ступенями и террасами, продатированными на основе палеонтологических данных [6, 10]. Эрозионно-денудационных ступеней выделено пять: I) позднеолигоцен-раннемиоценовая (майкопская, $P_3-N_1^1$), II) средне-позднемиоценовая (сарматская, N_1^{2-3}), III) позднемиоцен-раннеплиоценовая (понтическая, $N_1^3-N_2^1$), IV) позднеплиоцен-палеоплейстоценовая (акчагыльская, $N_2^3-Q_P$) и V) эоплейстоценовая (апшеронская, Q_E). Наиболее полно ступени развиты на Ю-З склоне Маркохтского поднятия с Кабардинским прогибом. Морских террас выделено также пять: пшадская (Q_2^1), ашейская (Q_2^2), карангатская (Q_3), новочерноморская (Q_4^3), нимфейская (Q_4^4) и современный пляж (Q_4^0). Террасы приурочены в основном к Аэропортово-Дивноморскому поднятию к мысу Тонкий и к левому водоразделу долины р. Яшамбы. По фаунистическим данным и деформациям береговых линий морских террас уровень на абс. отм. 35-38 м является пятым пшадским, на 25-27 м – четвертым ашейским и на 13-15 м – третьим карангатским [5] (рис. 4). Вторая новочерноморская и первая нимфейская террасы находятся на абс. отм. 4,5 и 2,0 м соответственно. На левом водоразделе долины р. Яшамбы террасы являются аккумулятивными, на остальной территории они абразионные.

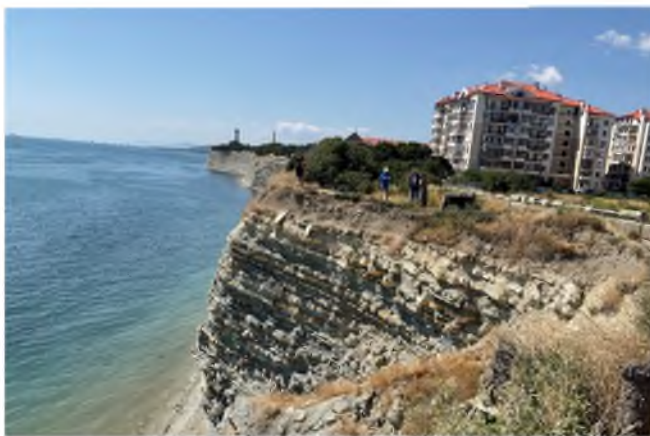


Рис. 4. Абразионный уступ на Толстом мысу с выходами пород карбонатного флиша верхнего мела. Дома построены на эрозионной поверхности пятой пшадской морской террасы

2) Неотектонические исследования. По возрасту и характеру строения неотектонические структуры (P_2 - поныне) типизированы на ранне- и позднеорогенные. Структуры, отвечающие разному возрасту образования, отчетливо выражены в формах рельефа и отложениях, что дает основание считать их активными поныне.

Раннеорогенные общекавказские структуры (эоценовые, P_2 , по акад. Е.Е. Милановскому, и «майкопские», $P_3-N_1^1$, по С.А. Несмеянову) выражены поднятиями и прогибами, включая разрывы [4, 5]. Их формирование происходит

в конденсационных и конэрозионных условиях. В качестве таковых являются: Маркотхское и Аэропортово-Дивноморское антиклинальные поднятия и сопряженные с ними Кабардинский и Азербиевский синклинальные прогибы и др. структуры (см. рис. 3). Неотектонические поднятия согласуются с Семигорской и Дообской (Кауковской?) антиклиналями, прогибы – с одноименными синклиналями Геленджикского раннеальпийского синклиория. Разрывы представлены преимущественно соскладчатыми взбросами с падением на северо-восток (Мезыбский взбросо-надвиг, Адыгойский взброс и др.). По геофизическим данным выделены глубинные разломы, соответствующие сочленению орогена Большого Кавказа и Туапсинского прогиба Черноморской обширной впадины.

Позднеорогенные структуры («сарматские» N_1^{2-3} по С.А. Несмеянову) рассматриваются как новообразованные, связанные с изменяющимися геодинамическими условиями – заложением Черноморской плиоценовой впадины и поднятия Большого Кавказа сводового типа. Одна часть структур общекавказского простираения согласуется с деформациями предыдущих тектонических этапов: раннеальпийским и раннеорогенным. Хорошим примером является Гайдукская(?) неотектоническая сбросовая зона, согласующаяся с Мезыбским раннеальпийским взбросо-надвигом (T_3-Pg_2). Другая часть структур является антикавказской по простираению и пересекает ранее сформированные структуры продольного простираения. К последним относятся секущие глубинные зоны дислокаций (Кабардинская и др.), являющиеся сейсмогенными, поднятия и прогибы, вызывающие положительную и отрицательную ундуляцию шарниров раннеорогенных складок, а также сбросы (Марьинский, Мыса Толстый и др.) (рис. 5). Продольные и поперечные структуры связаны с активностью напряжений растяжения, наводимых со стороны Черноморской глубинной впадины. При этом сбросы общекавказского простираения падают в сторону Черного моря, разрывные нарушения антикавказского простираения падают часто навстречу друг другу.



Рис. 5. Сбросовая зона в карбонатном флише верхнего мела в районе Тонкого мыса

По Несмеянову С.А. и Воейковой О.А. Маркотхское и Аэропортово-Дивноморская поднятия, Кабардинский и Азербиевский прогибы дифференцированы на поперечные сбросы, горсты, ступени, седловины и

перемычки. Кабардинский прогиб дифференцирован с образованием грабена, который наследуется Геленджикской бухтой, выполненной исключительно голоценовыми морскими отложениями. Аэропортово-Дивноморская поднятие к югу под водами Черного моря сопряжено со структурной ступенью, сочленяющейся с Джанхотским (Адыгойским?) сбросом.

Специфическими являются антикавказские зоны активных нарушений: Шесхарийская, Геленджикская, Кабардинская и Яшамбайская. Они пересекают общекавказские структуры и в этом аспекте являются транзитными глубинными. На юге их развитие обрывается на Кавказско-Черноморской сейсмоактивной зоне. Не исключено, что их следует продолжить в южном направлении с пересечением бортовой зоны Черноморской впадины до слияния с северо-западной границей центральной субокеанической впадины [8]. Две из них Шесхарийская и Кабардинская зоны на севере сливаются с Геленджикской поперечной флексурой, которая является границей Северо-Новороссийской и Эфипской ступеней. Суммарная деформация с верхнего сармата (мэотиса) поныне составляет в них 500 и 1000 м соответственно. В северном направлении флексура пересекает зону осевых поднятий свода Большого Кавказа. Шесхарийская и Геленджикская зоны являются сейсмоактивными. Общим для этих двух зон является приуроченность к ним поперечных современных опусканий, на которые наложены Новороссийская и Геленджикская бухты.

Таким образом, район г. Геленджик исследован относительно неотектонических структур с определением современных геодинамических условий в регионе Северо-Западного Кавказа.

1) В результате работ выделены эрозионно-денудационные и террасовые уровни, высотное положение и возраст которых указывают на стадийный характер образования конэрозионных поднятий в пределах Ю-З склона Северо-Западного Кавказа, а в Тупсинской впадине конседиментационных прогибов. Майкопские и сарматские эрозионно-денудационные уровни как бы «ныряют» от Ю-З склона Маркотхского хребта в направлении моря. Понтические и более поздние четвертичные уровни являются отчетливо дифференцированными с образованием общекавказских (продольных) и антикавказских (поперечных) структур. Эти структуры накладываются друг на друга, что выражается в виде перекрестно-структурного плана. В нем пересекаются общекавказские ранне- и позднеорогенные, антикавказские позднеорогенные структуры, которые отчетливо выражены в рельефе и рассматриваются как активные. По морфолого-кинематическому типу и геодинамическим условиям формирования перекрестно-структурный план является несогласным и наложенным на раннеальпийскую складчатость (Новороссийский тектонический покров).

2) Современные геодинамические условия характеризуются суперпозицией разнотипных сил и напряжений, создающих перекрестно-структурный план. Общекавказские продольные структуры формируются в условиях напряжений сжатия, наводимых в связи с коллизионным сжатием, действующим в регионе Северо-Западного Кавказа в связи с тектоникой литосферных плит. Можно заключить в подтверждение ранее сделанных выводов [8], что коллизионное сжатие имеет северо-восток – юго-западную ориентацию. В этих условиях формируются антиклинальные поднятия и синклинальные прогибы, включая взбросо-надвиговые и др. зоны нарушений, тесно связанные с предыдущим структурным планом. На эти структуры накладываются напряжения растяжения, возможно, СЗ-ЮВ ориентации,

которые наводятся со стороны Черноморской глубоководной субокеанической впадины. Эволюция ее глубинных горизонтов, выраженная формированием бортовой зоны дифференцированных опусканий и поднятий, а также поперечных нарушений распространятся от Восточно-Черноморского разлома в сторону Северо-Западного Кавказа и осевой зоны Большого Кавказа. В условиях растяжения активизируются продольные общекавказские структуры и формируются поперечные сдвиговые, особенно на флангах субокеанической впадины в виде сейсмоактивных районов: Анапского и Сочинского [8]. Сложение разнотипных и разновозрастных напряжений вызывает формирование зон интерференций и геодинамически активных зон с концентрацией в них сейсмогенных напряжений.

3) Локализация на одном участке разных по возрасту и морфолого-кинематическим типам двух или нескольких разрывов выражается увеличением ширины зоны дислокаций от 50-70 м до 100-150 м. Оценка геометрических размеров этих зон актуальна в аспекте обеспечения структурно-геодинамической безопасности инженерных сооружений относительно превышения допустимых величин деформаций. Пересечение инженерными трассами активных разрывов является опасным. К подобного типа дислокациям относится Мезыбский раннеальпийский взбросо-надвиг, с которым согласуется Гайдукская позднеорогенная (новейшая) сбросовая зона. Воздействие на взброс напряжениями растяжения приводит к образованию зоны дислокаций, которая может быть опасна на повышенную активность разрывных нарушений и интенсивность экзогенных процессов. В качестве рекомендаций отметим, что трубопровод на участках пересечения с зоной опасных дислокаций будет оборудован специальными устройствами шарнирного типа для предотвращения в трубах опасных деформаций. Специальные отраслевые нормативы предельных амплитуд смещений и градиентов современных скоростей деформаций в разрывных нарушениях для инженерных сооружений подобного типа отсутствуют.

Литература

1. Гурбанов А.Г., Миллюков В.К., Газеев В.М. и др. Оценка векторов скорости современных горизонтальных и вертикальных смещений литосферных блоков на территории Большого Кавказа и их геодинамическая интерпретация (по данным ГНСС) // Вестник Владикавказского научного центра. Т. 23. 2023. №1. С. 49-61.
2. Закарая Д.П. Механизм и история формирования альпийской складчатой структуры Северо-Западного Кавказа. Автореф. канд. геол.-мин. наук. Тбилиси, 1986. 24 с.
3. Макеев В.М., Ревазов М.О., Болотаева А.Г. Структурно-геодинамические исследования южного склона Большого Кавказа в районе Двалетского поднятия в связи с оценкой зон нарушений // Геология и геофизика юга России. 2022. №4. С. 32-43.
4. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра. 1968. 484 с.
5. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа (опережающие исследования для инженерных изысканий). М.: Недра. 1992. 254 с.
6. Несмеянов С.А., Измайлов Я.А., Воейкова О.А. Стратиграфия и тектонические деформации четвертичных морских террас Западного Кавказа и Тамани. М.: ООО "Миттель Пресс", 2021. 184 с.
7. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н. Сейсмическая и геологическая активность тектонических нарушений Северо-Западного Кавказа // Физика Земли. 2005. № 6. С. 29-42.

8. *Стогний Г.А., Стогний В.В.* Сейсмотектоническая модель Северо-Западного Кавказа: геолого-геофизический аспект // *Физика земли*. 2019. № 4. С. 124–132
9. *Шемпелев А.Г., Заалишвили В.Б., Кухмазов С.У.* Глубинное строение западной части Центрального Кавказа по геофизическим данным // *Геотектоника*. 2017. № 5. С. 20–29.
10. *Щеглов А.П.* Стратиграфия континентальных и морских отложений плейстоцена южного склона Северо-Западного Кавказа (между Анапой и Адлером). Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. Тбилиси, 1986. 216 с.
11. Declan A. Valters Modelling Geomorphic Systems: Landscape Evolution // *Geomorphological Technique*. 2016. Chap. 5. Sec. 6.12. P. 312-320.
12. Makeeva E.A., Makeev V.M. Principles of studying Quaternary deformations based on structural and geodynamic studies // *Recent Research and Perspectives on Fundamental and Applied Problems of Geology and Geophysics (ReEarth-378)*. «Springer Nature». 2022. С 37-46.
13. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2020. Vol. 88. P. 104108.

СМР – ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

© С.А. Мамаев, В.И. Черкашин, Ж.Г. Ибаев,
Р.А. Магомедов, В.М. Кондаков, А.А. Алимагомедов,
В.К. Сулейманов, А.С. Мамаев, А.С. Ахмедов

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. Проблема обеспечения сейсмической безопасности одна из важнейших задач государства и соблюдению конституционных прав граждан, прежде всего, права на жизнь. Известно, что ущерб от землетрясений всегда огромный. Например, 14 мая 1970 года от Дагестанского землетрясения пострадало одну четверть территории Дагестана, разрушено полностью 22 и частично 257 населённых пунктов. Погибли 31 человек, 45 тысяч остались без крова. Потери были настолько большими, что Совету Министров РСФСР для ликвидации последствий и восстановления пришлось принимать специальные меры и постановление «О дополнительных мерах по ликвидации последствий стихийного бедствия в Дагестанской АССР» от 22 мая 1970 г. № 323. Для того чтобы минимизировать последствия землетрясений необходимо с особой тщательностью подходить к оценке сейсмической опасности территорий подверженных сейсмическим событиям, что предопределяет проведение ряда работ включающих в себя – проведение общего сейсмического районирования (ОСР) всей территории России с последующим проведением детального сейсмического районирования (ДСР) отдельных регионов страны, и далее, для уточнения сейсмичности, проведение сейсмического микрорайонирования (СМР) городов и крупных населённых пунктов.

Ключевые слова: сейсморайонирования, глубинные разломы, миграция сейсмичности, сейсмологические и инженерно-геологические процессы

Строительство любого сооружения начинается с инженерно-геологического изучения территории, результаты которых в дальнейшем используются при проектировании тех или иных объектов. Особую важность таких исследований имеют территории, относящиеся к сейсмически опасным регионам. Территория Российской Федерации по сравнению с другими странами мира, расположенными в сейсмоактивных регионах, в целом характеризуется умеренной сейсмичностью. Исключение составляют регионы Дальнего Востока, юга Сибири и Северного Кавказа, где интенсивность сейсмических сотрясений достигает 9-10 баллов по 12-балльной макросейсмической шкале. Согласно карт сейсморайонирования РФ, 20% территории находятся в 7-балльной зоне, 6% – в 8-балльной зоне, а 25% территории могут быть подвержены 9-балльным сотрясениям в течение 50 лет [1-4].

Республика Дагестан расположена в зоне сочленения крупных блоков земной коры с разнотипными мощностями его консолидированного комплекса. Наряду с этим Республика Дагестан географически входит в пределы Восточного Кавказа, которая характеризуется высокой сейсмической активностью, где наибольшая активность отмечена в пределах Дагестанского клина, включая Сулакский выступ, Каякентский, Дербентский, Кизилюртовский, Унцукульский и другие районы Республики. Вследствие чего в сферу повышенной сейсмической опасности попадают крупные города, промышленные и энергетические объекты, включая гг. Махачкалу, Кизилюрт, Каспийск, Избербаш, Каякент, Карабудахкент, Даг. Огни, Дербент, Буйнакс и

др., в которых сосредоточена практически вся инфраструктура Республики. На рисунке 1 представлена карта эпицентров сильных землетрясений с $M \geq 5$ с выделением зон повышенной тектонической активности на территории Дагестанского сегмента Восточного Кавказа за период 1960-2021 гг. (по Р.А. Магомедову). сейсмичность Республики Дагестан и зоны возможных сейсмических событий (ИФЗ РАН).

Кроме этого по данным ученых Института физики Земли РАН (Уломов В.И.), а также исследованиям ученых Института геологии ДФИЦ РАН предполагается миграция сейсмичности и как следствие повышение сейсмичности Кавказа, обусловленное взаимодействием Анатолийской и Аравийской платформ на Русскую плиту [5-16]. Ожидаемый сейсмический эффект от одного из потенциальных очагов землетрясений с $M=7.0$ в Восточной части Северного Кавказа иллюстрирует рис. 2. Очаги известных землетрясений с магнитудой от 6.0 ± 0.2 до 8.0 ± 0.2 показаны в той же легенде, что и на предыдущих картах. Протяженным прямоугольником оконтурен профиль Кипр–Кавказ, а пунктиром со стрелкой указано направление миграции сейсмической активизации вдоль него, по меньшей мере, за последние 200 лет. Изосейсты сейсмического эффекта изображены в идеализированной форме в виде концентрических окружностей, между которыми цифрами указана средняя величина сейсмической интенсивности в баллах, полученная расчетным путем. Показано, что сейсмический эффект в эпицентральной области может достичь 9 баллов. Зоны с высокой современной тектонической и сейсмической активностью хорошо согласуются с исторической активностью. Проекция гипоцентров современных и исторических землетрясений с магнитудами более 5 на дневную поверхность отражают их пространственные положения на смесителях глубинных разломов (от ~ 20 до 80 км), что соответствует инструментальным данным и моделям сочленения Скифско-Туранской плиты и Кавказского складчатого сооружения [17-19].

Все это предопределяет ответственного отношения к строящимся зданиям и сооружениям на территории Республики Дагестан и как следствие встает вопрос об обязательном проведении сейсмомикрорайонирования городов и поселений. К сожалению сейсмическое микрорайонирование (СМР) г. Махачкалы проводилось более 30 лет назад, на основании Постановления Госстроя СССР № 254 от 23.12.1985 г. и в соответствии с договором № 2405 с Росглаворгпроектом на площади около $68,0 \text{ км}^2$. За это время город значительно увеличился по занимаемой площади, почти в два раза, т.е. вышел за пределы карты сейсмического микрорайонирования (синим контуром обозначена общая площадь г. Махачкалы составляющая на сегодня около 110 км^2), следствием чего является значительное увеличение степени сейсмического риска при возможном сильном землетрясении (рис. 3) [20]. Кроме этого, в г. Махачкала и его пригородах идет интенсивная застройка, даже по склонам горы Тарки-Тау (оползнеопасный район), строятся многоэтажные дома. Строятся современные дома в районах Сепараторном и Редукторном, где ранее данная территория не подвергалась сейсмическому микрорайонированию.

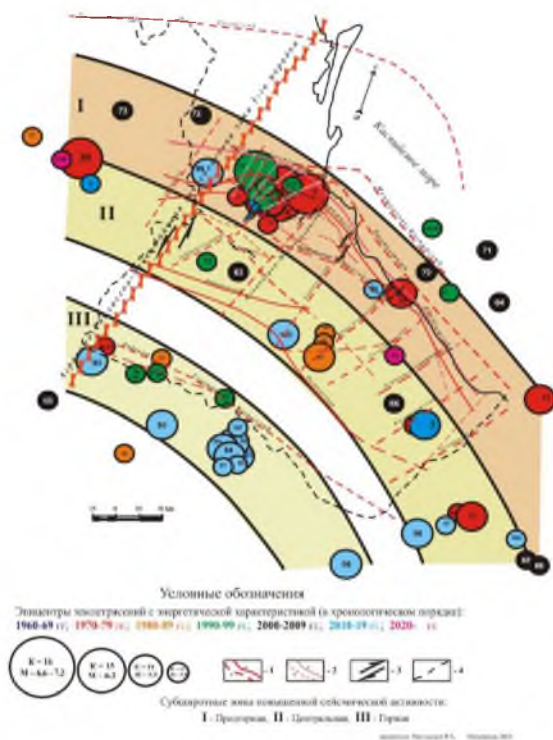


Рис. 1. Карта эпицентров сильных землетрясений с $M \geq 5$.

1 – глубинные разломы (а – достоверные; б – предполагаемые); 2 – разломы осадочного чехла (а – достоверные; б – предполагаемые); 3 – направление движения блоков по данным GPS-наблюдений и повторного нивелирования; 4 – граница республики Дагестан.

Учитывая сложившуюся ситуацию, что территория Республики относится к зоне высокого сейсмического риска, руководство Республики Дагестан обратило внимание на этот факт и в начале 2021 г. Главой Республики Сергеем Меликовым были сделаны соответствующие поручения. В соответствии с этими поручениями Институтом геологии ДФИЦ РАН были подготовлены проекты, выполнение которых позволило бы решить вопрос по опасным геологическим процессам (оползни, обвалы, сели и т.д.), а также проекты по проведению детального районирования (ДСР) Республики Дагестан и сейсмомикрорайонирования (СМР) г. Махачкалы.

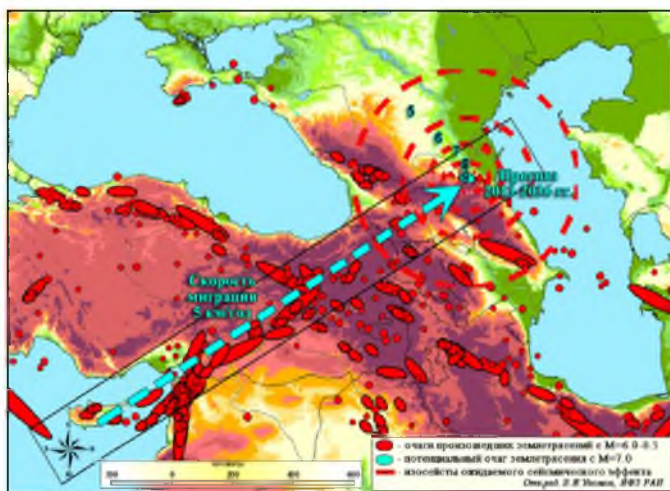


Рис. 2. Миграция сейсмичности по данным ИФЗ РАН

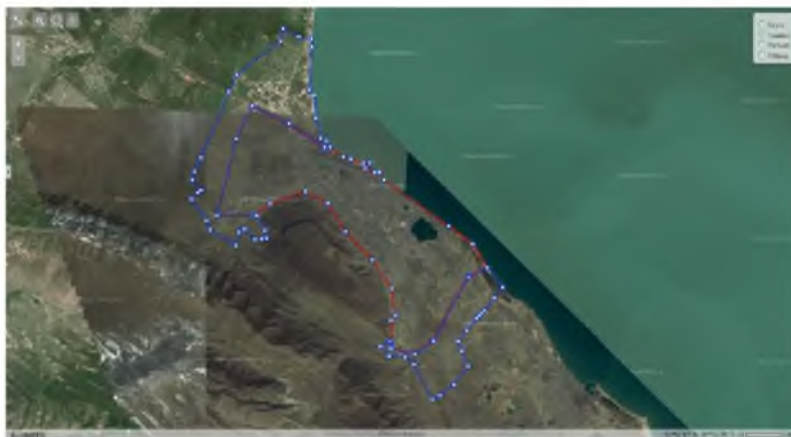


Рис. 3. Космоснимок г. Махачкалы и границы охваченные сейсмическим микрорайонированием (красным цветом) и неохваченные – в связи с увеличением города на сегодня (синим цветом)

Все это было доложено на комитете Совета Федерации России с последующим детальным обсуждением в Минстрое России (Дни Республики Дагестан в Москве – март 2021 г), где получили поддержку и соответствующие рекомендации для дальнейшего исполнения вышеназванных работ. Выполнение работ по сейсмостойкому строительству требует больших затрат и бюджет Республики не позволяет выделить эти средства из бюджета Республики, поэтому необходимо задействовать Федеральный бюджет, что предопределяет составление технического задания и составления сметы расходов. Желательно ускорить все процедурные вопросы, поскольку обстоятельства дела – хаотичная, а порой бесконтрольная застройка городов Республики, а особенно г. Махачкалы, может привести к непредсказуемым последствиям, а недобросовестность застройщиков, все чаще напоминает о себе.

Что касается выполнения работ по опасным – экзогенным процессам (оползни, обвалы, сели и т.д.), то Руководство Республики после детального обсуждения на Правительстве РД издало Постановление о выделение бюджетных средств на проведение вышеназванных работ.

Как сказано выше, территория Республики Дагестан в геологическом отношении, является сложно построенным структурным элементом, вследствие чего характеризуется высокой степенью опасности происхождения различного рода событий, связанных с эндогенными процессами (тектоника, сейсмика и т.д.). Дагестан неоднократно подвергался, как исторически, так и в настоящее время девяти-, восьми-, семи- и шестибалльным сотрясениям.

К сожалению, до определенного периода (Ашхабатское землетрясение 5-6 октября 1948 г) вопросом сейсмостойкого строительства, практически никто не занимался, как и в Дагестане вплоть до сейсмического события 14 мая 1970 г. И только после этого землетрясения в Республике Дагестан, по рекомендации Н.В. Шебалина, была организована сеть наблюдения за сейсмическими событиями и организована лаборатория «Геодинамики и сейсмологии» при Институте геологии ДНЦ РАН которая работает и по сей день. Данными этой лаборатории, а также сейсмометрических станций пользовались проектировщики зданий и сооружений при проведении соответствующих изысканий. В этот период в Махачкале был построен так называемый

«Узбекгородок», где высота зданий не превышала 5-ти этажей. Было одно исключение – это постройка высотной гостиницы «Ленинград», но это совсем другая история, поскольку оно построено на скальных грунтах горы Анжи-Арка. Строительство малоэтажных домов, в свое время, объяснялось повышенной сейсмичностью территории Махачкалы, а также возможными конструкциями и стройматериалами того времени. Однако со временем появились новые возможности построения высотных зданий обусловленные как новыми конструкциями и технологиями, так и с современными стройматериалами. Все это началось в конце 20-го столетия, но к сожалению развал СССР развязал руки многим недобросовестным застройщикам, что не могло не отразиться на качестве строительства тех или иных сооружений. Не обошло это и Дагестан. Началась хаотичная застройка города Махачкала превратившая ранее цветущий город в каменный мешок. Кроме этого начала застраиваться обширная территория между городами Каспийск-Махачкала. Появились высотные, многоподъездные дома, а вот качество застройки и самое главное проведение соответствующих изысканий территории под застройку того или иного сооружения оставляло желать лучшего. Это неоднократно обсуждалось в СМИ, телевидении и других средствах информации, но ВОЗ и ныне там. Одним из ярких примеров можно привести построенный комплекс 13-ти этажного здания в районе г. Каспийск. На фото 1 и 2 представлен фасад и внутренний двор строения.



Фото 1.



Фото 2

Фасад и внутренний двор комплекса 13-ти этажных зданий в районе г. Каспийск

В результате визуального обследования комплекса этого здания, состоящего из 5 блоков, установлено:

- здание построено из монолитного железобетона. Конструктивным решением является каркасная система, где основные несущие вертикальные элементы- колонны и ядра жесткости (ж/б мембраны). Горизонтальные несущие элементы - плиты и балки перекрытий и покрытий.

- монолитная конструктивная система наземной части здания является комбинированной, т.е. рамно-связевой схемой сопротивления горизонтальным нагрузкам, которое осуществляется за счет совместной связи (ядер жесткости) и рам, образуемых колоннами и ригелями с жесткими узлами сопряжения;

- монолитная конструктивная система этого здания является регулярной в плане и по высоте;

- 5 блоков 13-ти этажного здания разделены вертикальными постоянными деформационными швами. Ширина деформационных швов в здании на относительной отметке $\pm 0,00$ (уровень пола первого этажа) равна 270-290 мм в свету;

- монолитная конструктивная система подземной части здания (фундаменты) не обследовались ввиду отсутствия доступа.

На фото 3 и 4 представлены фрагменты деформационных швов между четвертым и третьим блоком (фото 3) и между третьим и вторым блоками (фото 4). На выносках показаны фрагменты деформационных блоков.

Как видно на фото 3 деформационный шов между четвертым блоком и третьим на верхних этажах сошелся на нет.

Аналогично произошло смыкание здания на верхнем этаже между вторым и третьим блоком здания – фото 4, а также между четвертым и пятым блоками (фото 5).



Фото 3. Представлены фрагменты деформационных швов между четвертым и третьим блоком



Фото 4. Аналогичная ситуация, между вторым и третьим блоком



Фото 5. Аналогичная ситуация, между четвертым и пятым блоком

Результатом просадки здания является также и разрыв лестничной площадки (фото 6). Причину такой деформации, установить было трудно, поскольку нам не удалось отыскать хоть какие-нибудь документы по этой застройке, в том числе и данные геолого-сейсмологических изысканий, которые являются основой для проектировщиков. Однако сам факт деформации здания предполагает сделать вывод, что это, вполне вероятно, связано с множеством фактов нарушения градостроительства.



Фото 6. Просадка здания, разрыв лестничной площадки

Единственное, что мы могли проверить и сопоставить так это данные проведенных геолого-сейсмологических работ в этом районе, поскольку в 100 м от этого строения возведено также высотное здание, практически такой же этажности, где не обнаружены какие-либо деформации конструкций. Данные по инженерно-геологическим изысканиям вышеназванного строения предоставил нам инженер-геолог Кондаков В.М. Анализ представленных документов позволяет, в первом приближении, определить насколько пригодны грунты в этом районе для строительства высотного здания и какие конструктивные особенности необходимо соблюсти при проектировании фундамента и всего строения.

Физико-географические условия

Район работ характеризуется континентальным климатом с умеренной зимой и относится к III климатическому району. Средняя многолетняя температура воздуха составляет $+11,8^{\circ}\text{C}$. Самые высокие среднемесячные температуры воздуха отмечаются в июле-августе и составляют $24,6$ и $24,1^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков составляет 431 мм. Климатические условия приведены в таблицах строительной климатологии (г.Махачкала).

Значительное влияние на климат района оказывает близость Каспийского моря с одной стороны и Кавказских гор – с другой стороны. Приморская равнина, где расположен район изысканий, служит своеобразным коридором, по которому холодные воздушные массы проникают с севера на юг, а теплые – с юга на север. Данные ветры способствуют кратковременным похолоданиям и потеплениям.

В геоморфологическом отношении участок работ относится к хвалынской террасе Приморской равнины Каспийского моря, которая простирается вдоль моря от г. Махачкалы до г. Дербента. Рельеф площади террасы относительно ровный с отметками от -20 до -21м. Рельеф осложнен в связи с интенсивным строительством.

Геологическое строение и гидрогеологические условия

В тектоническом отношении район работ расположен в пределах структуры Предкавказского краевого прогиба.

Район г. Каспийска принадлежит к приграничной зоне, расположенной между Терской депрессией (областью погружения) и Дагестанской зоной складок (областью поднятия). Махачкалинский район расположен в пределах довольно крупной брахиантилинальной складки, в ядре которой выходят глины нижней части верхнего сармата. Эта складка вытянута в направлении Северо-запад 315° – Юго-восток – 135° . Падение складки на Северо-восток составляет $10-12^{\circ}$, а на юго-запад – $30-35^{\circ}$.

В геологическом строении площади строительства принимают участие хвалынские и неогеновые отложения сарматского яруса.

Верхнечетвертичные отложения распространены повсеместно. Ниже с глубины от 7,3-10,0 м залегают коренные сарматские отложения, представленные полутвердыми и твердыми суглинками.

Совокупность геологических факторов относит участок строительства к 2 категории сложности инженерно-геологических условий. По площади проектируемого здания пробурены 4 скважины: по оси зданий. Глубина скважин принималась с условием проходки на сжимаемую толщу в грунтах – до 16м. Разрезы скважин показаны на рис 7 и 8.

На основании выполненных полевых работ и выполнение лабораторных исследований в пределах участка до глубины 16 м выделены 5 инженерно-геологических элементов.

ИГЭ-0 (tQ_4) – Насыпной слой – строительный мусор. Мощность ИГЭ составляет 0,5-1,2 м.

ИГЭ-1 (Q_3hv) – глина буровато-желтая тугопластичная с прослойками супеси в интервале глубин 2,2-2,4 м. Мощность ИГЭ составляет 2,4-3,1 м.

ИГЭ-2 (Q_3hv) – глина желтая мягкопластичная с прослойками песка до 10см через 20-40см. Мощность ИГЭ составляет 3,8-4,9 м.

ИГЭ-3 (Q_3hv) – глина серовато-коричневая тугопластичная. Мощность ИГЭ составляет 0,0-1,8м.

ИГЭ-4а (eN_1s) – Суглинок серый полутвердый, микрослоистый. Мощность ИГЭ составляет 2,5-2,6 м.

ИГЭ-4 (N_1s) – Суглинок темно-серый твердый микрослоистый. Вскрытая мощность ИГЭ составляет 6,1 м. Повсеместно распространен на площади гг. Махачкалы и Каспийска. По данным «Дагнефти» залегает до глубины 600 м.

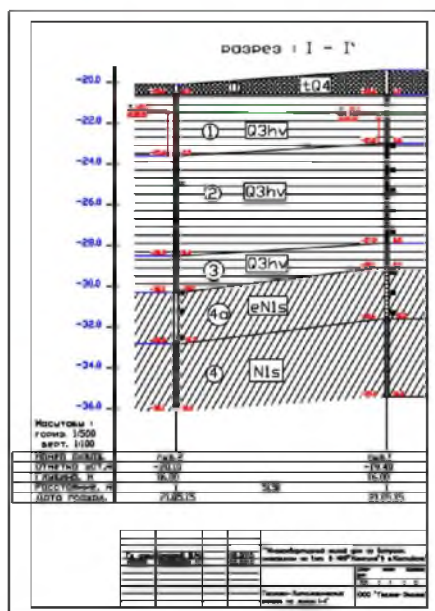


Рис. 7. Инженерно-геологический разрез по скважинам 2-1

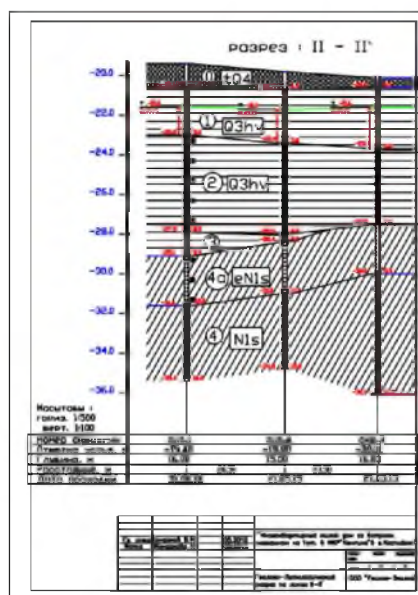


Рис. 8. Разрез по скважинам 1-4-3

Гидрогеологические условия

Грунтовые воды приурочены к прослойкам супеси и песков ИГЭ-1, ИГЭ-2. Установившийся уровень грунтовых вод отмечается на глубине 1,3-2,2 м, в зависимости от мощности насыпного слоя. Уровень грунтовых вод подвержен сезонным колебаниям и его высокие отметки составят на 1,0м выше, которые следует принять за расчетные. Наивысшие уровни грунтовых вод соответствуют бывшей дневной поверхности (без насыпного слоя). Питание грунтовых вод осуществляется за счет атмосферных осадков и бокового притока подземных вод. Разгрузка грунтовых вод выражена испарением. Высокие уровни грунтовых вод приурочены к марту-апрелю. Усредненные коэффициенты фильтрации составляют: для грунта ИГЭ-1и ИГЭ-2 – 0,3-1,0 м/сут; грунты ИГЭ-4а и ИГЭ-4 – водоупорные; грунт ИГЭ-3 слабопроницаемый.

Минерализация грунтовых вод равна 19-21 г/л. Воды соленые и сильноагрессивные.

Грунтовые воды сильноагрессивные для портландцемента Гост 10178-76 и для того же госта с содержанием в клинкере С(3)S не более 65%, С(3)А не более 7%, С(3)А + С(4)AF не более 22%.

Для сульфатостойких цементов с учетом коэффициента 1,3 (коэффициент фильтрации грунта ИГЭ-3 менее 0,1 м/сут) и для бетона марки W-6 грунтовые воды слабоагрессивные и не агрессивные - для бетона марки W-8.

Грунтовые воды – сильноагрессивные (с учетом $\text{Cl} + \text{SO}_4 \times 0,25$) на арматуру железобетонных конструкций в интервале глубин периодического смачивания от 0,5 до 2,2 м, а слабоагрессивные – ниже 2,2 м – в зоне постоянного погружения (СНиП 2.03.11-85, табл. 6, 7).

Физико-механические свойства грунтов

На основе полевых работ и лабораторных исследований были выделены 5 инженерно-геологических элементов, считая насыпной слой.

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов приведены в нижеследующей таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристик	ИГЭ-0	ИГЭ-1*, 3*	ИГЭ-2	ИГЭ-4а	ИГЭ-4*
Влажность, %					
- естественная, W		29,7	30,7	19,8	17,6
- на границе текучести, W_t		43	39	30	33,2
- на границе раскатывания, W_p		22	20	18	19,5
Число пластичности, I_p		21	19	12	14
Показатель текучести, I_i		0,36	0,54	0,12	<0,0
плотность, g/cm^3					
Частиц грунта, P_s		2,74	2,74	2,72	2,72
- грунта естественной влажности:					
- нормативная, p	1,80	1,88	1,85	1,96	2,03
- при $a=0,85$		1,86	1,83	1,94	2,02
- при $a=0,95$		1,85	1,81	1,92	2,01
- сухого грунта, P_d		1,46	1,41	1,64	1,72
Коэффициент пористости, e		0,884	0,952	0,662	0,582
Степень влажности, S_r		0,92	0,90	0,82	0,82
Удельное сцепление C , кПа:					
- нормативное		32	21	47	94
- при $a=0,85$		28	19	44	87
- при $a=0,95$		25	16	41	84
Угол внутреннего трения Φ , град					
- нормативное		17	14	21	23
- при $a=0,85$		16	13	20	22
- при $a=0,95$		15	13	19	21
Модуль деформации E , МПа:		16	11	19	29
Коэффициент фильтрации, м/сут		0,3-1,0	0,3-1,0		-
Категория грунтов по сейсмическим свойствам		2	3	2	2

Характеристика грунта ИГЭ-4 приведена по изысканиям 2004-2005 г. у озера Ак-Гель; характеристика грунта ИГЭ-1 по данным инженерно-геологических изысканий в МКР «Кемпинг» в г. Каспийске (у стадиона «Хазар») ООО «Геолог-Эколог», 2014 гг.

Глубина промерзания грунтов – 0,60 м.

Степень коррозионной активности грунтов – высокая (до 10 ом/м).

Агрессивность грунтов соответствует грунтовым водам.

Специфические грунты

Специфические грунты на участке работ и за пределами участка обнаружены в виде насыпных не выдержанных в плане грунтов, которые под основание фундамента не рекомендуются.

Геологические и инженерно-геологические процессы

Согласно СНиП 22-01-95 категория сложности природных условий – сложная (по сейсмичности, по другим показателям – средней сложности). В категории опасных природных процессов входят: землетрясения – весьма опасные; подтопленная площадь - умеренно-опасная.

Землетрясения – весьма опасные геологические процессы.

Согласно карте сейсмического микрорайонирования города Каспийска (1990 г.) участок строительства относится к 8-ми балльной зоне.

Сейсмичность района строительства согласно карте «А» ОСР-97 (2015) (г. Каспийск) для средних грунтовых условий составляет 8 (восемь) баллов. Категория грунтов на строительной площадке по сейсмическим свойствам согласно СНиП 11-7-81*табл. 1-2 (вторая), т.е. средняя; в 10-ти метровой толще преобладают грунты 2-й категории. Поэтому, сейсмичность участка строительства соответствует средним грунтовым условиям и составляет 8 (восемь) баллов.

Сложившееся подтопление вызвано естественными природными условиями:

Слабый уклон рельефа, 0,01-0,005.

Покровная толща сложена трудно проницаемыми отложениями – глинами, с практическим отсутствием хороших песчаных слоев мощностью до 1м;

Постепенное уменьшение (выклинивание) от предгорной зоны водоносных слоев.

Эти условия в сочетании с аридным климатом создали выпотную площадь – площадь выпаривания грунтовых вод. Здесь разгрузка грунтовых вод происходит в основном за счет испарения с уровня грунтовых вод, а питание за счет бокового притока со стороны предгорья.

В целом требуется комплекс мер для понижения уровня грунтовых вод.

По трудности разработки грунты следует относить к следующим строительным группам:

Таблица 2

№ ИГЭ	Наименование грунта	Ручным способом	Одноковшовым экскаватором	ГЭСН-2001
0	Насыпной слой –строительный мусор	3	3	26 б
1, 2, 3	Глина мягко – и тугопластичная	2	2	8 а
4а, 4	Суглинок твердый и полутвердый	3	3	35 в

Таблица 3

Таблица химического состава грунтовых вод

№ п	Наименованиекомпонентов	Формахиманализа	Скв. №1*	Скв. №2*	Скв. №3*
1	Калий +натрий	Мг/л Мг-экв/л	4220 183,5	5129 223,0	4853 211
2	Магний	Мг/л Мг-экв/л	976 80	793 65,0	1098 90,0
3	Кальций	Мг/л Мг-экв/л	852 42,5	701 35,0	701 35,0
4	Хлор	Мг/л Мг-экв/л	4615 130,0	4260 120,0	4260 120,0
5	Сульфаты	Мг/л Мг-экв/л	6720 140,0	7920 165,0	9120 190,0
6	Гидрокарбонаты	Мг/л Мг-экв/л	2196 36,0	2318 38,0	1586 26,0
7	Карбонаты	Мг/л Мг-экв/л	-	-	-
8	pH	-	7,4	7,4	7,6
9	Сухой остаток	мг/л	18800	20400	21200
10	Общаяжесткость	Мг-экв/л	122,5	100,0	125,0
11	Карбонатнаяжесткость	Мг-экв/л	36,0	38,0	26,0

* - по данным 2009-2010 г.

Коррозионная активность грунтов в зависимости от их удельного электрического сопротивления, измеренного в полевых условиях приложена в таблице 4.

Таблица 4

№№ п/п	Место замера	Расстояние между электродами а, м.	Показания прибора, R, дел	Удельное сопротивление, р, Ом/м.	Глубина замера грунтов, м	Степень коррозионной активности
1	СКВ. 1	1,0	1,8	11	1,0	высокая
2	СКВ. 1	2,0	1,1	14	2,0	высокая
3	СКВ. 1	3,0	0,5	10	3,0	высокая

Коррозионная активность грунтов определялась прибором Ф4301 –М1, заводской номер 26361; по формуле $p = 2PIa$. Где: R – показания; а – расстояние между электродами, м; П = 3,14.

Изучив инженерно-геологический отчет исследуемого участка, можно сделать вывод [21]:

- исследуемая площадь пригодна для строительства зданий повышенной этажности соответствующей конструкции;
- в геоморфологическом отношении участок работ относится к хвалынской террасеПриморской равнины Каспийского моря;

- в геологическом отношении принимают участие, верхнечетвертичные хвалынские отложения, а глубже 7-10 м – коренные сарматские отложения, представленные полутвердыми и твердыми суглинками;

- грунтовые воды залегают на глубине 1,3-2,2 м, воды сильно агрессивные;

- расчетные характеристики грунта приведены в таблице 1;

- грунты по трудности разработки приведены в таблице 2;

- коррозионная активность грунтов высокая;

- площадка строительства относится к 8 (восьми) балльной зоне;

- глубина сезонного промерзания равна 0,60 м;

- климат участка строительства приведен в приложении 6;

- землетрясения – весьма опасные геологические процессы. Подтопления – умеренно опасные процессы.

Анализ полученной информации о состоянии грунтов и других параметров данной территории позволяет отметить, что строительство зданий повышенной этажности возможен при учете всех существующих параметров грунтов при проектировании, а также использования соответствующих конструкций как самого здания, так и фундамента. Насколько все это было соблюдено ответить трудно, поскольку сам факт деформации здания предполагает некоторые нарушения, как в застройке фундамента, так и самого здания.

Все это наводит на мысль, что необходимо проведение всеобщего сейсмомикрорайонирования территории не только городов Махачкалы и Каспийска, но и той части, которая находится между ними, поскольку она интенсивно застраивается. Как нам кажется, Правительству Республики Дагестан, необходимо уделить особое внимание данному вопросу и в ближайшее время провести вышеуказанные работы. Результаты работ позволят выяснить насколько правильно были спроектированы и построены здания и сооружения за последние 35 лет, и в случае необходимости принять соответствующие меры по укреплению их конструкций, если это необходимо, а в случаях грубого нарушения застройки сносить строения, дабы избежать человеческих жертв, в случае сильного сейсмического события. К сожалению, ряд проектировщиков до сих пор используют карту сейсмического районирования 2016 г. отмененную Министерством строительства и ЖКХ России в начале 2021 г. и это очень опасно.

В момент подготовки и корректировки данной статьи пришло сообщение о произошедшем землетрясении в Турции. Магнитуда данного события составляла $M = 7,4-7,6$. Кроме этого, происходило множество афтершоков с $M = 6-6,4$, которые усиливали воздействие на конструкцию зданий и сооружений и приводило к их разрушению. Сейсмические события продолжались около недели, что естественно осложняло проведение спасательных работ. Погибло огромное количество людей как в самой Турции, так и в соседней Сирии. На кадрах хроники видно, как рушатся многоэтажные здания и в то же время стоящие более высотные строения, построенные из качественных железобетонных стройматериалов (песок, цемент и арматура) остаются целыми. Все это наводит на мысль что по всей вероятности, в разрушенных строениях были нарушены нормативы застройки как по части конструкции здания, так и по качеству стройматериалов.

Все это, в очередной раз показывает о необходимости строгого выполнения всех нормативов при проектировании зданий и сооружений, а также использовать качественные стройматериалы, что позволит жителям, проживающим на сейсмоопасных территориях, быть уверенными в том, что в случае сейсмического события их жилье не пострадает, а самое главное не будет жертв.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808491-6-1.5.6.

Литература

1. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. М., 1999.
2. Уломов В.И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсmobезопасность России». Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39. № 1, с.5-38.
3. СП 14.13330.2018. Приложение А. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-2015, 2018.
4. СП 14.13330.2018. Приложение А. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации 2016 (ОСР-2016). 2020.
5. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П. О сейсмогеодинамике линейментных структур горного обрамления Скифско-Туранской плиты // Физика Земли. №7. 2006.
6. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С. и др. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе // Физика Земли, №7, 2007. С. 31-45.
7. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг. // Доклады академии наук, том 414, № 3. Геофизика. С. 398-401. 2007а.
8. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли, № 9, 2007б.
9. http://seismos-u.ifz.ru/p/ulomov_potential_sources.pdf.
10. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. и др. Тектоническая карта Дагестана. М. 1:500000. (Объяснительная записка) // Труды Института геологии ДНЦ РАН. Выпуск 60. 2012. 130 с.
11. Магомедов Р.А. Дизъюнктивная тектоника и современная сейсмичность территории Восточного Кавказа // Отечественная геология, № 3. 2014. С. 69-77.
12. Магомедов Р.А., Мамаев О.А. Палеосейсмодислокации в осадочном чехле мезозойского комплекса Восточного Кавказа // Геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Материалы Межд. научно-практич. конференции. 22-24 сентября 2017 г. Владикавказ, ВНЦ РАН, С. 206-212.
13. Мамаев С.А., Таймазов Д.Г., Магомедов Р.А. и др. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана // Труды Института геологии ДНЦ РАН. 2009. № 55. С. 279-281.
14. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А. О перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. редактор. 2011. С. 224-235.
15. Магомедов Р.А., Мамаев С.А. Сейсмотектонические и геодинамические особенности дагестанского сектора Восточного Кавказа // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. № 4 (39). С. 127-135.

16. *Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А.* Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 3. С. 31-43.
17. Труды Геологического института // Геол. ин-т. М.: Изд-во АН СССР, 1932-1964. М.: Наука, 1964. Вып. 593: Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования // *Леонов Ю.Г., Волож Ю.А., Антипов М.П. и др.* Отв. ред. Ю.Г. Леонов. М: ГЕОС, 2010. 64 с.
18. *Хаин В.Е.* Общая геотектоника. М., Недра, 1973. 512 с.
19. *Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. “Недра”. М., 1968. 484 с.
20. *Мамаев С.А., Черкашин В.И., Магомедов Р.А. и др.* Сейсмическая безопасность Республики Дагестан – проблемы и пути решения // Труды Института геологии ДНЦ РАН. 2020. № 3 (82). С. 67-80.
21. Инженерно-геологические изыскания под 9-ти и 12-ти этажные жилые дома в МКР «Центральный» в г. Каспийске, (у стадиона «Хазар») 2009-2015 гг., многоэтажный дом в МКР «Кемпинг», 2014 г. ООО «Геолог-Эколог».

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ МЕРЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО ДАННЫМ СЕТИ K-NET

© Д.А. Мельков, М.И. Фидарова

Геофизический институт ВНИИ РАН, Владикавказ

Аннотация. Являясь объективной характеристикой выделенной сейсмической энергии величина макросейсмической интенсивности должна иметь связь с инструментальными параметрами сейсмических колебаний. Целью работы является сопоставление имеющихся интегральных характеристик инструментальной интенсивности и различных комбинаций параметров с сейсмической интенсивностью по данным сети K-net. Регрессионный анализ выполнялся методом опорных векторов. В результате установлено наилучшее соответствие макросейсмической интенсивности пиковых горизонтальных скоростей ($R^2 = 0.76$, $MAE = 0.29$). Введение дополнительного параметра позволяет повысить R^2 до 0.8-0.85 и снизить MAE до 0.22-0.27. Метрики оценивались по тестовой выборке. Наилучшие показатели достигаются для модели с комбинацией среднеквадратической скорости и меры Фаджфара.

Ключевые слова: сейсмическая интенсивность, инструментальные параметры, базы данных сильных движений

Введение

Макросейсмическая интенсивность представляет собой локальную меру степени ущерба от землетрясения и сотрясения грунта при землетрясении, о чем свидетельствуют наблюдаемые повреждения и реакция различных элементов и человека. Инструментальные оценки интенсивности, основанные на зависимости между сейсмической интенсивностью и инструментальными измерениями, широко используются в различных областях инженерной сейсмологии и управления сейсмическими рисками [1, 2, 5-7, 10-13]. Различными авторами было предложено большое количество различных параметров, которые можно разделить на следующие категории [3]: - амплитудные: максимальные скорости (PHV), смещения (PHD) и ускорения (PHA), среднеквадратическое ускорение (RMS); - спектральные параметры: частота максимума спектра Фурье ($f_{\max}$), средневзвешенная частота (f_{aw}); - энергетические параметры, такие как площадь спектра (S_r), кумулятивная абсолютная скорость (CAV), кумулятивный квадрат ускорений (интенсивность Ариаса), индекс полной входной энергии (E_r), продолжительность колебаний (Duration, которая также может определяться различными способами) и производные от данных параметров – например мера Фаджфара (Fajfar), площадь нормированного спектра (S_r) а также параметры спектра реакции – интенсивность Хаузнера (Hausner intensity).

Цель данной работы состоит в сопоставлении имеющихся интегральных параметров инструментальной интенсивности и их различных комбинаций по данным сети K-net и установление как статистических так и физических обоснований. В соответствии с этим необходимо использовать интерпретируемую модель, которой является регрессия.

Данные и методы анализа

В Геофизическом институте ВНЦ РАН создана база данных сильных движений, включающая данные со всего мира (США, Япония, Тайвань, Греция, Грузия) [4]. Для анализа в данной работе были отобраны записи землетрясений, зарегистрированных системой KNET (Япония, www.kyoshin.bosai.go.jp) [8]. База содержит более 10 000 записей на 1000 станций с различными грунтовыми условиями с интенсивностью MSK от 5 баллов и выше, начиная с мая 1996 г по декабрь 2013 г. Также в базе данных содержатся записи землетрясений с малыми эпицентрными расстояниями от 0 до 3 км.

Из базы данных была сделана выборка, содержащая 78000 записей с различными эпицентрными расстояниями, магнитудами и грунтовыми условиями. Набор данных был дополнен логарифмами параметров для последующего регрессионного анализа. Данные были отцентрированы и нормированы на дисперсию. Соответствующие распределения приведены на рис. 1. Видно, что данные имеют логнормальное распределение.

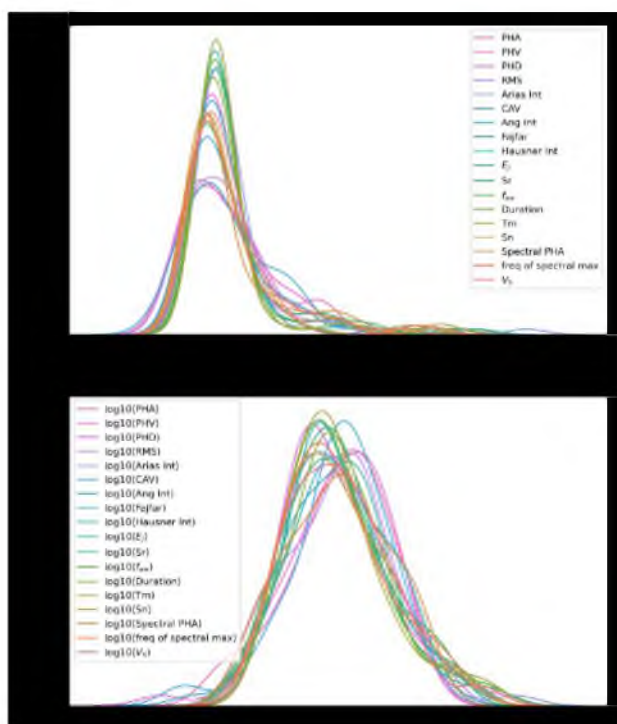


Рис. 1. Распределение нормированных данных

Метод опорных векторов (support vector), называемый ранее алгоритмом «обобщенного портрета», был разработан советскими математиками В. Н. Вапником и А. Я. Червоненкисом (1974) и с тех пор приобрел широкую популярность. Основная идея классификатора на опорных векторах заключается в том, чтобы строить разделяющую поверхность с использованием только небольшого подмножества точек, лежащих в зоне, критической для разделения. Данный метод может быть эффективно использован для решения задач регрессии [9]. В основе метода опорных векторов для задач регрессии или регрессии опорных векторов (SVR) лежит поиск гиперплоскости, при которой

риск в многомерном пространстве будет минимальным. По сравнению с традиционной регрессионной моделью SVR оценивает коэффициенты путем минимизации квадратичных потерь. Так, если прогнозное значение попадает в область гиперплоскости, то потери равны нулю. В противном случае разности прогнозного и фактического значений.

Данные разделялись на обучающую и тестовую выборки в соотношении 0,8 – 0,2. Для оценки эффективности моделей с наиболее равномерным использованием имеющихся данных применялась процедура 40-кратной кросс-валидации. Использовался алгоритм kfold библиотеки sklearn. Основная идея кросс-валидации заключается в разделении исходного набора данных на несколько подмножеств, где каждое подмножество по очереди используется в качестве тестовой выборки, а остальные подмножества - в качестве обучающей выборки. Таким образом, модель обучается и тестируется на разных данных, что позволяет уменьшить вероятность переобучения, т.е. выявить общие закономерности, в чем и состоит наша главная задача.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследовалась зависимость сейсмической интенсивности от каждого параметра в отдельности. Рассчитаны параметры критерия Фишера (F-test), уровня значимости (pi-value), коэффициент детерминации R^2 , средние абсолютные (MAE) и среднеквадратические (RMS) отклонения. Результаты для 10 лучших моделей приведены в таблице 1. Наилучший результат получен для пиковой скорости с коэффициентом детерминации $R^2=0.76$, причем, не только в логарифмическом, но и в линейном масштабе с $R^2 = 0.73$ (рис. 2). Относительно высокое значение коэффициента детерминации $R^2 = 0.59$ получено для меры Фаджфара.

Таблица 1

Регрессионные модели для одного параметра

	Parameters	F-test	F%	pi-value	R2	MAE	RMSE	Coeff	Intercept
1	log10(PHV)	263.71	1.00	3.04E-23	0.76	0.29	0.34	3.3156	3.73
2	PHV	210.82	1.00	5.68E-21	0.73	0.31	0.36	0.0920	5.87
3	log10(Fajfar)	144.55	1.00	2.18E-17	0.59	0.34	0.45	2.5904	3.56
4	RMS	49.49	1.00	2.56E-09	0.56	0.42	0.46	0.0207	6.26
5	log10(Hausner Int)	37.95	1.00	7.39E-08	0.47	0.41	0.51	1.9373	3.93
6	log10(Spectral PHA)	146.73	1.00	1.59E-17	0.36	0.47	0.56	2.9171	2.29
7	Spectral PHA	105.69	1.00	1.1E-14	0.32	0.44	0.58	0.0136	6.22
8	PHA	82.76	1.00	9.17E-13	0.32	0.46	0.58	0.0031	6.30
9	Fajfar	167.70	1.00	9.28E-19	0.30	0.46	0.59	0.0315	5.99
10	Ang Int	79.58	1.00	1.79E-12	0.22	0.50	0.62	1.94e-4	6.66

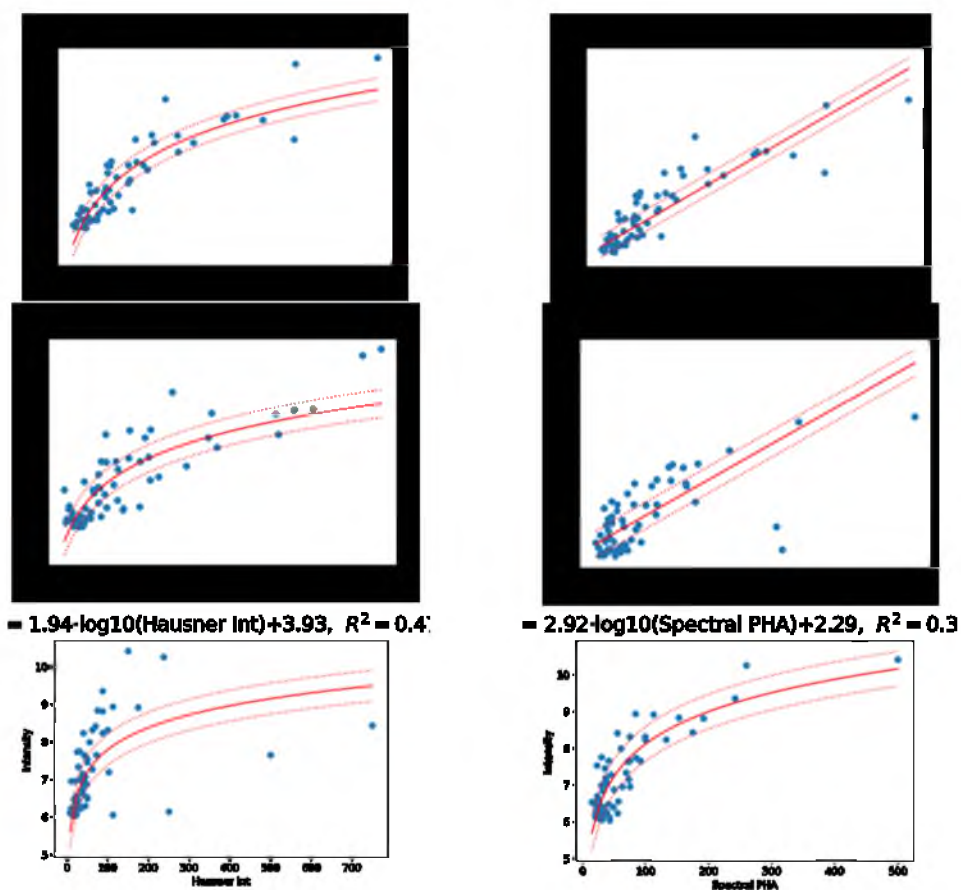


Рис. 2. Регрессионные модели для одного параметра

На следующем этапе рассмотрены регрессионные выражения зависимости интенсивности от двух параметров при различных их комбинациях. В табл. 2. приведены значения с максимальным R^2 до 0.79 и минимальными MAE до 0.30. Статистические критерии F-test, и pi-value приведены для каждого из параметров, при этом значения не проходящие критерии отмечены жирным шрифтом. Нормированные коэффициенты приведены для оценки вклада каждого параметра в интенсивность.

Таблица 2

Регрессионные модели для двух параметров

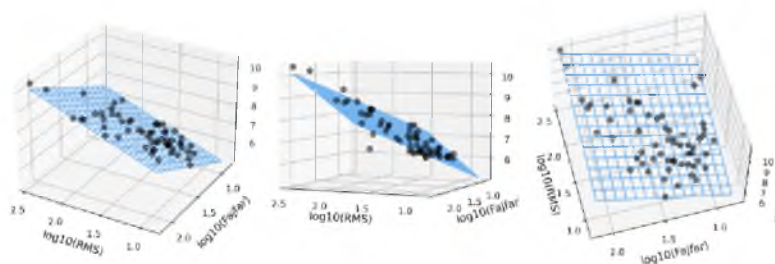
Parameters	F-test	f%	pi-value	R2	MAE	RMS	Coeff	Intercept	Coeff norm	Intercept norm
['log10(RMS)', 'log10(Fajfar)']	[58.58 144.55]	[1. 1.]	[2.34e-10 2.18e-17]	0.85	0.22	0.27	[1.52, 2.04]	2.04	[0.52 0.67]	7.21
['log10(PHV)', 'log10(CAV)']	[263.71 69.99]	[1. 1.]	[3.04e-23 1.50e-11]	0.82	0.22	0.29	[2.60, 0.55]	2.94	[0.74 0.25]	7.15
['RMS', 'log10(PHV)']	[49.49 263.71]	[1. 1.]	[2.56e-09 3.04e-23]	0.82	0.27	0.30	[0.006439, 2.74]	4.07	[0.32 0.77]	7.22
['PHA', 'log10(PHV)']	[82.76 263.71]	[1. 1.]	[9.17e-13 3.04e-23]	0.81	0.27	0.30	[0.001367, 2.54]	4.20	[0.37 0.72]	7.20
['PHV', 'log10(RMS)']	[210.82 58.58]	[1. 1.]	[5.68e-21 2.34e-10]	0.81	0.25	0.31	[0.0774, 0.73]	5.01	[0.87 0.25]	7.20

['log10(PHV)', 'log10(Ang Int)']	[263.71 197.81]	[1. 1.]	[3.04e-23 2.41e-20]	0.81	0.27	0.31	[1.75, 1.21]	1.76	[0.50 0.56]	7.23
['Ang Int', 'log10(PHV)']	[79.58 263.71]	[1. 1.]	[1.79e-12 3.04e-23]	0.81	0.27	0.31	[7.93e-05, 2.55]	4.37	[0.33 0.72]	7.19
['log10(PHV)', 'log10(RMS)']	[263.71 58.58]	[1. 1.]	[3.04e-23 2.34e-10]	0.80	0.25	0.31	[2.67, 0.96]	2.98	[0.76 0.33]	7.22
['RMS', 'log10(Fajfar)']	[49.49 144.56]	[1. 1.]	[2.56e-09 2.18e-17]	0.80	0.26	0.31	[0.01119, 2.11]	3.76	[0.53 0.69]	7.22
['Tm', 'log10(PHV)']	[0.50 263.71]	[0.52 1.]	[0.48 3.04e-23]	0.80	0.27	0.31	[-0.21, 3.33]	3.80	[-0.19 0.94]	7.15
['log10(PHV)', 'log10(V_SY)']	[263.71 2.69]	[1. 0.89]	[3.04e-23 1.07e-01]	0.80	0.28	0.31	[3.11, 0.51]	2.60	[0.88 0.16]	7.22
['log10(PHA)', 'log10(PHV)']	[80.54 263.71]	[1. 1.]	[1.46e-12 3.04e-23]	0.80	0.27	0.31	[1.25, 2.45]	1.82	[0.38 0.69]	7.23
['log10(PHV)', 'log10(E_i)']	[263.71 101.69]	[1. 1.]	[3.04e-23 2.27e-14]	0.80	0.26	0.32	[2.37, 0.41]	2.88	[0.67 0.29]	7.17
['PHV', 'log10(PHV)']	[210.82 263.71]	[1. 1.]	[5.68e-21 3.04e-23]	0.80	0.28	0.32	[0.0467, 1.67]	4.77	[0.53 0.47]	7.16
['CAV', 'log10(PHV)']	[66.09 263.71]	[1. 1.]	[3.71e-11 3.04e-23]	0.79	0.28	0.32	[1.902e-4, 2.58]	4.27	[0.31 0.73]	7.15
['log10(PHA)', 'log10(freq of max)']	[80.54 0.009]	[1. 0.08]	[1.46e-12 0.92]	0.79	0.27	0.32	[3.65, -1.59]	-0.30	[1.12 -0.60]	7.31
['log10(PHA)', 'log10(Tm)']	[80.54 0.009]	[1. 0.08]	[1.46e-12 0.92]	0.79	0.27	0.32	[3.65, 1.59]	-0.30	[1.12 0.60]	7.31
['RMS', 'log10(freq of max)']	[49.49 0.009]	[1. 0.08]	[2.56e-09 0.92]	0.79	0.28	0.32	[0.02190, - 0.58]	6.50	[1.08 -0.22]	7.23
['RMS', 'log10(Tm)']	[49.49 0.009]	[1. 0.08]	[2.56e-09 0.92]	0.79	0.28	0.32	[0.02190, 0.58]	6.50	[1.08 0.22]	7.26
['Spectral PHA', 'log10(PHV)']	[105.69 263.71]	[1. 1.]	[1.10e-14 3.04e-23]	0.79	0.26	0.32	[0.007748, 2.20]	4.42	[0.59 0.62]	7.23
['Arias Int', 'log10(PHV)']	[56.53 263.71]	[1. 1.]	[3.94e-10 3.04e-23]	0.79	0.29	0.32	[1.99e-05, 2.72]	4.25	[0.28 0.77]	7.17

Комбинация двух параметров позволила повысить значения коэффициента детерминации, в частности при совместном использовании скорости и средневзвешенного ускорения до 0.82 и пиковой скорости до 0.8 (рис. 3). При этом наилучший результат получен для логарифмов среднеквадратического значения ускорения (RMS) и меры Фаджфара (Fajfar). Учитывая, что мера Фаджфара представляет собой произведение пиковой скорости на корень четвертой степени из продолжительности новый параметр можно рассматривать как модифицированную меру Фаджфара $PGV \cdot RMS^{3/4} \cdot Durr^{1/4}$.

Далее следуют сочетания разных параметров с пиковой скоростью. Лучшее из них с кумулятивной абсолютной скоростью, $R^2=0.82$, MAE=0.22 (рис. 3). Модели на основе сочетания пиковой скорости с различными определениями ускорения (пиковыми PHA и среднеквадратическими RMS) приведены на рис. 7. Интенсивность Анга занимает 6 и 7 места в рейтинге двухпараметрических моделей в сочетании с пиковой скоростью.

$$I = 1.52 \cdot \log_{10}(\text{RMS}) + 2.04 \cdot \log_{10}(\text{Fajfar}) + 2.04, \quad R^2 = 0.85, \quad \text{MAE} = 0.22$$



$$I = 2.60 \cdot \log_{10}(\text{PHV}) + 0.55 \cdot \log_{10}(\text{CAV}) + 2.94, \quad R^2 = 0.82, \quad \text{MAE} = 0.22$$

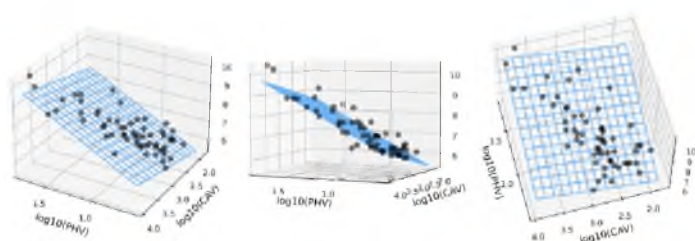
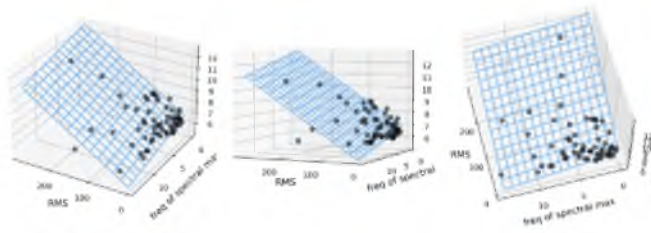


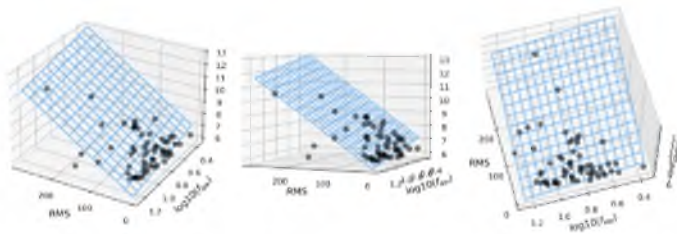
Рис. 3. Лучшие регрессионные модели для двух параметров по R^2 и MAE

Представляет интерес рассмотреть зависимости полученные без участия пиковой скорости, и содержащие амплитудные и частотные характеристики: частоту спектрального максимума, среднеквадратическое ускорений и средневзвешенную частоту, энергию и продолжительность (рис. 4). Ускорения характеризуют силы, которые воздействуют на систему, на определенных преобладающих частотах. При этом согласно полученным закономерностям с увеличением преобладающей частоты интенсивность уменьшается. Аналогично с увеличением продолжительности (отрицательный коэффициент) происходит уменьшение интенсивности, т.е. вся энергия сигнала распределяется в более длительный промежуток времени и система успевает его поглощать без повреждений.

$$I = 0.02 \cdot \text{RMS} - 0.12 \cdot \text{freq of spectral max} + 6.67, \quad R^2 = 0.75, \quad \text{MAE} = 0.30$$



$$I = 0.02 \cdot \text{RMS} - 1.55 \cdot \log_{10}(f_{dw}) + 7.54, \quad R^2 = 0.72, \quad \text{MAE} = 0.34$$



$$I = 1.78 \cdot \log_{10}(E_f) - 1.40 \cdot \log_{10}(\text{Duration}) + 1.30, \quad R^2 = 0.67, \quad \text{MAE} = 0.34$$

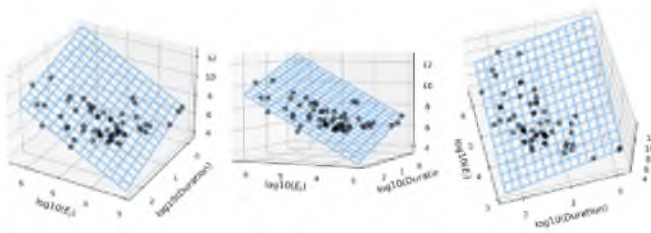


Рис. 4. Регрессионные модели, учитывающие спектральные особенности воздействия, продолжительность и полную выделившуюся энергию

Выводы

- Для регрессионной модели с одним параметром наилучшие показатели метрик получены для пиковой горизонтальной скорости PGV, $R^2 = 0.76$, $\text{MAE} = 0.29$. Физический смысл имеет квадрат скорости, пропорциональный энергии, при этом пиковые значения соответствуют максимальным кратковременным воздействиям, т.е. энергии которую система не может поглотить и рассеять в ограниченный промежуток времени.
- Введением дополнительных параметров к скорости удастся повысить R^2 до 0.85 (с кумулятивной абсолютной скоростью) и 0.8-0.82 с различными сочетаниями ускорений.
- Наилучшие показатели достигаются для модели с комбинацией среднеквадратической скорости и меры Фаджфара. Учитывая, что мера Фаджфара представляет собой произведение пиковой скорости на корень

четвертой степени из продолжительности новый параметр можно рассматривать как модифицированную меру Фаджфара $PGV \cdot RMS^{3/4} \cdot Dur^{1/4}$.

Литература

1. Габеева И.Л., Бурдзиева О.Г. Механизмы формирования интенсивности землетрясений в горных районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 3. С. 53-56.
2. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок (учебное пособие). М.: Наука, 2009. 350 с.
3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Фидарова М.И. Взаимосвязь величины макро-сейсмической интенсивности с показателями инструментальных записей Гюбанского землетрясения 2000 г. и Тбилисских землетрясений 2002 г. // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (1): 89–108. DOI: 10.46698/VNC.2022.74.23.007.
4. Заалишвили В.Б., Харебов К.С., Харебов А.К. Создание баз данных сильных движений на основе современных воззрений // Геология и геофизика Юга России, 3, 2013. С. 39-44. DOI: 10.23671/VNC.2013.3.55537.
5. Курбанов Х.Х., Лин Хонг, Сорокина Г.В., Уздин А.М. Характеристики сейсмического движения дневной поверхности. Их использование в сейсмостойком строительстве // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (3): 34-60. DOI: 10.46698/VNC.2022.47.47.003.
6. Caprio, M.; Tarigan, B.; Worden, C.B.; Wiemer, S.; Wald, D.J. Ground motion to intensity conversion equations (GMICES): A global relationship and evaluation of regional dependency. Bull. Seismol. Soc. Am. 2015, 105, 1476–1490.
7. Musson, R.M.W.; Grünthal, G.; Stucchi, M. The comparison of macroseismic intensity scales. J. Seismol. 2009, 14, 413–428.
8. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019), NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0004.
9. Smola Alex J., Schölkopf Bernhard A Tutorial on Support Vector Regression” - Statistics and Computing archive Volume 14 Issue 3, August 2004, p. 199-222.
10. Sokolov V., Furumura T., Comparative Analysis of Two Methods for Instrumental Intensity Estimations using the Database Accumulated during Recent Large Earthquakes in Japan. Earthquake Spectra (2008),24(2): 513. DOI: 10.1193/1.2923918
11. Trifunac, M.D.; Brady, A.G. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion. Bull. Seismol. Soc. Am. 1975, 65, 139–162.
12. Wald, D.J.; Quitoriano, V.; Heaton, T.H.; Kanamori, H. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli intensity in California. Earthq. Spectra 1999, 15, 557–564.
13. Zaalishvili V. B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G, Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. 10 (3): 94-113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

© Д.А. Мельков, З.В. Абаева

Геофизический институт ВНИЦ РАН, Владикавказ

Аннотация. Рассмотрены явления, возникающие в грунтах при интенсивных сейсмических воздействиях, которые не могут быть описаны линейной теорией упругости. Предложено использовать искусственные невзрывные источники для изучения нелинейных показателей грунтов. Методика исследования основана на использовании сейсмического вибратора СВ-10/100 для генерации сейсмических волн с изменяющейся частотой. Это позволяет выявить спектральные особенности грунтовой толщи и изучить резонансные явления. Установлено появление в спектре кратных частот отмечается наличием дополнительного «свищ сигнала» малой амплитуды с большим углом наклона по отношению к временной оси. Рассмотрены показатель поглощения – площадь нормированного спектра S_n и «чистого» поглощения, представляющий собой отношение площади нормированного спектра к средневзвешенной частоте колебаний $S_n/f_{св}$.

Ключевые слова: грунтовая толща, нелинейность, невзрывные источники, средневзвешенная частота, площадь спектра

Введение

При интенсивных сейсмических воздействиях, в грунтах возникают явления, которые не могут быть описаны с помощью линейной теории упругости. В частности, при возрастании возмущающей силы и амплитуды колебаний фундаментов наблюдается смещение максимума резонансной кривой в сторону длинных периодов. С увеличением площади фундамента, при постоянной возмущающей силе и постоянном давлении на грунт, наблюдается увеличение частоты его собственных колебаний.

Первой работой, которая была посвящена вопросам непосредственной оценки нелинейности в грунтах, явилась теоретическая работа А.В.Николаева [7]. Позже А.А.Гвоздев и В.В.Кузнецов исследовали нелинейные явления в эпицентре небольшого взрыва [3]. Как показывают соответствующие исследования, в формировании сейсмических волновых полей в реальных средах определенную роль играет физическая нелинейность, характеризующаяся нелинейностью связи напряжения и деформации.

Позже В.Б. Заалишвили было предложено использовать такой параметр как площадь спектра для оценки нелинейных свойств [4]. Площадь спектра колебаний (площадь, ограниченная кривой спектра колебаний и осью частот или периодов). На основе различного рода фактических данных в качестве параметра, характеризующего реакцию толщи на любое сколь угодно малое воздействие, рассматривается площадь области спектра, ограниченная огибающей кривой спектра колебаний грунтовой толщи. Предполагается, что ее трансформация при интенсивных нагрузках может служить показателем степени нелинейности грунтовой толщи. Исследования различного рода тонких эффектов, связанных с нелинейными искажениями волнового поля, должны позволить получать необходимые исходные данные для целей сейсмического

микрорайонирования [9]. Появление современных невзрывных источников колебаний создало условия для разработки новых приемов оценки нелинейности грунтов.

Для отработки и изучения различных способов выделения нелинейных показателей грунтов целесообразно и, очевидно, наиболее приемлемо применение искусственных, невзрывных источников большой мощности. Применение искусственного воздействия позволяет выделить различные, структурные связи исследуемых явлений [12] с помощью их параметрического изучения [1; 2; 11].

Параметрический подход предполагает, в частности, оценку пределов изменения пикового значения ускорения, связанного с изменением инженерно-геологического строения исследуемой площадки [15-18]. С этой целью на участках с известной проявленной сейсмичностью сильного землетрясения необходимо применить существующие приемы выделения и оценки показателей нелинейности для их последующего использования в практических работах по сейсмическому микрорайонированию [10]. Современные, мобильные источники [8; 14; 19] с высокой стабильностью воздействия позволяют получить результаты, несомненно, являющиеся новой ступенью геофизических экспериментальных исследований [20]. Необходимо отметить, что толкающее усилие вибрационного источника более 10 т сохраняется в диапазоне от 12 до 100 Гц и более.

Метод

Основной особенностью использования вибрационного источника для целей сейсмического микрорайонирования является возможность управления спектральным составом излучаемого сигнала. Подобный источник позволит выявлять спектральные особенности грунтовой толщи, сложенной как однородным по литологическому составу видом грунта, так и неоднородным, составленным слоями грунтов различной мощности и видов. Это даст возможность изучения резонансных явлений в сложно составленной структуре грунтовой толщи и установления амплитудно-частотной характеристики грунтовых толщ типичных участков районируемой территории.

В качестве вибрационного источника в работе использовался отечественный сейсмический вибратор СВ-10/100.

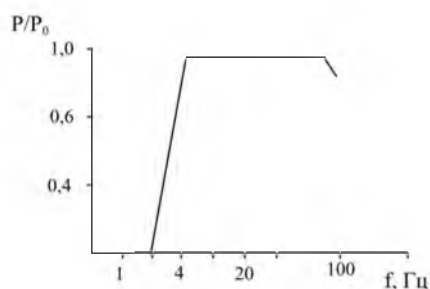
Источник предназначен для генерирования сейсмических волн с изменяющейся частотой и амплитудой в геологической среде путем механического вибрационного воздействия на поверхность грунта. Областью применения являются сейсморазведочные работы на нефть и газ [13].

Диапазон со «столообразной» характеристикой (диапазон рабочих частот) ограничен по частоте от 4 до 100 Гц (рис. 1). Широкий диапазон изменения длительности посылки сигнала позволяет «раскачивать» среду, т.е. выводить ее из равновесного состояния и колебать с вынужденной гармонической частотой (f) или в виде «сви́п»-сигнала, когда сигнал плавно изменяет частоту в пределах Δf .

Установка смонтирована на шасси автомобиля повышенной проходимости КРАЗ-255В. Площадь контакта вибрирующей плиты с грунтом должна быть не менее 85 % общей площади.



а)



б)

Рис. 1. Вибрационный источник СВ-10/100:

а – на профиле; б – амплитудно-частотная характеристика источника

При использовании вибрационного источника расчет приращения интенсивности проводят с помощью формулы [4]:

$$\Delta I = 2 \lg S_i / S_0, \quad (5)$$

где S_i и S_0 – площади спектров колебаний исследуемых и эталонных грунтов.

Разработанный способ применялся при СМР территорий городов Тбилиси, Кутаиси, Ткибули, отдельных участков г. Б. Сочи [21]. Отличительная особенность способа – он позволяет оценить сейсмическую опасность грунтов без каких-либо предварительных исследований, путем проведения непосредственных измерений реакции грунтовой толщи на стандартное (вибрационное или импульсное). Позже формула с успехом использовалась при СМР площадок Нововоронежской АЭС для импульсного источника [5]. Анализ амплитудных спектров инструментальных записей колебаний грунта, возбуждаемых с помощью невзрывных источников различной природы и энергии, показывает, что все они характеризуются увеличением подспектральной области при переходе от плотных грунтов к рыхлым.

Следует отметить, что хотя использование разработанных эмпирических способов при СМР характеризуется, как правило, высокой надежностью, тем не менее, они не позволяют непосредственно оценивать некоторые другие характеристики, например, нелинейные свойства грунтов, которые отчетливо проявляются при интенсивных сейсмических воздействиях.

Результаты и обсуждение

С целью оценки нелинейных и поглощающих свойств грунтов были пересмотрены данные исследований с использованием мощного вибрационного источника СВ-10/100. На основе инженерно-геологических данных были выбраны 6 участков с типичными инженерно-геологическими условиями.

Участок 1 представлен невыветрелыми песчаниками. Участок 2 с поверхности сложен почвенным слоем мощностью 0,5 м, далее следует слой суглинков-супесей мощностью 25,7 м, подстилаемый снизу выветрелыми песчаниками, уровень грунтовых вод 3,0 м. Участок 3 представлен

тугопластичными глинами мощностью до 7 м, участок 4 – выветрелыми песчаниками, участок 5 – галечниками, участок 6 – супесями.

С помощью источника СВ-10/100 в грунтовой толще возбуждались свип - сигналы в пределах 1-100 Гц и проводились наблюдения сейсморазведочного типа. Длительность воздействия составляла 2с и 12с. Колебания регистрировались аналоговой аппаратурой (канал СМ-3 - ГБ-III-3). Далее производилась оцифровка записей по специально разработанной методике, данные определенным образом структурировались, и была создана база данных записей, содержащая оригинальные образы отсканированных сейсмограмм и результаты их обработки (рис. 2-3).

Для всех оцифрованных записей были построены амплитудные спектры Фурье и ряд параметров: максимальные амплитуды спектра, средневзвешенная частота колебаний и площадь реального спектра колебаний грунтов (табл.1). Кроме того, рассчитывались показатели нелинейности и «чистой» нелинейности, показатели поглощения, которые тесно связаны с грунтовым движением [6, 22].

С целью количественной оценки вариаций нелинейности попробуем использовать их тесную связь с величиной приращений балльности. С помощью соответствующих формул были рассчитаны приращения. В качестве эталонного грунта в данном расчете рассматривались грунты участка № 3. При этом в качестве сопоставляемых данных использовались показатели колебаний грунтов ближней зоны источника.

Особый интерес представляет анализ вариаций показателя «чистого» поглощения. Видно, что указанный показатель для скальных грунтов соответствует $S_n/f_{cv} = 0.1-0.3$, для «средних» грунтов - $S_n/f_{cv} = 0.3-0.7$ и для рыхлых или «слабых» грунтов, характеризующихся высокой нелинейностью, - $S_n/f_{cv} = 0.6-0.9$. Максимальные значения S_n/f_{cv} характерны для ближней зоны источника, т.е. поглощение энергии для всех видов грунтов в ближней зоне - наибольшее.

Таким образом, показатели нелинейности, используемые в формулах приращений балльности, позволяют оценивать напряженно-деформированное состояние грунтов (линейная упругость, нелинейная упругость, неупругость). С другой стороны, если принять указанное выше, что показатель «чистого» поглощения представляет собой коэффициент потерь, это позволит широко использовать легко рассчитываемый показатель «чистого» поглощения для оценки многих задач инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства, а также повысить надежность получаемых данных. В частности, указанные показатели могут быть использованы при энергетическом расчете зданий, сооружений и т.д.

Использование вибрационных источников, позволяющих возбуждать в среде квазигармонические колебания определенных частот в отличие от импульсных, формирующих широкополосные позволяют выявлять особенности проявления нелинейных свойств среды в зависимости от частоты колебаний, возбуждаемых источником.

При генерации квазигармонических колебаний нелинейные процессы приводят к тому, что в сигнале помимо колебаний с основными (заданными) частотными составляющими присутствуют колебания с кратными им высшими частотами. На всех записях при включении сигнала в начальный момент времени – в период первых 0,2 с наблюдается перестройка частоты колебаний.

Частота сигнала изменяется с 13.4 Гц на 17.8 Гц, при этом происходит нарастание амплитуд колебаний. Далее наблюдаются колебание в интервале частот 14.9 Гц -16.9 Гц, что в рассматриваемом интервале 1-100 Гц сигнал можно считать монохроматическим.

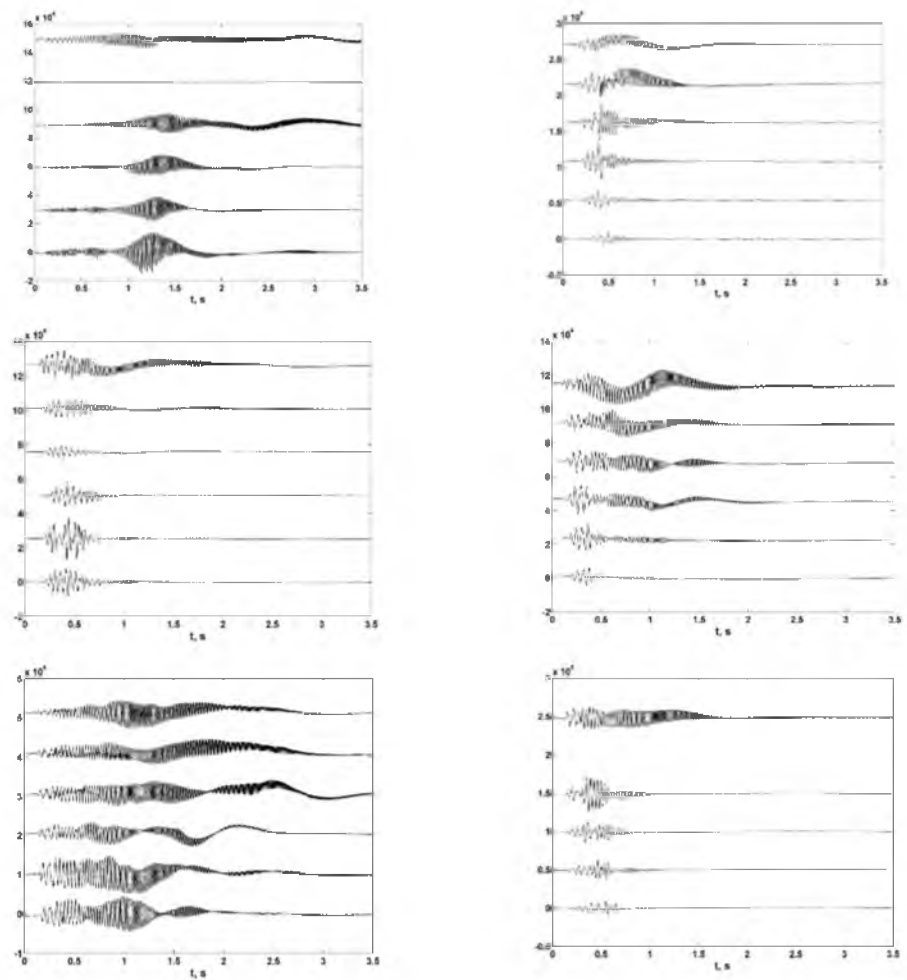


Рис. 2. Сейсмограммы вибрационного воздействия длинным свип-сигналом, участок 1-6

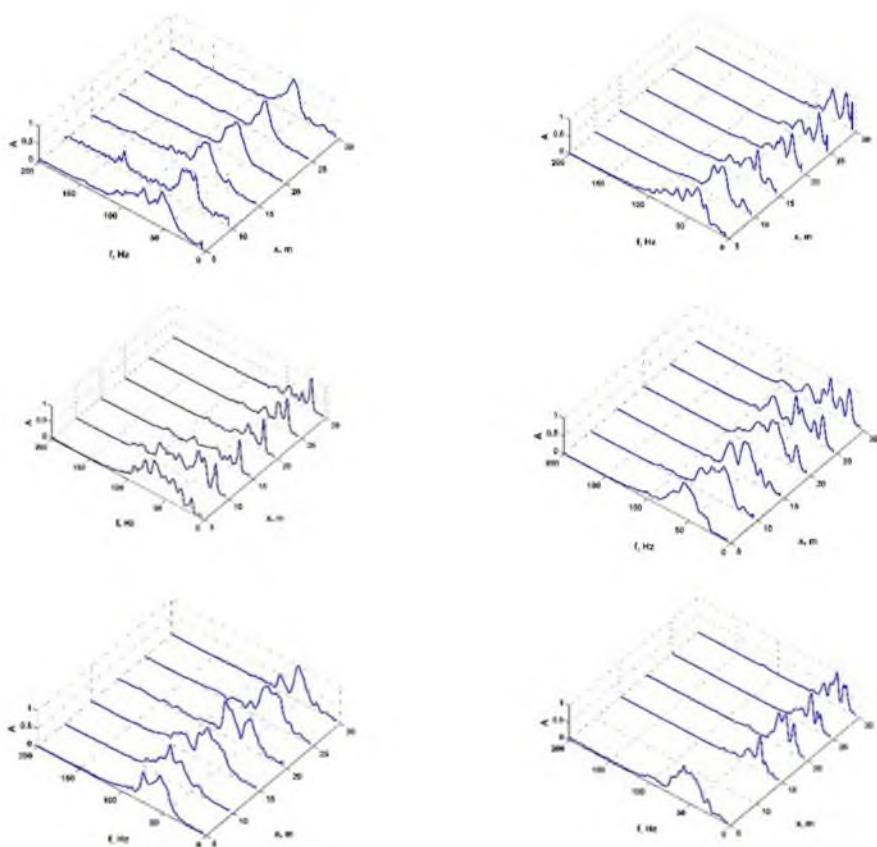


Рис. 3. Изменение спектрального состава колебаний с расстоянием (нормированные спектры Фурье), участки 1-6

Таблица 1

Показатели колебаний грунтов при кратковременном воздействии

№ уч.	№ канала	Максимальная амплитуда спектра колебаний, у.е.	Средневзвешенная частота колебаний	Показатель нелинейности	Показатель "чистой" нелинейности		Показатель поглощения	Показатель "чистого" поглощения
		A	$f_{св}$	S_r	$A \cdot f_{св}$	$S_r / f_{св}$	$S_r / A = S_n$	$S_n / f_{св}$
1	1	2857,10	72,50	143180,00	207139,75	1974,90	50,11	0,69
	2	-	-	-	-	-	-	-
	3	401,30	90,50	16624,00	36317,65	183,69	41,43	0,46
	4	210,90	69,40	5770,00	14636,46	83,14	27,36	0,39
	5	283,30	70,80	5918,00	20057,64	83,59	20,89	0,30
	6	435,50	70,70	10135,00	30789,85	143,35	23,27	0,33
3	1	3683,60	51,40	125000,00	189337,04	2431,91	33,93	0,66
	2	789,40	50,60	17077,00	39943,64	337,49	21,63	0,43

	3	253,90	44,00	3217,00	11171,60	73,11	12,67	0,29
	4	210,50	34,60	2551,00	7283,30	73,73	12,12	0,35
	5	392,60	32,50	4528,00	12759,50	139,32	11,53	0,35
	6	353,10	31,30	3277,00	11052,03	104,70	9,28	0,30
4	1	4471,10	57,10	161180,00	255299,81	2822,77	36,05	0,63
	2	1052,20	53,80	28638,00	56608,36	532,30	27,22	0,51
	3	360,10	45,20	10146,00	16276,52	224,47	28,18	0,62
	4	254,30	40,80	4954,00	10375,44	121,42	19,48	0,48
	5	240,10	40,60	3524,00	9748,06	86,80	14,68	0,36
	6	150,30	37,40	1912,00	5621,22	51,12	12,72	0,34
5	1	2604,40	53,70	254280,00	139856,28	4735,20	97,63	1,82
	2	411,90	55,30	53225,00	22778,07	962,48	129,22	2,34
	3	352,80	58,90	11148,00	20779,92	189,27	31,60	0,54
	4	110,90	67,10	6699,00	7441,39	99,84	60,41	0,90
	5	266,30	76,80	3419,00	20451,84	44,52	12,84	0,17
	6	341,30	63,60	4171,00	21706,68	65,58	12,22	0,19
6	1	8289,50	49,40	320640,00	409501,30	6490,69	38,68	0,78
	2	2374,90	41,10	64330,00	97608,39	1565,21	27,09	0,66
	3	595,80	30,90	8254,00	18410,22	267,12	13,85	0,45
	4	175,00	29,30	2595,00	5127,50	88,57	14,83	0,51
	5	165,50	29,20	1966,00	4832,60	67,33	11,88	0,41
	6	121,90	30,60	1495,00	3730,14	48,86	12,26	0,40

В зависимости от типа и состояния грунтовой толщи наблюдались различные вариации спектра во времени. Выделяются максимумы на определенных для каждого участка частотах колебаний, при этом вид этих «всплесков» различен, они могут быть одиночными, локализованными по частоте и времени, или в определенном диапазоне частот, когда форма свип-сигнала практически не изменяется (участок 1), а обеднение состава колебаний в высокочастотной части спектра объясняется спектральными особенностями затухания сейсмических волн. Для сравнения можно рассмотреть спектральные особенности сейсмограмм участка №5, где наблюдается выделение отдельных максимумов на кратных (здесь имеется в виду) частотах, что особенно хорошо выражено на последнем канале.

Выводы

- Использование вибрационных источников позволяет задавать воздействия с регулируемым спектральным составом, как гармонические, так и в виде «свип»-сигнала, когда сигнал плавно пробегает значения в регулируемых границах частот.

- Продольное профилирование с встречными системами наблюдений, проводимое на основе стандартных условий возбуждения - прием сигналов, позволит непосредственно исследовать спектральные характеристики грунтов в пределах типичных участков с определенными инженерно-геологическими условиями. Это позволит, в свою очередь, использовать обработанные достаточно точными методами экспериментальные данные для непосредственной оценки приращений балльности грунтов, слагающих грунтовую толщу на районированной территории.
- Установлено появление в спектре кратных частот отмечается наличием дополнительного «свип сигнала» малой амплитуды с большим углом наклона по отношению к временной оси.
- Рассмотрен показатель «чистого» поглощения, представляющий собой отношение площади нормированного спектра к средневзвешенной частоте колебаний $S_n/f_{св}$. Для скальных грунтов $S_n/f_{св} = 0.1-0.3$, для «средних» грунтов - $S_n/f_{св} = 0.3-0.7$ и для рыхлых или «слабых» грунтов, характеризующихся высокой нелинейностью, - $S_n/f_{св} = 0.6-0.9$. Максимальные значения $S_n/f_{св}$ характерны для ближней зоны источника, т.е. поглощение энергии для всех видов грунтов в ближней зоне - наибольшее.
- Таким образом, показатели нелинейности, используемые в формулах приращений балльности, позволяют оценивать напряженно-деформированное состояние грунтов (линейная упругость, нелинейная упругость, неупругость).

Литература

1. Антикаев Ф.Ф. Оценка параметров при сейсмическом микрорайонировании. Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1983. С. 173-180.
2. Береснев И.А., Николаев А.В. Качественная картина формирования нелинейных эффектов при распространении сейсмических волн // Проблемы нелинейной сейсмологии. М.: Наука, 1987. С. 86-93.
3. Гвоздев А.А., Кузнецов В.В. О явлении частичного откола // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1977. № 2. С. 21-27.
4. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Тбилиси, 1986.
5. Заалишвили В.Б., Тимошук Е.П. Сейсмическое микрорайонирование площадки проектируемой Нововоронежской АЭС-2 в натурных условиях с использованием микросейсм и возбуждения колебаний ударной установкой: Отчет АО ИСГИ. М.: Фонды Ин-та «Атомэнергoproject», 1996.
6. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367 с.
7. Николаев А. В. Сейсмические свойства рыхлой среды // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1967. С. 23-31.
8. Николаев А.В. Развитие физических основ сейсмических методов. Программа. Препр. ИФЗ АН СССР. М., 1981. 18 с.
9. Николаев А.В. Сейсмические исследования Земли вибрационными источниками // Вест. АН СССР. 1984. № 10. С. 76-87.
10. Николаев А.В. Проблемы нелинейной сейсмологии // Проблемы нелинейной сейсмологии, 1987. 5-20 с.

11. Рудаков А.Г., Цымбал Т.М. О некоторых экспериментальных исследованиях динамических характеристик импульсного воздействия // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Сб. II, ЛГУ, 1959. С. 159-186.
12. Соловьёв В.С. Экспериментальное изучение нелинейных сейсмических явлений // Проблемы нелинейной сейсмологии. М.: Наука, 1987. С. 164-179.
13. Шагинян А.С. Создание вибрационных источников большой мощности для глубинного зондирования Земли // Проблемы вибрационного просвечивания Земли. М., Наука, 1977. С. 128-136.
14. Шнеерсон М.Б. Методика работ с невзрывными источниками сейсмических колебаний // Разв. геофизика, вып.69. М., Недра, 1975. С. 23-28.
15. Bostroms A., Datta Subhendy, Olsson K. Ground motion amplification on alluvial valleys. Elast. wave Propagation: Proceedings 2 nd. IVTAH-IVPAP Symp., Gal Way, March 20-25, 1988, Amsterdam, pp.106-107.
16. Carreno E., Pascual G., Martin A.J. Seismic microzonation studies in Andalusia (SPAIN) using G.I.S. Proc. 10-th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, abstract, vol.1, 1994.
17. Hays W.W. Procedures for estimating earthquake ground motion. U.S.Geological Survey Professional Paper, 1980, 1114 p.
18. Hays W.W. Seismic microzonation along the Wasatch Fault Zone, ОТАН. Proceedings of the 8-th European Conference on Earthquake Engineering, vol. 2. top. 5, Lisbon, 1986, pp. 41-48.
19. Lysmer J., Richart F.E. Dynamic response of footing to vertical loading. Journal of the Soil Mechanics and foundations Division, ASCE, vol. 92, No SM 1, Jan. 1966, pp. 65-91.
20. Shimosaky Y., Kobori T. Surface motion of topographic irregular ground excited by vibrator. Proceeding of the 8-th European Conference on Earthquake Engineering, vol. 2, top. 5, Lisbon, 1986, pp. 49-56.
21. Zaalishvili V.B. Seismic microzoning of the town territory // Proc. 2th Russian-Chinese Regional Seminar on Earthquake Engineering. Moscow, 1992. Pp. 58-64.
22. Zaalishvili V. B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G., Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city // Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10 (3). pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ОТКЛИК ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИЛИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

© А.В. Мясников

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,
МГУ им. Ломоносова, Москва*

Аннотация. Представлены результаты многолетних экспериментальных наблюдений приливных деформаций земной коры, полученных с помощью уникального лазерного интерферометра ГАИШ МГУ в штольне Баксанской нейтринной обсерватории. Проанализирован пятнадцатилетний ряд непрерывных натурных наблюдений литосферных деформаций и соответствующих теоретических расчетных значений прилива с выделением главной лунной волны M2. На основе полученных данных исследованы особенности реакции ограниченного объема слоистой геофизической среды на приливное воздействие, проанализированы изменения её амплитудных и фазовых параметров с учётом закономерностей протекания сейсмического процесса. Рассмотрены возможности использования определяющих параметров приливного отклика геофизической среды в качестве возможных индикаторов процесса формирования и развития очаговых структур региональных сейсмических событий.

Ключевые слова: лунно-солнечный прилив, амплитудные и фазовые параметры, напряженно-деформированное состояние, региональная сейсмичность

Современные представления о геодинамике Кавказа свидетельствуют в пользу его расширения в субширотном и сжатии в субмеридиональном направлениях на фоне общего поднятия региона, сопровождающегося закономерными проявлениями сейсмических и вулканических процессов, которые могут стать причиной возникновения и развития разномасштабных природно-техногенных катастроф, создающих в свою очередь угрозу безопасности жизнедеятельности в пределах горных территорий юга России и их рекреационному потенциалу. Отметим, что исследования последних лет охватывают широкий круг задач, ответственных за развитие катастрофических событий на Северном Кавказе [Рогожин и др., 2001; Собисевич и др., 2008].

Сама по себе идея наблюдений за изменениями реакции геофизической среды на лунно-солнечный прилив далеко не нова [Мельхиор, 1968; Beaumont, Berger, 1974], по сути — достоверная информация о параметрах внешнего силового воздействия однозначно определяется расчётом теоретического прилива, а результаты наблюдений приливной деформации непосредственно на земной поверхности позволяют оценить влияние локальных неоднородностей геологической среды, проявляющееся в отклонениях наблюдаемых значений литосферных деформаций от расчётных.

Таким образом, в качестве «входного сигнала» рассматривается теоретический прилив, определяемый законами небесной механики и стандартной моделью глубинного строения Земли [Dziewonski, 1981]. При этом расчёты проводятся, как правило, с помощью стандартного пакета ETGTAB, входящего в состав программного комплекса ETERNA [Wenzel, 1996]. Сигнал же «на выходе» или отклик слоистой геофизической среды определяется в результате обработки временных рядов значений литосферных деформаций, регистрируемых с помощью уникального интерферометра-деформографа

ГАИШ МГУ, расположенного в штольне «Главная» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН.

Лазерный интерферометр-деформограф представляет собой прецизионный оптический прибор — двухпроходной неравноплечий интерферометр Майкельсона, работающий в режиме разнесённых пучков; длина большого измерительного плеча, ориентированного в азимуте $150^{\circ}37'$ составляет 75 м, опорного — 0.3 м; относительная чувствительность измерения литосферных деформаций — $2.3 \cdot 10^{-13}$; рабочий диапазон частот от 0 до 15 Гц, динамический диапазон неограничен [Милуков, Мясников, 2012b]. Основная задача данного геофизического инструмента — регистрация реакции Земли (вариации фигуры Земли) на лунно-солнечный прилив (рис. 1).

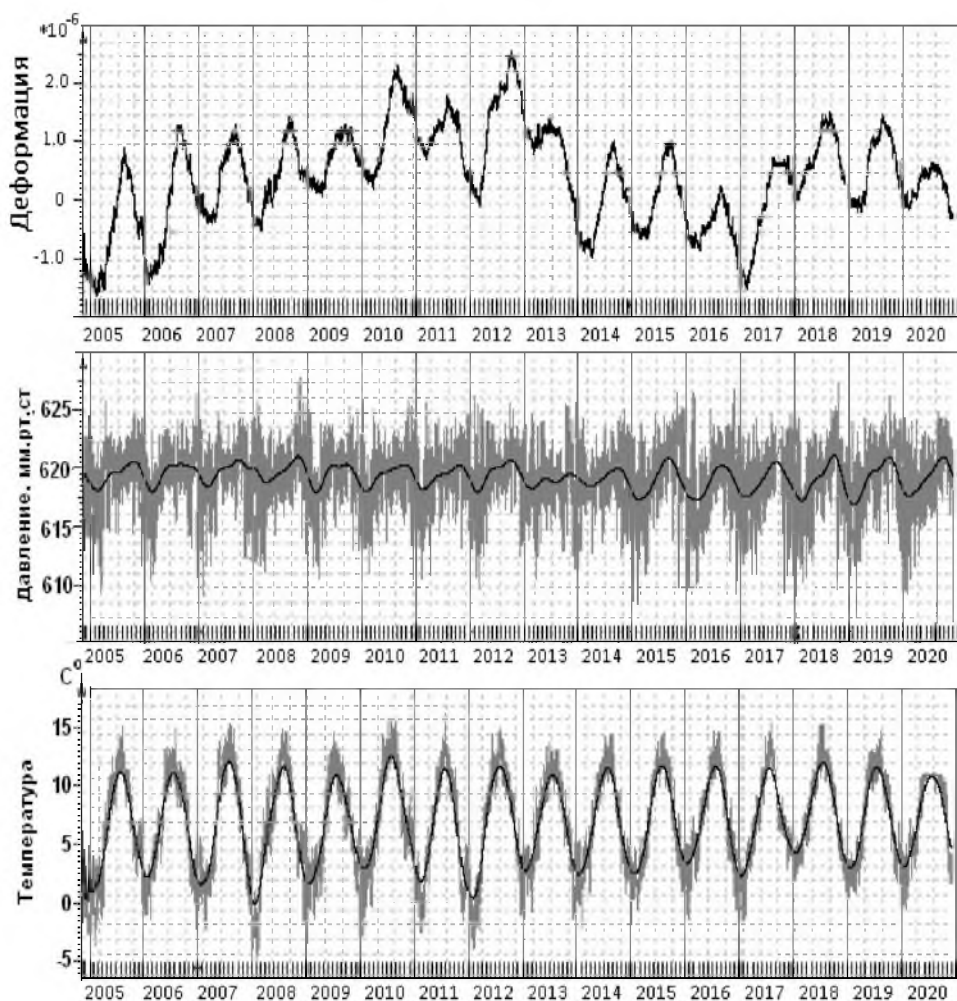


Рис. 1. Экспериментальные данные, зарегистрированные с 2004 по 2020 гг. Баксанском лазерным интерферометром-деформографом ГАИШ МГУ, сверху – вниз: литосферная деформация (стрейн) вдоль измерительного плеча (75 м), атмосферное давление и температура в точке установки прибора (штольня «Главная» БНО ИЯИ РАН)

На рис. 1 представлен лунно-солнечный прилив на фоне вариации сезонной температуры [Мясников, 2019]. На верхнем графике заметна длиннопериодная составляющая деформации, величина которой на полтора

порядка превышает амплитуду приливного отклика. Так, с 2004 по 2010 гг. относительная деформация составляет $3 \cdot 10^{-6}$, что соответствует абсолютному растяжению земной коры в пересчёте на 100 км порядка 0.3 м, или около 5 см в год в направлении указанного выше азимута. Однако, уже с 2012 г. наблюдается относительное сжатие в регионе, а далее ход длиннопериодной вариации незначителен.

Лунно-солнечный прилив имеет два основных приливных диапозона – суточный и полусуточный, каждый из которых состоит из восьми ($J_1, K_1, S_1, P_1, P_{11}, M_1, O_1, Q_1$) и десяти ($K_2, S_2, T_2, L_2, i_2, M_2, Vi_2, N_2, Mu_2, 2N_2$) основных приливных лунных и солнечных гармоник. Все основные солнечные приливные гармоники искажены вариацией метеорологических параметров, что полностью исключает их из дальнейшего анализа. Кроме того, волны $J_1, K_1, S_1, P_1, P_{11}$ подвержены эффекту близсуточного резонанса жидкого ядра Земли [Милюков и др., 2019]. В итоге из всего набора приливных волн для целей настоящего исследования будет использована главная лунная волна M_2 (период $T=12.40601$ ч), не подверженная влиянию термоупругих деформаций и характеризующаяся высоким отношением сигнал/шум [Мясников, 2019]. Вместе с этим, M_2 чувствительна к вариациям атмосферного давления. Для вычисления атмосферного нагрузочного эффекта использовалась программа ATMDEFORM 1.0_2019 [Спиридонов, Виноградова, 2020], а для частичной компенсации океанической нагрузки нами была использована модель OCENAP [Милюков и др., 2018].

Известно, что наблюдаемые приливные деформации земной коры в Приэльбрусье [Милюков и др., 2007] могут существенно отличаться от теоретических вследствие наличия в земной коре локальных неоднородных включений и глубинных тектонических разломов, отклонения упругих характеристик реальной геофизической среды от используемой модели, а также существенными особенностями рельефа [Молоденский, 1986]. В общем случае реакция исследуемого объёма геофизической среды на внешнее действие определяется соотношением:

$$\frac{S_{\text{вых}}(\omega)}{S_{\text{вх}}(\omega)} = W, \quad (1)$$

где: $S_{\text{вых}}(\omega)$, $S_{\text{вх}}(\omega)$ – преобразования Фурье от сигналов на выходе $U_{\text{вых}}(t)$ и входе $U_{\text{вх}}(t)$ упругой механической среды соответственно, W – комплексная передаточная функция, определяющая изменение амплитуды и сдвиг фазы на выходе, относительно входного сигнала на определённой частоте.

Будем рассматривать теоретический прилив в качестве опорного сигнала по отношению к наблюдаемому приливу, без учёта статического отличия приливных параметров. Таким образом, в тригонометрической форме имеем:

$$W = \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}} (\cos(\varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}}) + i \cdot \sin(\varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}})), \quad (2)$$

где $A_{\text{вых}}$, $A_{\text{вх}}$, $\varphi_{\text{вых}}$, $\varphi_{\text{вх}}$ – амплитуды и фазы сигналов на выходе и входе системы соответственно.

При условии малости запаздывания фазы, можно представить (2) в следующем виде [Бессекерский, Попов, 1979]:

$$W \approx \frac{A_{\text{вх}}/A_{\text{ex}}}{1-i \cdot \Delta\varphi}, \quad (3)$$

где $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\text{ex}}) \ll 1$ – запаздывание фазы прилива реальной геофизической среды.

Соотношение (3) даёт представление о физическом смысле параметров передаточной функции, в числителе которой находится коэффициент усиления для «нулевых» частот, который естественно интерпретировать как величину, пропорциональную коэффициенту всестороннего сжатия K , в то время как «фазовый параметр» φ определяет временную характеристику $T = \varphi/\omega$, где ω – частота, соответствующая периоду определенной приливной волны. Параметр T определяет характерное время переходного процесса в механической системе или время запаздывания на частоте ω .

Исследованиями В.Н. Жаркова [Жарков, Паньков, 1968; Жарков, 1983] и С.М. Молоденского [1977, 1979, 1982] было показано, что фазовые запаздывания приливов обусловлены неупругими свойствами геофизической среды и проявляются, в основном, через динамический модуль сдвига. Таким образом, с учётом перечисленных допущений, можно предположить наличие взаимосвязи вариаций «амплитудного параметра» ($A_{\text{вх}}/A_{\text{ex}}$) с изменениями коэффициента всестороннего сжатия среды K , а «фазового параметра» – с изменениями модуля сдвига μ . Последнее допущение справедливо при условии, что запаздывание приливной волны составляет первые проценты от её периода. Из выражения (3) следует, что коэффициент сжатия качественно определяется действительной частью W (или амплитудным параметром), а модуль сдвига соответственно её мнимой частью (или фазовым параметром), то есть $K \sim \text{Re}(W)$, $\mu \sim \text{Im}(W)$. Таким образом, задача сводится к вычислению параметров передаточной функции, используя расчётный теоретический прилив в точке наблюдения, и реальные данные лазерного деформографа. Естественно предположить, что полученные величины будут непостоянны во времени, отражая изменения напряженно-деформированного состояния исследуемого объёма слоистой геофизической среды.

Поскольку значения упругих коэффициентов при высоком уровне тектонических напряжений в среде (в состоянии предразрушения) зависят от величин этих напряжений [Молоденский и др., 2015], можно также предположить, что изменения напряженно-деформированного состояния геофизической среды относительного фонового (высокого) уровня будут проявляться в соответствующих вариациях значений упругих параметров. Используя для качественной оценки их значений определённые выше компоненты передаточной функции W , представляется возможным проследить их взаимную корреляцию и тем самым проследить качественные изменения величин накопленных в исследуемом объёме земной коры тектонических напряжений.

В качестве независимого, хотя и косвенного индикатора накопившихся напряжений могут быть привлечены энергетические характеристики региональной сейсмичности. Действительно, согласно теории упругой отдачи,

процесс развития землетрясения проходит ряд этапов, например, в модели Касахара [Добровольский, 1991] определены четыре стадии сейсмического цикла: межсейсмическая, предсейсмическая, косейсмическая и постсейсмическая. Первая характеризуется накоплением потенциальной энергии; вторая – неупругим поведением геофизической среды при критическом уровне напряжений; косейсмическая стадия – это переход потенциальной энергии в кинетическую, а постсейсмическая – достижение системой нового равновесного состояния. Поскольку энергия землетрясения однозначно связана с его магнитудой [Жарков, 1983], то далее, согласно теории упругой отдачи, оценка выделившейся сейсмической энергии по совокупности всех сейсмических событий в некоторой ограниченной области позволяет оценить уровень накопленных тектонических напряжений за определенный промежуток времени.

Далее, на основе данных регионального каталога сейсмических событий Приэльбрусья, рассмотрим взаимосвязь процессов разгрузки тектонических напряжений с изменениями значений корреляции между амплитудным и фазовым параметрами передаточной функции W для диапазона периодов приливной волны M_2 .

На первом этапе, из шестнадцатилетнего непрерывного ряда наблюдений литосферой деформации в диапазоне периодов 12.36-12.48 ч с помощью импульсного симметричного фильтра с конечной областью отклика выделялась приливная волна M_2 . Аналогично проводилась и обработка данных расчёта полного теоретического прилива для выделения опорной волны M_2^* . Определив значения $U_{\text{вых}}(t)$ и $U_{\text{вх}}(t)$ во временной области, посредством преобразования Фурье методом плавающего окна Ханна с шагом 24 ч, получаем искомые амплитудный ($A_{\text{вых}}/A_{\text{вх}}$) и фазовый ($\varphi = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}}$) параметры передаточной функции.

На рис. 2 представлены графики изменений во времени амплитудного и фазового параметров волны M_2 с шагом 24 ч. Видно, что колебания амплитудного параметра на протяжении 15 лет происходили в диапазоне 0.85 – 1.11 единиц, при этом отклонения от среднего значения не превышали 15%. В то же время изменения фазового параметра волны M_2 относительно её периода составляли порядка 400 с или 0.009 периода, что позволяет считать φ малой величиной. Согласно региональному каталогу землетрясений Геофизической службы РАН, за весь период деформометрических наблюдений в радиусе 55 км от места установки лагерного деформографа произошло не менее трёхсот событий с магнитудами от 0.1 до 4.0, при этом подавляющее большинство эпицентров было расположено к востоку и северо-востоку от точки измерений. Соответствующая гистограмма выделившейся сейсмической энергии в последовательных, шестидесятисуточных интервалах времени представлена на рис. 2 (нижний график). На гистограмму наложена кривая изменения значений корреляции амплитудного и фазового параметров передаточной функции (3).

Последняя построена методом плавающего окна шириной 300 суток, сдвигом ± 30 суток в каждой точке и шагом одни сутки. Т.е., последовательно, с периодом один день, вырезалось окно шириной 300 суток из временного ряда амплитудного параметра.

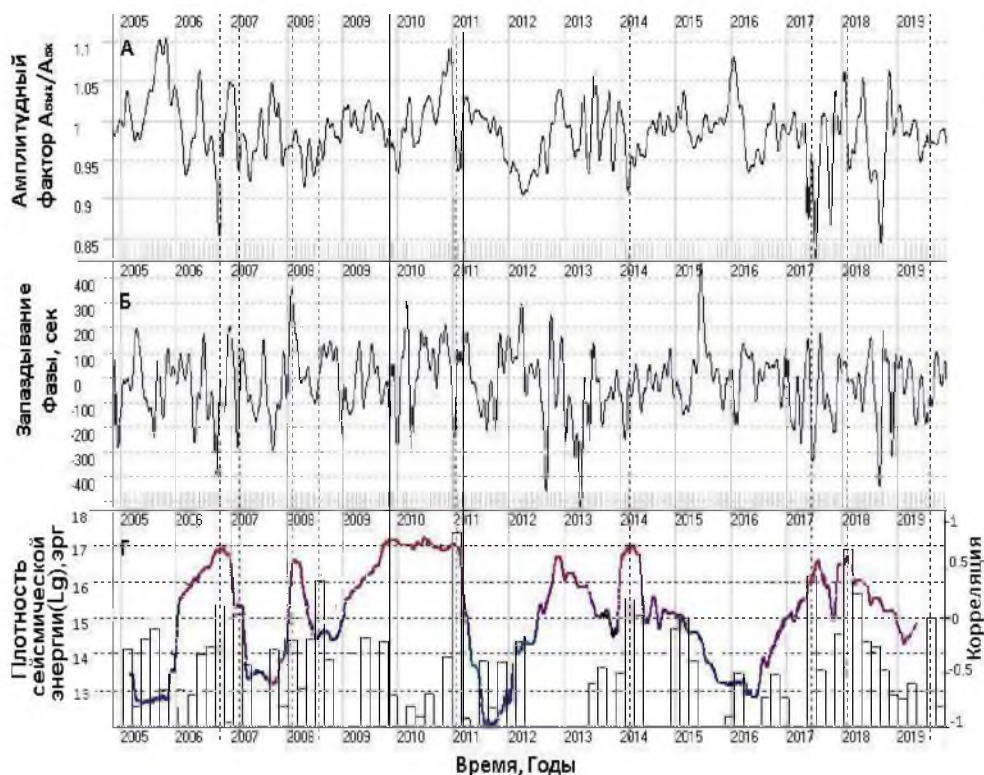


Рис. 2. Временные зависимости амплитудного (верхний график) и фазового (средний график) параметров волны M_2 . На нижнем графике представлены изменения во времени значений корреляции амплитудного и фазового параметров на фоне гистограммы выделившейся сейсмической энергии землетрясений (в шестидесятисуточных интервалах), эпицентры которых находились на удалении не более 55 км от точки расположения лазерного деформографа

Соответственно, из временного ряда фазового параметра также вырезалось трёхсуточное окно и с пошаговым сдвигом сначала вправо на 30 дней, а затем влево на 30 дней, определялось максимальное значение коэффициента корреляции между этими окнами. Максимальное значение внутри интервала ± 30 дней принималось за значение коэффициента корреляции на данном интервале, в противном случае он приравнивался нулю. Такой же алгоритм был использован и для поиска отрицательных значений корреляционной функции. Полученные значения были определены в диапазоне от -0.89 до +0.86. В результате, значения корреляции и антикорреляции, дополняя друг друга, позволили построить практически непрерывную кривую.

Заметное уменьшение значений корреляции амплитудного и фазового параметров в периоды высокой сейсмической активности наблюдается в 2006, 2007, 2008 (первая половина), 2011 и 2014 гг. Рассмотрим более подробно начало 2011 г., поскольку в этот период, впервые за 16 лет непрерывного мониторинга деформации литосферы в Приэльбрусье, удалось наблюдать процесс формирования и развития очага в верховьях р. Малка, результатом которого стали два сейсмических события 04.11.2011 г. с интервалом в 9 мин. и магнитудами ~ 4.0 , произошедшие, на удалении не более 10 км друг от друга, при этом суммарная выделившаяся энергия составила $\sim 10^{11}$ Дж.

Если рассматривать кривую корреляции (рис. 2) в качестве индикатора накопления тектонических напряжений в исследуемой области, то можно предположить, что очаг землетрясения формировался в течении как минимум полутора лет, со второй половины 2009 года и в относительно спокойной сейсмической обстановке на протяжении 2010 года. Этот фрагмент выделен на рис. 2 вертикальными линиями. На рис. 3 более детально показан ход изменений амплитудного и фазового параметров с конца 2009 до начала 2011 года, амплитуды вариаций нормированы.



Рис. 3. Совмещённые нормированные графики амплитудного ($Re(W)$ – серая линия) и фазового ($Im(W)$ – чёрная линия) параметров за период с ноября 2009 по февраль 2011 г. Вертикальными линиями отмечены – начало 2010 и 2011 гг. и момент землетрясения 04.11.2011 г.

Первое, что необходимо отметить: по мере приближения сейсмического события наблюдается устойчивое соответствие вариаций значений двух анализируемых параметров.

Второе обстоятельство касается гистограммы и связано с размером области, в которой учитываются сейсмические события. Упомянутый ранее радиус в 55 км от точки наблюдения был определён эмпирически, путём постепенного расширения зоны, которая «контролируется» деформационным приливным методом.

Наконец, по данным регистрации относительной деформации можно заключить, что относительно очага событий 2011 г. лазерный интерферометр-деформограф находился в зоне растяжения.

Таким образом, для качественной оценки уровня накопленных тектонических напряжений в выделенном объёме слоистой геофизической среды посредством оценки лунно-солнечного приливного отклика необходимо использовать только главную лунную волну M_2 , выделяя последнюю в достаточно узком частотном диапазоне. Временные вариации параметров этой волны следует вычислять относительно теоретического значения соответствующей волны, прошедшей идентичную математическую обработку при выделении её из общего теоретического прилива.

Представляется недостаточным для анализа приливного отклика делать оценку вариации лишь амплитудного параметра, поскольку фазовый параметр приливной волны несет не менее важную информацию об изменениях

напряженно-деформированного состояния слоисто-неоднородных структур земной коры.

Предлагаемое направление дальнейших исследований не рассматривает главной целью поиск подходов к решению проблемы краткосрочного прогноза землетрясений. В качестве основной задачи, помимо представления результатов анализа многолетних обсерваторских наблюдений литосферных деформаций, предполагалось на основе исследования приливного отклика геофизической среды продемонстрировать возможность наблюдения процессов формирования и развития очаговых структур региональных сейсмических событий.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-05-00341. Авторы благодарят сотрудников обсерватории, инженеров Перелыгина Н.А. и Гирина С.В. за техническую поддержку работы Баксанского лазерного интерферометра.

Литературы

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1979. 765 с.
2. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.
3. Жарков В.Н., Паньков В.Л. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1968. 326 с.
4. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 483 с.
5. Миллюков В.К., Мясников А.В. Долговременные наблюдения литосферных деформаций Баксанским лазерным интерферометром в условиях подземного размещения // Измерительная техника. 2012а. № 1. С. 32–35.
6. Миллюков В.К., Мясников А.В. Влияние термоупругих и барических процессов на измерения литосферных деформаций Баксанским лазерным интерферометром // Измерительная техника. 2012б. № 1. С. 44–47.
7. Миллюков В.К., Клячко Б.С., Мясников А.В., Стриганов П.С., Янин А.Ф., Власов А.Н. Лазерный интерферометр–деформограф для мониторинга движений земной коры // Приборы и техника эксперимента. 2005. № 6. С. 87–103.
8. Миллюков В.К., Копяев А.В., Лагуткина А.В., Миронов А.П., Мясников А.В. Наблюдения приливных деформаций земной коры в Приэльбрусье // Физика Земли. 2007. № 11. С. 21–29.
9. Миллюков В.К., Кравчук В.К., Миронов А.П., Латынина Л.А. Деформационные процессы в литосфере, связанные с неравномерностью вращения Земли // Физика Земли. 2011. № 3. С. 96–109.
10. Миллюков В.К., Амурсо А., Кресчетини Л., Миронов А.П., Мясников А.В., Лагуткина А.В. Океаническая нагрузка и локальные возмущения на деформационных станциях Баксан (Россия) и Гран-Сассо (Италия) // Физика Земли. 2019. № 3. С. 1–10.
11. Миллюков В.К., Амурсо А., Кресчетини Л., Миронов А.П., Мясников А.В., Лагуткина А.В. Оценка параметров резонанса жидкого ядра Земли на основе многолетних наблюдений деформаций литосферы в суточном приливном диапазоне // Физика Земли. 2018. № 2. С. 151–163.
12. Молоденский М.С., Молоденский С.М. Сравнение временных изменений приливного отклика среды в сейсмически активных и неактивных регионах // Физика Земли. 2015, №1, С. 63-72
13. Молоденский С.М. Влияние рельефа плоской области на приливные наклоны и деформации: эффекты второго порядка // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1986. № 8. С. 3-14.
14. Мясников А.В. О проблеме учета влияния метеорологических факторов на большие прецизионные системы на примере Баксанского большебазового лазерного интерферометра // Сейсмические приборы. 2019. Т. 55, № 2. С. 27-38.

15. *Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В. и др. Геодинамика, сейсмотектоника и вулканизм Северного Кавказа // Под ред. акад. Лаврова Н.П. М.: Изд-во ИФЗ РАН 2001. 333с*
16. *Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе в голоцене // Физика Земли. 2005, №3. С. 33-46.*
17. *Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. С. 19-40.*
18. *Beaumont C., Berger J. Earthquake prediction: modification of the Earth tide tilts and strains by dilatancy //Geophys. J.R. Astron. Soc. 1974. V. 39. P. 111-121.*
19. *Dziewonski A.M., Anderson D.L. Preliminary reference Earth model // Phys. Earth Plan. Int. 1981. V. 25. P. 297-356.*
20. *Wenzel H.G. The nanogal software: earth tide data processing package ETERNA 3.30 // Bull. Inf., Marées Terrestres. 1996. N 124. P. 9425-9439.*

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМОСТАНЦИЙ КРЫМА «ТАРХАНКУТ» И «ДОНУЗЛАВ» В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© Б.Г. Пустовитенко, Э.Э. Эреджепов

*ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства»,
Симферополь*

Аннотация. Записи новых цифровых автономных сейсмических станций «Тарханкут» и «Донузлав», открытых в северо-западной части Крыма, с 2018 г. начали использоваться для изучения очаговых параметров местных землетрясений. В данной работе представлены первые результаты анализа станционных значений динамических параметров очагов 13 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_p=7-11$ за период 2018-2021гг. Показано, что станционные значения сейсмического момента и радиуса круговой дислокации как по данным станции «Тарханкут», так и «Донузлав» соответствуют средним значениям по группе станций и отвечают долговременным корреляционным зависимостям данных параметров от энергетического уровня землетрясений. Это создает перспективы массового использования записей этих станций в задачах исследования очаговых параметров, особенно для слабых локальных землетрясений западной части Крыма.

Ключевые слова: амплитудный спектр, очаг землетрясения, сейсмический момент, радиус круговой дислокации, корреляционные соотношения.

Введение

Исторически так сложилось, что основная часть региональных сейсмических станций Крыма расположена вдоль южного и восточного побережья для изучения сейсмического потенциала и активности основных сейсмогенерирующих структур шельфа и континентального склона Черного моря, создающих высокую сейсмическую опасность для всей территории полуострова [4]. Записи этих же станций, начиная с 1955г по настоящее время, используются для изучения спектральных и очаговых параметров местных землетрясений [8]. Полученные общие спектральные свойства очагов и их станционные особенности легли в основу разработки методики моделирования сейсмических воздействий с учетом региональных условий [5, 7].

В последние годы возникла необходимость и появилась возможность открыть две новые сейсмостанции «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ2) в северо-западной части Крыма для контроля за сейсмической активностью местных сеймотектонических структур вблизи объекта повышенной ответственности, крупного подземного хранилища природного газа (ПХГ). Геологические и инженерно-геологические условия расположения станций, а также предварительная оценка чувствительности и эффективности их работы даны в статье [6]. Начиная с 2018г. записи станций «Тарханкут» и «Донузлав-2» начали активно использоваться не только для определения гипоцентров локальных и местных землетрясений всего Крымско-Черноморского региона, но и для определения их очаговых параметров по спектрам объемных сейсмических волн [10]. К сожалению, в конце 2022года регистрация на станции

«Тарханкут» была приостановлена по организационно-техническим причинам и до сих пор не восстановлена.

В данной статье авторами поставлена задача провести анализ полученных по новым станциям результатов по оценке очаговых параметров местных землетрясений в сравнении с долговременными закономерностями, оценить перспективность и необходимость их дальнейшего использования для решения научных и научно-прикладных задач региональной сейсмологии.

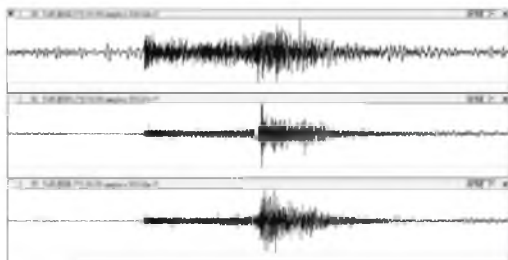
Исходные данные и использованная методика

Для восстановления очаговых параметров использовано 47 амплитудных спектров продольных P и поперечных S - волн 13 местных землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_{\Pi} = 7 \div 11$, зарегистрированных сейсмическими станциями «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ2) за период 2018–2021 гг. Землетрясения произошли в разных частях Крымско-Черноморского региона на глубинах $h = 6 \div 42$ км. Эпицентральные расстояния до станций регистрации составили от 28 км до 398 км.

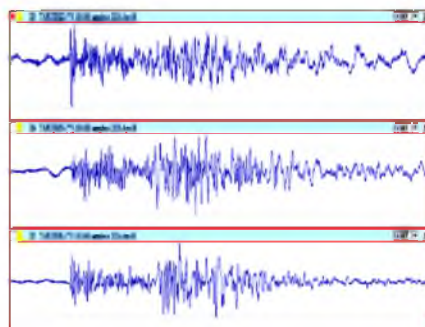
Станции «Тарханкут» и «Донузлав-2» оборудованы современной широкополосной аппаратурой ЦРСС «Байкал-8», позволяющей регистрировать землетрясения в широком энергетическом диапазоне. По частотному и динамическому диапазону амплитудно-частотные характеристики на станциях TARU и DNZ2 близки между собой и соответствуют таковым по ЕН-каналам на других региональных станциях Крыма [2], с которыми проведено сравнение.

Методика и алгоритм расчета динамических параметров очагов землетрясений по амплитудным спектрам подробно изложены в работах [1, 8].

Главным критерием оценки качества получаемых результатов, прежде всего, является выбор записей землетрясений, отвечающих условиям четкого выделения полезного (сейсмического) сигнала на фоне помех, не требующих сложной фильтрации, которая может исказить частотный состав входящих (исходных) сейсмических колебаний. Примеры отобранных для анализа сейсмограмм на станциях TARU и DNZ2 приведены на рис 1.



a



6

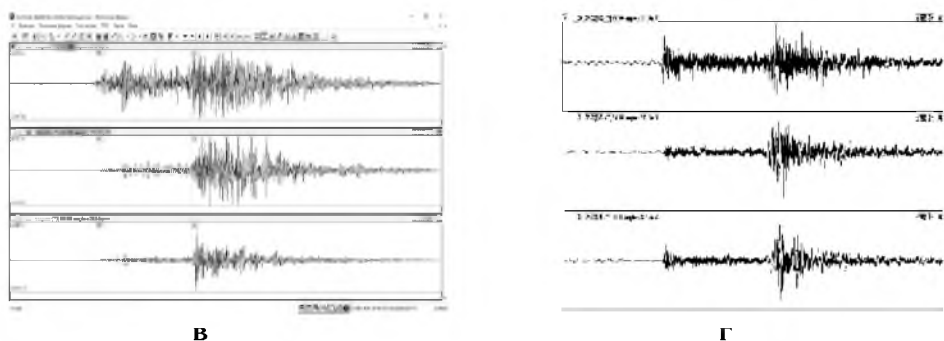


Рис.1. Примеры записей землетрясений на с/ст. TARU: 15.03 2020, $K_{\Pi} = 11.3$, $\Delta = 372$ км (а) и 08.04. 2020, $K_{\Pi}=7.9$, $\Delta = 30$ км (б); на с/ст. DNZ2: 09.09.2020, $K_{\Pi}=10.8$, $\Delta = 227$ км (в) и 30.01.2021, $K_{\Pi} = 9.4$, $\Delta=134$ км (г)

Для поперечных волн (S) спектры рассчитывались по двум горизонтальным составляющим (N-S) и (E-W) и спектральная плотность вычислялась, как полный вектор колебаний, а для продольных (P) – по вертикальной компоненте (Z). Спектры рассчитаны стандартным методом быстрого преобразования Фурье.

Интерпретация амплитудных спектров выполнена в рамках теоретической дислокационной модели Бруна (ω^{-2}) [11], массово применяемой в Крыму для восстановления очаговых параметров. Согласно модели (ω^{-2}), амплитудный спектр сейсмических колебаний почвы характеризуется основными параметрами: спектральной плотностью $\Omega_0(x, f)$ в длиннопериодной части спектра (при $f \rightarrow 0$) и угловой частотой f_0 (ω_0), при которой начинается спад низкочастотной части спектра. При этом спад спектральных амплитуд в сторону высоких частот должен происходить по квадратичному закону. Полученные спектры объемных волн по записям станций «Тарханкут» и «Донузлав» (рис.2) надежно аппроксимированы в рамках выбранной теоретической модели.

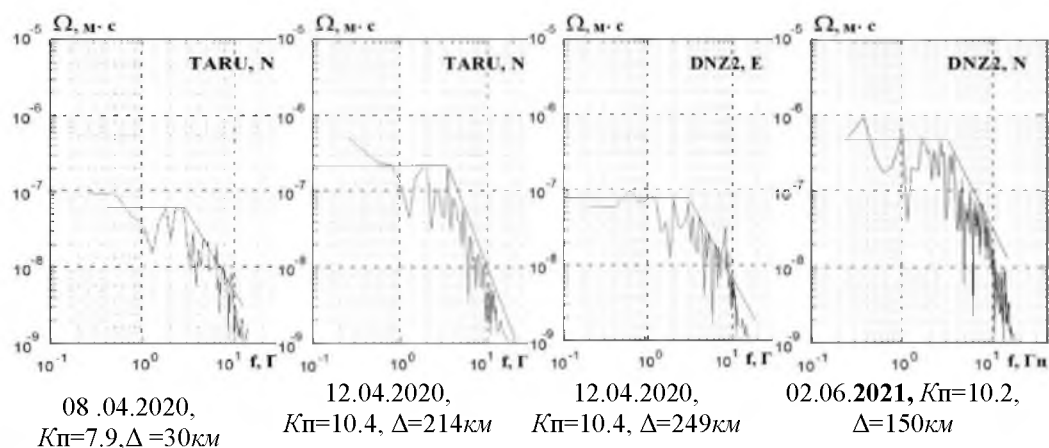


Рис. 2. Примеры амплитудных спектров землетрясений по записям станций TARU и DNZ2. Прямые линии – аппроксимация спектров в рамках теоретической модели (ω^{-2})

Расчет динамических параметров очага выполнен в соответствии с моделью (ω^{-2}) по параметрам амплитудных спектров: спектральной плотности Ω_0 , которая пропорциональна скалярному сейсмическому моменту M_0 и угловой частоте f_0 , прямо связанной с размером круговой дислокации в очаге r_0 [11]. Далее по значениям M_0 и r_0 с использованием формул из работ [1, 3, 8, 11,12] определены также другие очаговые параметры: сброшенное напряжение $\Delta\sigma$, величина деформации сдвига ϵ , кажущееся напряжение $\eta\sigma$, величина радиационного трения σ_r , сейсмическая энергия E_s , средняя подвижка по разрыву $\bar{U}$ (или величина дислокации), энергия образования дислокации в очаге E_U и моментная магнитуда M_w . Необходимые для расчетов характеристики, такие, как V – скорость распространения объемных волн; ρ – плотность пород в окрестности очага, частотная характеристика среды под станцией $C(\omega)$, поправка за неупругое затухание в мантии $Sm(f)$ – подбирались по региональным данным, исходя из глубины очага и расстояния до станции регистрации. Для наиболее сильных землетрясений с известным фокальным механизмом при оценке сейсмического момента M_0 учитывались также поправки $R_{\text{эф}}$ за направленность излучения из очага на станцию регистрации.

Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов по очаговым параметрам с использованием записей новых станций «Тарханкут» и «Донузлав-2» показал, что в целом все индивидуальные станционные определения хорошо согласуются со средними их значениями по группе стационарных станций Крыма. Так, например, отклонения радиуса дислокации $\Delta r_0 = r_{0 \text{ ст.}} - r_{0 \text{ ср.}}$, где $r_{0 \text{ ст.}}$ – станционные значения, а $r_{0 \text{ ср.}}$ – среднее по нескольким станциям и типам волн, варьируют в пределах от $\pm 0.01 \text{ км}$ до $\pm 0.15 \text{ км}$ с преобладанием (до 75%) $\Delta r_0 = \pm (0.01 \div 0.05) \text{ км}$ (рис.3 а), а моментная магнитуда M_w , вычисляемая по сейсмическому моменту M_0 , в основном (до 60%) с погрешностью до $\Delta M_w = \pm 0.1$ совпадает со средним ее значением (рис.3б), что для оценки магнитуд землетрясений является очень высокой точностью. Все наибольшие отклонения с $\Delta M_w \geq 0.2$ отмечены для землетрясений 2021 года преимущественно по записям поперечных волн.

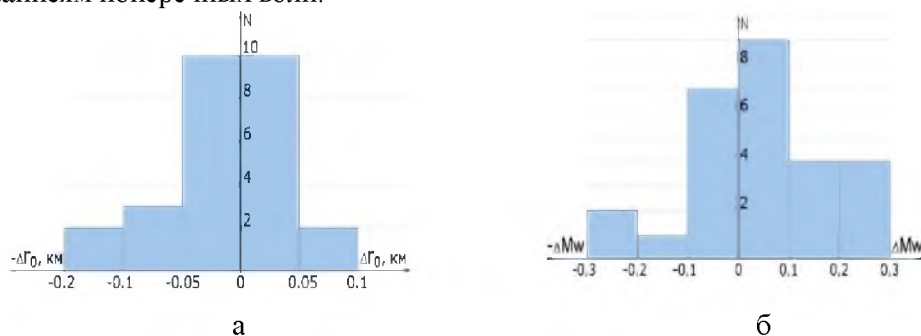


Рис.3. Гистограммы отклонений станционных определений: Δr_0 (а) и ΔM_w (б) от их средних значений по группе станций и типов волн

Полученные гистограммы (рис.3) близки к статистическому закону нормального распределения случайных отклонений с наибольшей вероятностью

попадания в ограниченный интервал погрешностей. Систематических отклонений для корректировки станционных значений при этом не выявлено.

Проведем также сравнение полученных независимых станционных определений очаговых параметров по станциям TARU и DNZ2 со средними долговременными величинами по группе стационарных станций Крыма за период аналоговой регистрации с 1955 по 2006гг и время цифровой регистрации с 2007 по 2021гг. Анализ выполнен только для сейсмического момента M_0 и радиуса круговой дислокации r_0 (Рис. 4), поскольку эти параметры определяются непосредственно по спектрам записей сейсмических колебаний на станциях регистрации, а остальные – вычисляются по их значениям. Для сравнения использованы зависимости $M_0(K_{\Pi})$ и $r_0(K_{\Pi})$ из [9]:

$$\lg M_0 = 0.645(\pm 0.027) \cdot K_{\Pi} + 8.142(\pm 0.271), \quad \rho = 0.99, \quad (1)$$

$$\lg r_0 = 0.112(\pm 0.011) \cdot K_{\Pi} - 1.293(\pm 0.107), \quad \rho = 0.93, \quad (2)$$

где ρ – коэффициент корреляции.

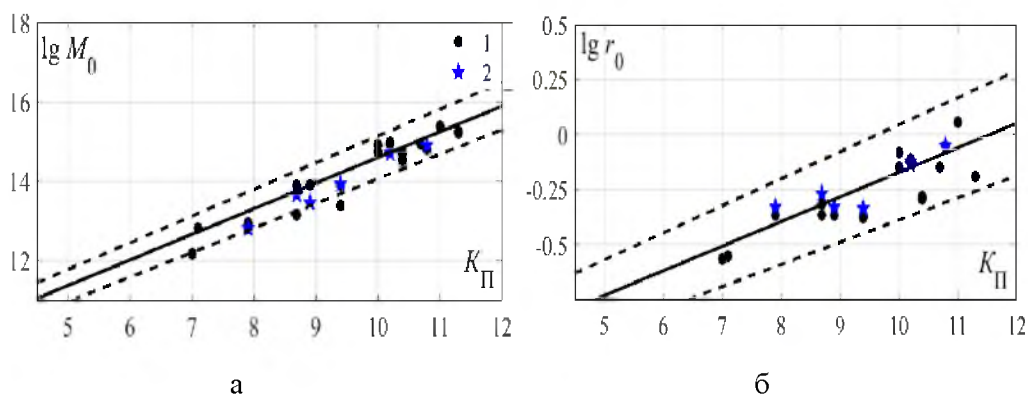


Рис. 4. Сравнение очаговых параметров по данным станций TARU и DNZ2: **а** – сейсмического момента M_0 , **б** – радиуса круговой дислокации r_0 , с долговременными зависимостями $M_0(K_{\Pi})$, $r_0(K_{\Pi})$. 1- значения по S -волнам, 2-по P -волнам. Пунктир – пределы погрешностей $M_0(K_{\Pi})$, $r_0(K_{\Pi})$.

Из рисунка 4 видно, что большинство станционных значений M_0 и r_0 , как по записям S , так и по P -волнам на станциях TARU и DNZ-2 находятся в пределах доверительных областей долговременных зависимостей $M_0(K_{\Pi})$, $r_0(K_{\Pi})$.

Поскольку данное сравнение (рис.4) проведено с зависимостями (1-2) за аналоговый период наблюдений, а станционные значения по TARU и DNZ2 получены цифровым способом регистрации, была поставлена задача сопоставить результаты по TARU и DNZ2 также со средними значениями по группе стационарных станций Крыма за цифровой период 2007-2021гг. Для этого методом ортогональной регрессии с использованием 166 пар сравниваемых значений рассчитаны уравнения (3, 4) по данным группы цифровых станций:

$$\text{Lg } M_0 = 0.611(\pm 0.027) \cdot K_{\Pi} + 8.453(\pm 0.266), \quad \rho = 0.99 \quad (3)$$

$$\text{Lg } r_0 = 0.092(\pm 0.004) \cdot K_{\Pi} - 1.086(\pm 0.038), \quad \rho = 0.98 \quad (4)$$

Полученные уравнения (3) и (4) с точностью до погрешностей определения величин идентичны зависимостям (1) и (2). Соответственно, графическое сравнение станционных значений M_0 и r_0 относительно $M_0(K_{\Pi})$, $r_0(K_{\Pi})$ по уравнениям (3-4) получилось аналогичным рисунку 4, потому здесь мы его не приводим.

Следует отметить, что станционные значения r_0 равномерно распределены относительно обеих регрессий $r_0(K_{\Pi})$, а для M_0 – несколько значений расположены вблизи нижней границы доверительного интервала. Эти станционные отклонения естественны, т.к. невозможно точно учесть не только многообразие физических свойств среды на пути распространения сейсмических колебаний и в верхней толще пород под станциями регистрации, но также направленности излучения без знания механизма очагов для большинства исследованных землетрясений. В целом устойчивых систематических станционных поправок для корректировки определяемых величин по обеим станциям не установлено.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что индивидуальные станционные значения спектральных и динамических параметров очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона, восстановленные по записям волновых форм на автономных станциях TARU и DNZ2 хорошо коррелируют со средними значениями по группе стационарных станций Крыма. Систематических станционных отклонений за счет особенностей строения среды под станциями регистрации не установлено.

Полученные в достаточно широком энергетическом диапазоне землетрясений станционные определения динамических параметров по записям TARU и DNZ2 также соответствуют долговременным зависимостям очаговых параметров от энергетического уровня землетрясений, как за аналоговый период наблюдений, так и за цифровой. Это свидетельствует о подобии интегральных волновых характеристик зарегистрированных землетрясений на новых станциях и создает перспективы для их дальнейшего широкого использования в изучении очаговых параметров.

Соответствие данных по станциям TARU и DNZ2 средним значениям по группе станций позволит надежно восстанавливать очаговые параметры локальных землетрясений северо-западной части Крыма даже с привлечением записей только этих ближайших станций.

Кроме того, подобие спектральных и динамических параметров очагов землетрясений, восстановленных по станциям «Донузлав» и «Тарханкут» средним долговременным по группе станций может быть положено в основу моделирования сильных сейсмических воздействий на объекты нового строительства в северо-западной части Крыма от землетрясений, генерируемых ближайшими местными и локальными сейсмогенерирующими структурами. Отметим, что в соответствии с методикой [5,7] при моделировании сейсмических воздействий необходимо использовать записи только на станциях, расположенных вблизи объектов строительства.

В связи с этим крайне необходимо срочно восстановить прерванную в 2022г высокочувствительную регистрацию землетрясений, в том числе локальных, на станции «Тарханкут», записи сейсмических волн на которой

могут быть эффективно использоваться в широком круге научных и научно-прикладных задач региональной сейсмологии.

Литература

1. Аптекман Ж.Я., Белафина Ю.Ф., Захарова А.И. и др. Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. № 2. 1989. С. 66–79.
2. Калинин И. В., Свидлова В. А., Бондарь М. Н. Сейсмичность Крыма в 2018 году // Ученые записки Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Том 5(71). №4. С. 7–75.
3. Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 179с
4. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофизический журнал, 1999, № 6. С.3–15.
5. Пустовитенко Б.Г. , Кульчицкий В.Е. , Калинин И.В. и др. Методология и методические основы моделирования сейсмических воздействий на высотные здания в Крыму //Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових прац (будівництво) -Вип.73.- Київ: ДП НДІБК, 2010. С.316–323.
6. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Сухорученко С.К., Клянчин А.И. Организация и первые результаты сейсмических наблюдений в северо-западной части территории Крыма // Ученые записки Крымского Федерального Университета им В.И. Вернадского География. Геология. Том 6(72), №4, 2020. С. 141–165
7. Пустовитенко Б.Г., Мерзгей Е.А. К прогнозу ожидаемых сейсмических воздействий от сильных землетрясений Крыма //Доповіді Національної Академії Наук України, №5, 2014. С.102–109.
8. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова думка, 1990. 249 с.
9. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Капитанова С.А., Поречнова Е.И. Пространственные особенности очаговых параметров землетрясений Крыма // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 238–242.
10. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э. Бондарь М.Н. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма 2018года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им В.И. Вернадского География. Геология. Том 5(71), №4, 2019. С. 77–96.
11. Brune I. V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. V. 75, № 26, 1970. pp. 4997–5009.
12. Hanks T.C., Kanamori H. A. Moment magnitude scale // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. №35, pp. 2348–2350.

О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНАХ В 2022 ГОДУ

© А.А. Саяпина¹, С.С. Багаева¹, И.Ю. Дмитриева¹,
Т.В. Чивиева¹, И.А. Сдельникова², С.В. Горожанцев¹

¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, Владикавказ

²ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск

Аннотация. Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН осуществляет непрерывный сейсмологический и геодинамический мониторинг Республики Северная Осетия-Алания и прилегающих территорий центральной части Северного Кавказа. В работе приводятся основные сведения об аппаратуре и местах установки сейсмических и геодинамических станций, отмечаются регистрационные возможности сети. В 2022 г. сетью сейсмических наблюдений зарегистрировано 1754 землетрясения с $KP=3.1-12.1$. Рассмотрены распределения выделившейся сейсмической энергии и произошедших сейсмических событий по месяцам. Приведена карта эпицентров зарегистрированных сейсмических событий и их распределение по глубинам. Для трех наиболее сильных землетрясений определены механизмы очагов и приведены их стереограммы. Выполнялся сбор, обработка и хранение ГНСС-данных, приведены результаты работы за период, охватывающий более 10 лет.

Ключевые слова: землетрясение, Северный Кавказ, сейсмологическая сеть, механизм очага, взброс, энергия, интенсивность, геодинамика

Введение

Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН) исследует сейсмические процессы на глобальном, федеральном и региональном уровнях, а также связанные с проявлениями сейсмичности вариации геофизических и геодинамических процессов. В его составе функционируют 11 филиалов, расположенных в сейсмоопасных регионах РФ. Северный Кавказ является наиболее сейсмоактивным в европейской части России с возможностью происшествя на большей части его территорий сильных землетрясений с высокой магнитудой. Сейсмическая сеть на Северном Кавказе включает более 60-ти сейсмических станций, находящихся в ведении четырех сейсмических сетей: NOGSR, OBGSR, KMGSР и DAGSR [3]. Все станции оснащены цифровым оборудованием и передают данные в региональные информационно-обрабатывающие центры (РИОЦ) в режиме близком к реальному времени для последующей обработки и доступны для всех участников наблюдений в регионе.

Основная нагрузка при осуществлении непрерывного сейсмологического и геодинамического мониторинга центральной части Северного Кавказа лежит на Северо-Осетинском филиале ФИЦ ЕГС РАН. Зона ответственности филиала включает следующие республики РФ: Северную Осетию-Аланию, Кабардино-Балкарию, Ингушетию, Чечню, частично Карачаево-Черкессию и Дагестан, юг Ставропольского края, а также приграничную полосу Грузии и Южную Осетию [10].

Данная работа представляет результаты и анализ непрерывных сейсмических и геодинамических наблюдений СОФ ФИЦ ЕГС РАН в 2022 г.

Краткие аппаратурно-методические сведения

Сеть сейсмических наблюдений Северо-Осетинского филиала NOGSR [16] включает 13 сейсмических станций (табл. 1), размещенных на территории Республики Северная Осетия-Алания. Для надежной локации гипоцентров землетрясений в зоне ответственности филиала, выделенной прямоугольником на рисунке 1, в обработку присоединяются данные станций сейсмических сетей DAGSR Дагестанского филиала (на территории Дагестана) и OBGSR Центрального отделения ФИЦ ЕГС РАН (в Кабардино-Балкарии, Чечне, Карачаево-Черкесии, Ставропольском крае).

Таблица 1
Сведения о сейсмических станциях СОФ ФИЦ ЕГС РАН (сеть NOGSR)

№	Сейсмическая станция		Координаты и высота над уровнем моря			Тип оборудования
	название	код	φ, °N	λ, °E	h, м	
1	Ардон	ARNR	43.180	44.284	420	CM-3KB+ UGRA
2	Батакоюрт	BTKR	43.372	44.542	595	CM-3KB+SDAS
3	Владикавказ	VLKR	43.047	44.677	680	CM-3OC+UGRA
4	Дигорское ущелье	DIGR	42.899	43.581	1903	TrilliumCompactTC12 0-SV1+CENTAUR
5	Комгарон	KMG R	43.057	44.866	739	CM-3KB+SDAS
6	Кора	KORR	43.086	44.068	618	CM-3KB+UGRA
7	Лац	LACR	42.827	44.296	1276	CM-3KB+UGRA
8	Лескен	LSNR	43.268	43.804	721	CM-3KB+UGRA
9	Притеречная	PRTR	43.752	44.282	136	CM-3KB+SDAS
10	Ставл-Дурт	STDR	43.369	44.063	352	CM-3KB+UGRA
11	Терская	TRKR	43.723	44.732	140	CM-3KB+SDAS
12	Майрамадаг	MRM R	43.014	44.477	632	CM-3KB+SDAS
13	Попов хутор	PXTR	42.966	44.618	680	CMG-3ESPDE

Таблица 2

Сведения о ГНСС-станциях Северо-Кавказского геодинамического полигона

Название пункта	Координаты	Высота	Тип оборудования
Владикавказ (VLKZ)	43°03'N 44°41'E	679.52	Astech Z12+Geodetic
Лац (LATZ)	42°50'N 44°18'E	1275.52	Astech Z12+Geodetic
Притеречный (PRTN)	43°45'N 44°17'E	135.94	Astech Z12+Geodetic
Ардон (ARD2)	43°10'N 44°17'E	429	Javad Sigma-3N+ Javad RingAnt-G3T
Камата (KAMT)	43°47'N 42°57'E	1426	Astech Z12+ Javad RingAnt-G3T

Обработка ГНСС-измерений осуществляется сектором Геодинамического мониторинга ФИЦ ЕГС РАН, с использованием пакета программ GAMIT/GLOBK разработки Массачусетского технологического института [13, 14]. По получаемым результатам выполняются оценки ежесуточных положений станций, которые комбинируются в продолжительные временные ряды для изучения современных движений и деформаций исследуемого района.

Сейсмичность территории и результаты исследований

В 2022 г. зарегистрировано 1473 сейсмических событий с $K_p=3.1-12.1$ в пределах границ ответственности (42.00–44.5°N, 42.00–46.5°E) и 281 – за её пределами (рис. 2). Основная масса очагов землетрясений определена на территориях Чеченской Республики, Дагестана и Грузии. Большинство гипоцентров зарегистрированных землетрясений залегают на глубинах $h \leq 25$ км. Как и в прошлые годы [12], наблюдается пространственное распределение землетрясений с глубиной залегания гипоцентров $70 \leq h \leq 135$ км, относящихся к Грозненской сейсмоактивной зоне.

Выделившаяся суммарная сейсмическая энергия на контролируемой территории в 2022 г. составила $\sum E = 2.496 \cdot 10^{12}$ Дж (рис. 3), что в 1.8 раза ниже уровня энергии, выделившейся в 2021 г. ($\sum E = 4.399 \cdot 10^{12}$ Дж). Как видно, максимумы выделившейся сейсмической энергии приходятся на февраль и март 2022 г., что обусловлено двумя сильными землетрясениями с $K_p=11.8$ и $K_p=12.1$, произошедшими на территории Чеченской Республики. Количественно землетрясения распределились по месяцам относительно равномерно.

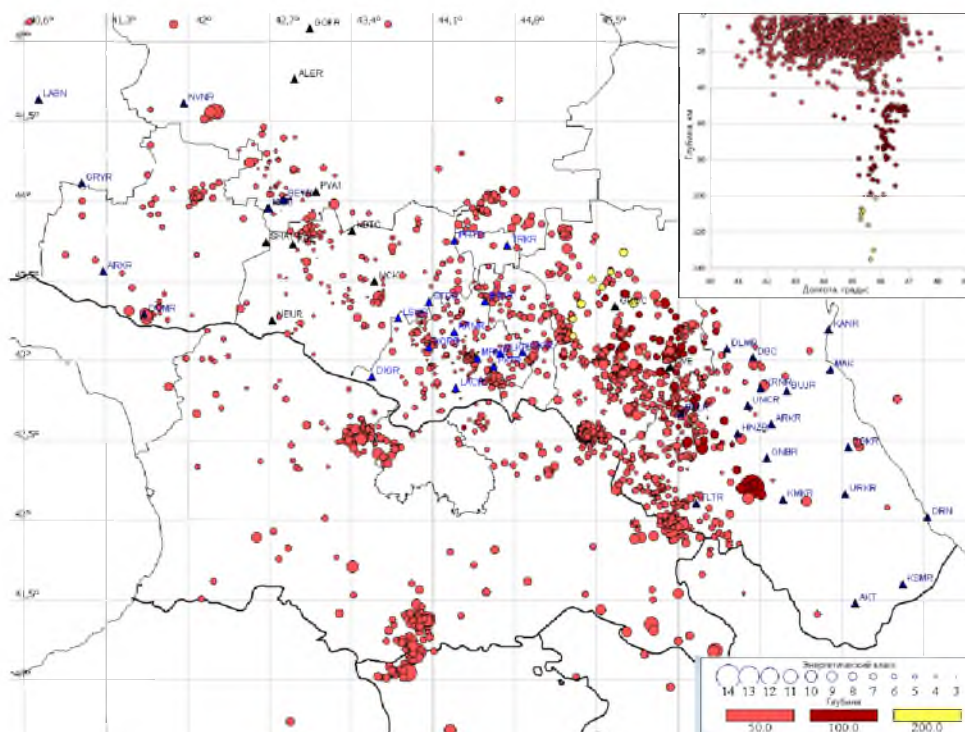


Рис. 2. Распределение эпицентров землетрясений, зарегистрированных в 2022 г.

Значительно большее число землетрясений в марте, по сравнению с другими месяцами, наблюдалось за счёт форшоковой и афтершоковой активности в очаговой зоне землетрясения с $K_p=12.1$, произошедшего на территории Чеченской Республики 14 марта 2022 г. (рис. 3)

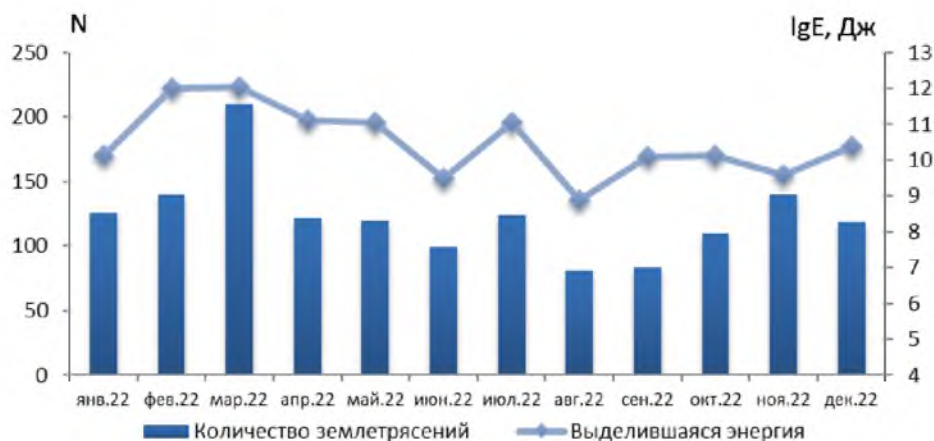


Рис. 3. Распределение числа землетрясений и выделившейся энергии по месяцам

В Северной Осетии зарегистрировано 216 землетрясений с $K_p=3.5-10$, из которых 96% зарегистрированных событий слабые – с $K_p \leq 7$. На протяжении года слабая сейсмичность имела в основном рассеянный характер. Наиболее значимое землетрясение в республике произошло 18 июля 2022 г. в 10^h33^m UTC с $K_p=10.0$, сопровождавшееся небольшой форшоковой последовательностью, состоящей из семи землетрясений с $K_p=4.4-6.9$. Эпицентр землетрясения

находился в 19 км к востоку от г. Владикавказа. С 31 октября по 4 ноября вблизи Владикавказской западной зоны ВОЗ [9] был зафиксирован рой из 50 землетрясений с $K_p=3.5-7.6$, максимально реализовавшийся в первые 10 часов.

На территории **Ингушетии** зарегистрировано 66 землетрясений в пределах энергетических классов $K_p=4.8-8.4$. Слабая сейсмичность регистрировалась в основном вдоль Цхинвало-Казбекского разлома и диагонального к нему отклонения [11].

Наиболее высокий уровень сейсмичности по количеству зарегистрированных землетрясений и по выделившейся энергии (86 % от величины суммарной энергии, выделившейся на контролируемой территории) наблюдался на территории **Чеченской Республики**. В течение года здесь зарегистрировано 437 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_p=4.6-12.1$, с очагами в основном в земной коре, однако около 9 % зарегистрированных землетрясений имели промежуточные глубины $h=70-135$ км. За отчетный период в зоне ответственности произошли два значительных землетрясения, зарегистрированные на территории Чеченской Республики. Первое землетрясение с $K_p=11.8$ произошло 9 февраля 2022 г. в 12^h26^m UTC в Ачхой-Мартановском районе вблизи границы с Ингушетией. Оно ощущалось в Грозном и Махачкале с интенсивностью 3 балла. Очаг землетрясения приурочен к Чеченской синклинальной впадине Терско-Каспийского передового прогиба. Механизм очага этого землетрясения (табл. 3) рассчитан по знакам первых вступлений *P*-волн, выделенных на 38 региональных станциях, из них на 26 зарегистрированы волны сжатия, на 12 – волны разрежения. Согласно полученному решению, землетрясение произошло под действием сил растяжения, направленных меридионально с юга, тип движения по обеим плоскостям – сброс с незначительными сдвиговыми компонентами. Землетрясение сопровождалось небольшой серией афтершоков из 8 событий в пределах $K_p=6.6-8.4$.

Таблица 3

Параметры механизма очага землетрясения 09.02.2022 г.

Дата, дд.мм.ггг г	t0, чч.м м	h, к м	KP	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмм а
				T		N		P		NP1			NP2			
				P	AZ	P	AZ	P	AZ	ST	D	SLI	ST	D	SLI	
				L	M	L	M	L	M	K	P	P	K	P	P	
09.02.2022	12:26	17	11.8	27	188	9	283	62	29	105	72	-81	258	20	-116	

Второе и самое сильное событие с $K_p=12.1$ произошло 14 марта 2022 г. в 01^h15^m UTC. Ему предшествовала серия форшоков, состоящая из 66 сейсмических событий с $K_p=5.4-10.5$. За главным толчком последовала афтершоковая последовательность ($N=147$) с $K_p=4.7-10.7$. Область эпицентров этих землетрясений растянулась на сопредельный район Чеченской Республики и Грузии. Часть их реализовалась в Итум-Калинском районе республики, другая часть – в Грузии. Для главного толчка 14 марта построен механизм очага, тип движения в очаге определен как взброс (табл. 4). Движение произошло под действием сил сжатия, направленных субмеридионально.

Таблица 4

Параметры механизма очага землетрясения 14.03.2022 г.

Дата, дд.мм.ггг г	t0, чч:М м	h, к м	КР	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмм а
				T		N		P		NP1			NP2			
				P L	AZ M	P L	AZ M	P L	AZ M	ST K	D P	SLI P	ST K	D P	SLI P	
14.03.2022	01:15	10	12.1	77	84	9	311	9	219	137	54	101	299	37	76	

На территории **Кабардино-Балкарии** зарегистрировано 119 сейсмических событий с $K_p=3.1-10.9$. Самое сильное землетрясение с $K_p=10.9$ произошло 3 июля 2022 г. в 23^h45^m UTC в 10 км юго-восточнее г. Нальчика и ощущалось в нем с интенсивностью $I=3-4$ балла, в Кашхатау – 3–4 балла, в Каменке – 3 балла, в Тырныаузе – 3 балла, в Пятигорске и Кисловодске – 2–3 балла, в Железноводске – 2 балла. После него зафиксировано 5 афтершоков с $K_p=3.5-6.9$. Полученный механизм очага представлен взбросом с небольшой сдвиговой компонентой по обеим плоскостям (табл. 5). Землетрясение произошло под действием горизонтальных сил сжатия, направленных с юго-запада. Простирание одной из нодальных плоскостей совпадает с Нальчикским глубинным разломом северо-западного направления.

Таблица 5

Параметры механизма очага землетрясения 03.07.2022 г.

Дата, дд.мм.ггг г	t0, чч:М м	h, к м	КР	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмм а
				T		N		P		NP1			NP2			
				P L	AZ M	P L	AZ M	P L	AZ M	ST K	D P	SLI P	ST K	D P	SLI P	
03.07.2022	23:45	20	10. 9	78	93	9	319	9	228	146	54	101	308	37	76	

В **Карачаево-Черкесии** зарегистрировано 52 сейсмических события с $K_p=5.2-10.1$, из них 27 землетрясений локализованы вне зоны ответственности. Самое сильное событие в регионе зарегистрировано 13 ноября 2022 г. в 11^h20^m UTC в 4 км от курортного поселка Домбай. В пределах контролируемой филиалом части республики регистрировалась в основном слабая сейсмичность с $K_p \leq 7.7$.

В пределах **Ставропольского края** зарегистрировано 106 землетрясений с $K_p=3.2-10.7$, из них 9 реализовались вне зоны ответственности филиала. Основная часть сейсмических событий локализовалась на юге края, в основном вблизи границ Карачаево-Черкесии и Кабардино-Балкарии. Три сильных землетрясения с $K_p=10.3-10.7$ в крае произошли в июле 2022 г. за пределами контролируемой территории в южной части Ставропольского свода – крупной структуры Скифской платформы. Часть энергетически слабых землетрясений с $K_p=6.7-8.0$ образовали рой из 14 событий на юге края вблизи границ Северной Осетии-Алании.

На территории **Дагестана** было зарегистрировано 224 землетрясения с $K_p=3.1-9.7$. Вне границ ответственности филиала локализованы 70 событий с

$K_p=4.3-14.0$, вошедшие в каталог. Основным сейсмическим событием 2022 года стало сильное землетрясение с $K_p=14.0$ и максимальной интенсивностью сотрясений 5–6 баллов, произошедшее 8 декабря в 06^h42^m UTC и локализованное за пределами контролируемой территории.

На территории **Грузии** в пределах зоны ответственности филиала зарегистрировано 267 землетрясений с $K_p=3.1-10.6$, из них 119 событий реализовались в течение года в очаговой зоне упомянутого выше землетрясения 14 марта 2022 г. в 01^h15^m в Чеченской Республике. Также высокая плотность эпицентров традиционно имела место в приграничной к Северной Осетии-Алании с юго-востока территории Грузии в очаговой зоне Рача-Джавского землетрясения, которое произошло 29.04.1991 г. с $M=6.9$. В 2022 г. здесь зарегистрировано 59 событий с $K_p=5.1-10.1$. Самое сильное в данном районе землетрясение с $K_p=10.1$ произошло 9 апреля 2022 г. в 02^h30^m UTC. За пределами контролируемой территории можно отметить два сейсмически активных района. Небольшое скопление эпицентров землетрясений с $K_p=5.1-10.6$ наблюдалось на приграничной территории Грузии в Лагодехском муниципалитете, край Кахетия. Так же, как и в 2021 г., повышенная сейсмическая активность наблюдалась на юге Грузии. Самое сильное землетрясение с $K_p=11.7$ здесь и в регионе в целом произошло 11 июля в 05^h10^m UTC. Всего в каталог филиала вошло 131 землетрясение с $K_p=5.1-11.7$, локализованное вне зоны ответственности.

На территории **Южной Осетии** зарегистрировано 25 землетрясений с $K_p=4.9-10.4$. Основная часть эпицентров сосредоточена на северо-западе республики в приграничной полосе с Грузией. Наиболее значительным было землетрясение с $K_p=10.4$, произошедшее 5 сентября в 21^h34^m UTC в Джавском узле Они-Цхинвальской очаговой зоны [5].

Системой наблюдений также были зарегистрированы 30 землетрясений с $K_p=6.6-11.6$ на территории Армении, 8 сейсмических событий с $K_p=5.3-7.9$ – в Азербайджане, одно землетрясение с $K_p=7.2$ – в акватории Каспийского моря, два землетрясения с $K_p=7.1$ – в Краснодарском крае, одно землетрясение с $K_p=7.5$ – в Абхазии и два землетрясения в Турции.

Современная геодинамика в пределах Северо-Кавказского геодинамического полигона

В 2022 г. была выполнена обработка ГНСС-данных за период, охватывающий более 10 лет. На рисунке 4а приведен фрагмент записи временного ряда положения станции VLKZ (г. Владикавказ).

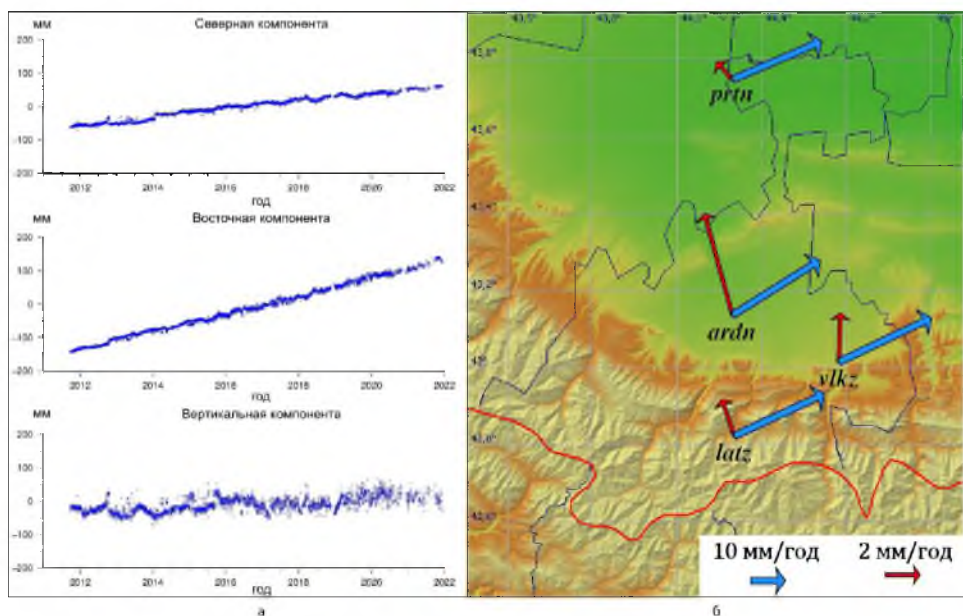


Рис. 4. Результаты обработки ГНСС-данных за период 2010-2022 гг.

Обозначения: а – временной ряд положения станции VLKZ (г. Владикавказ); б – многолетние скорости смещения постоянных ГНСС станций на территории РСО-А (синие стрелки – в общеземной системе отсчета, красные стрелки – относительно Евразийской плиты)

На основе временных рядов была выполнена оценка многолетних скоростей движения станций. В общеземной системе отсчета движение станций имеет северо-восточное направление и составляет 27-30 мм/год, что отражает как движение евразийской плиты в целом, так и локальные тектонические деформации. Относительно Евразийской плиты станции смещаются преимущественно в северном направлении со скоростями, составляющими несколько мм/год, испытывая воздействие дрейфа Аравийской плиты на Евразийскую (рис. 4б).

Многолетние измерения на постоянных станциях ГНСС позволяют оценить динамику земной коры на различных временных масштабах. Кроме того, в привязке к постоянным станциям уточняются положения пунктов сети геодезических периодически-повторных ГНСС измерений [8].

Заключение

Рассматривая сейсмический процесс на контролируемой территории в целом, можно отметить, что по сравнению с предыдущим годом наблюдается понижение энергетических показателей сейсмичности, в то время как количественные увеличились на 20% за счет землетрясений, произошедших на территориях Северной Осетии, Ингушетии, Кабардино-Балкарии, Ставропольского края и Грузии. В южной части Чечни произошла третья часть от всех зарегистрированных в 2022 г. сейсмических событий, а также два наиболее значительных землетрясения зоны ответственности.

В 2022 г. в штатном режиме проводились спутниковые геодинимические наблюдения, выполнены высокоточные оценки скоростей смещений пунктов

ГНСС. Накопленные многолетние данные предоставляют возможность дальнейших исследований деформационных процессов и их вариаций, что позволит рассмотреть взаимосвязь сейсмического режима и локальных тектонических деформаций рассматриваемой территории.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

1. Багаева С.С., Чивиева Т.В., Саяпина А.А. и др. О сейсмологическом мониторинге нефтепромысловых районов Чеченской Республики // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: Сборник научных трудов. Выпуск 5(10) / гл. ред. В.И. Костицын. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2022. С. 26–33.
2. Габсатарова И.П. Исследование пространственно-временных особенностей сейсмичности на Северном Кавказе: Дис. на соиск. уч. степ. канд. ф.-м. наук. М.: ИФЗ РАН, 2011. 178 с.
3. Габсатарова И.П., Коломиец Ю.Н., Королецьки Л.Н. и др. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2021 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. С. 17–24.
4. Габсатаров Ю.В., Владимирова И.С., Сдельникова И.А. Геодинамический мониторинг в ФИЦ ЕГС РАН: современное состояние и перспективы развития // Российский сейсмологический журнал. 2022. Т. 4, № 4. С. 7–23. DOI: 10.35540/2686-7907.2022.4.01.
5. Гричуха К.В., Погода Э.В. Сейсмическое картирование глубинных структур Они-Джавской зоны // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2012. С. 110–114.
6. Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Петергоф, 2–6 октября 2006 г. Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.
7. Ландер А.В. Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчёт и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений Р-волн). М., 2006. 27 с. (Фонды автора).
8. Миронов А.П., Милюков В.К., Стеблов Г.М. и др. Деформации земной коры в Осетинском регионе Большого Кавказа по данным ГНСС-измерений // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20, № 4. С. 122–137.
9. Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В. Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия–Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 243–249.
10. Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Краткая история создания и этапы развития сейсмологической службы в Республике Северная Осетия–Алания (к 80-

летию Э.В. Погоды и 20-летию образования СОФ ФИЦ ЕГС РАН) // Вестник Владикавказского научного центра. – 2019. Т. 19, № 2. С. 56–65.

11. Станулис В.А., Хлуднев В.Ф. Некоторые проблемные вопросы геологии и нефтеносности Терско-Сунженского района (Северный Кавказ, Терско-Каспийский краевой прогиб) // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987. С. 246–254.
12. Отчёт о научно-исследовательской работе «Проведение непрерывного сейсмологического, геофизического и геодинамического мониторинга на глобальном, федеральном и региональном уровнях, разработка и внедрение новых технологий обработки и системного анализа больших объёмов сейсмологических и геофизических данных» (промежуточный за 2021 г. Пер. № НИОКТР АААА-А20-120060890034-7) / Рук. темы член-корр. РАН А.А. Маловичко. Обнинск: Фонды ФИЦ ЕГС РАН, 2021. 310 с.
13. Herring T.A., Floyd M.A., King R.W., McClusky S.C. GLOBK, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Release 10.6. Cambridge: MIT, 2015. – 95 p.
14. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. GAMIT Reference Manual, Release 10.7. Cambridge: MIT, 2018. 168 p.
15. Lee W.H.K. and Valdes C.M. HYP071PC: A personal computer version of the HYPO71 earthquake location program // U.S. Geological Survey Open File Report 85–749. 1985. 43 p.
16. North Osetia Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. (1993). North Osetia Regional Seismic Network of the Russian Federation [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/kmx2-4r56>

ГЕОДИНАМИКА КАВКАЗСКО-АНАТОЛИЙСКОГО РЕГИОНА И ТУРЕЦКО-СИРИЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2023 ГОДА

© В.Б. Свалова

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва

Геофизический институт ВНЦ РАН, Владикавказ

Аннотация. Землетрясение магнитудой 7,8 произошло на юго-востоке Турции и северо-западе Сирии 6 февраля 2023 года. Землетрясение магнитудой 7,8 является крупнейшим в Турции после землетрясения в Эрзинджане 1939 года и вторым по силе землетрясением в стране после землетрясения в Северной Анатолии 1668 года. Подтверждено более 52 800 смертей: более 46 100 в Турции и более 6 700 в Сирии. Это самое смертоносное стихийное бедствие в современной истории Турции. Землетрясения нанесли ущерб на сумму более 100 миллиардов долларов США. Построение геодинамических моделей глубинного строения районов стихийных бедствий является важным вкладом в изучение активных континентальных окраин, что необходимо для предупреждения, предсказания и прогнозирования землетрясений, оценки геоэкологических рисков и подготовки действий населения в случае стихийных бедствий и катастроф. Кавказско-Анатолийский регион представляет собой сложную высоконапряженную геодинамическую структуру, характеризующуюся повышенным тепловым потоком, высокой сейсмичностью, магматизмом и вулканизмом. Геодинамика Кавказско-Анатолийского региона определяется столкновением Евразийской и Аравийской литосферных плит, а также сложной историей развития Альпийско-Гималайского пояса и прилегающих территорий. Построены геодинамические модели районов опасных природных процессов с целью прогнозирования и предотвращения стихийных бедствий и катастроф.

Ключевые слова: Кавказ, Турция, землетрясения, сейсмичность, геодинамическая модель

1. Турецко-сирийское землетрясение 2023 г.

Землетрясение магнитудой 7,8 произошло на юго-востоке Турции и северо-западе Сирии 6 февраля 2023 г. в 04:17 по местному времени. Эпицентр находился в 37 км к западу-северо-западу от Газиантепа. По данным Геологической службы США, эпицентр землетрясения находился на глубине 10,0 км. За землетрясением последовало землетрясение магнитудой 7,7 в 13:24. Это землетрясение произошло в 95 км к северо-северо-востоку от первого. Землетрясение магнитудой 7,8 является крупнейшим в Турции после землетрясения той же магнитуды в Эрзинджане 1939 г. и вторым по силе землетрясением в стране после землетрясения 1668 г. в Северной Анатолии. Были нанесены обширные повреждения на площади около 350 000 км². Пострадали 14 млн. человек (16 % населения Турции). Около 1,5 млн. человек остались без крова. Подтверждено более 52 800 смертей: более 46 100 в Турции и более 6 700 в Сирии. Это самое смертоносное стихийное бедствие в современной истории Турции. Землетрясения причинили ущерб на сумму более 100 миллиардов долларов США.

Место землетрясения связано с тройным сочленением Анатолийской, Аравийской и Африканской плит (рис. 1).



а



б

Рис. 1а). Крупнейшие системы активных разломов Ближнего Востока: Северо-Анатолийская — Загросская и Леванто-Восточно-Анатолийская.
[https://ru.wikipedia.org/wiki/ Anatolian_Plate.png](https://ru.wikipedia.org/wiki/Anatolian_Plate.png)

Рис. 1б). Расположение эпицентров первого и второго землетрясений.
[https://en.wikipedia.org/wiki/File: 2023_Gaziantep-Marash_Earthquakes.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:2023_Gaziantep-Marash_Earthquakes.svg)

Восточно-Анатолийский разлом представляет собой левосторонний трансформный разлом протяженностью 700 км с северо-востока на юго-запад и образует границу между Анатолийской и Аравийской плитами. Этот внутриконтинентальный трансформный разлом является вторым по величине разломом в Турции.

Скорость подвижек уменьшается с востока на запад от 10 мм в год до 1–4 мм в год. К разлому приурочены сильные землетрясения в 1789 г. (М 7,2), 1795 г. (М 7,0), 1872 г. (М 7,2), 1874 г. (М 7,1), 1875 г. (М 6,7), 1893 г. (М 7,1) и 2020 г. (М 6,8). (рис. 2а). С 1905 г. здесь произошло только пять землетрясений (1905, 1945, 1986, 1998) магнитудой 6,0 и более. Все эти землетрясения произошли вдоль Восточно-Анатолийского разлома или в его окрестностях.

Северо-Анатолийский разлом, первый по величине сдвиговый разлом в Турции, вызвал 11 крупных землетрясений в 20 в. (рис. 2б).

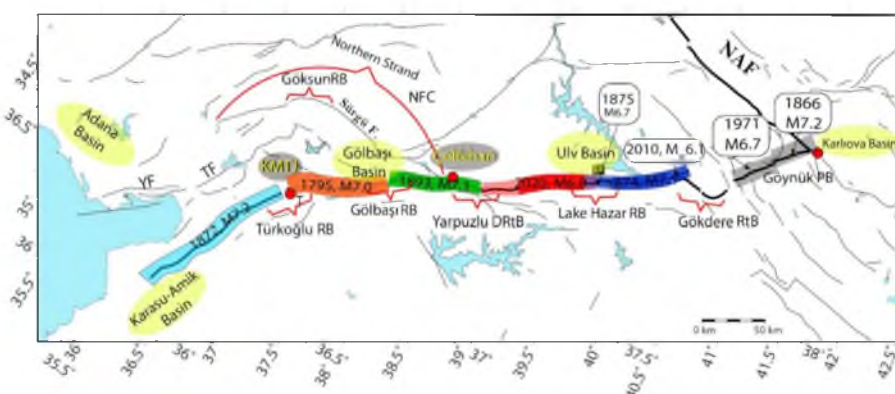


Рис. 2а). Участки Восточно-Анатолийского разлома с указанием дат и эпицентров крупнейших землетрясений до события 6 февраля 2023 г. NAF – Северо-Анатолийский разлом [2]

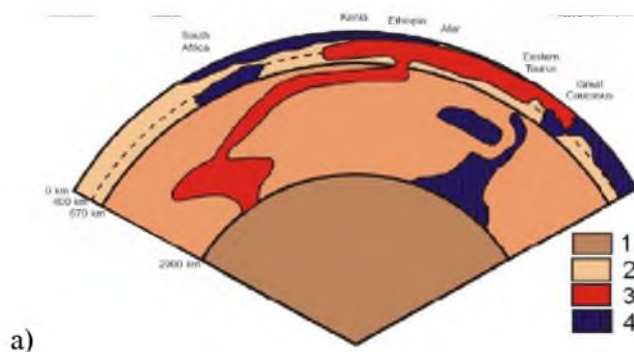


Рис. 3а). Схематический сейсотомографический разрез мантии вдоль 120-градусного сегмента большой окружности, проходящей через точку с координатами 0° с.ш. и 35° в.д. по азимуту 10°, 1 – ядро Земли; 2 – мантия; 3 – горячие низкоскоростные зоны; 4 – холодные зоны высоких скоростей [1]

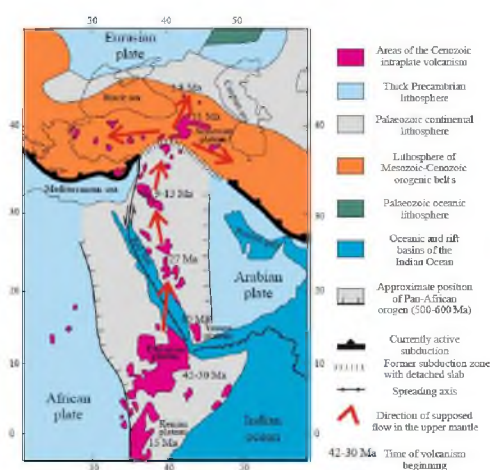


Рис. 3б). Распространение базальтового вулканизма кайнозойских внутриплитных плато и его возраст, млн. лет [1]

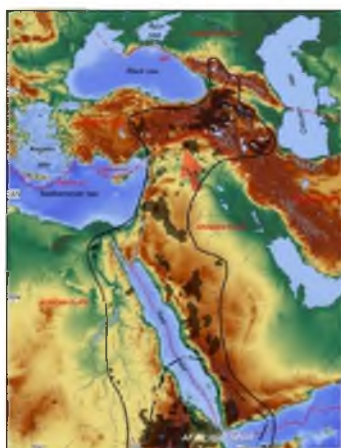


Рис.3в). Распространение современного плюмового вулканизма в Афро-Аравийской литосферной плите.

Черная линия – контур проекции мантийного плюма на поверхность. Поля, окрашенные черным цветом, – области молодой вулканической активности. Крупнейшие четвертичные вулканы: А – Арапат, Ar – Арагац, CMW (KMB) – Кавказские Минеральные Воды, Е – Эльбрус, Er – Эрцисс, К – Казбек, N – Немрут, S – Савалан, Sa – Саханд, Su – Супхан, Т – Тендюрек. [5].

3. Механико-математическая модель геодинамики литосферы

Для анализа полей скоростей, напряжений и давлений на глубине литосферы можно использовать модель многослойной высоковязкой несжимаемой жидкости в приближении тонкого слоя на больших временах в безразмерном виде с использованием методов разложения по малому параметру, последовательных приближений и сращиваемых асимптотических разложений [7-10].

Рассмотрим слой высоковязкой несжимаемой жидкости, описывающей медленное движение вещества литосферы на больших временах с помощью уравнения Навье-Стокса и уравнения неразрывности:

$$dv/dt = F - (1/\rho)\text{grad } p + (\mu/\rho)\Delta v \quad (1)$$

$$\text{div } v = 0 \quad (2)$$

v – вектор скорости, F – сила тяжести, p – давление, ρ – плотность, μ – вязкость, t – время.

Пусть характерный размер моделируемых структур по латерали L значительно превосходит характерную толщину слоя h .

Введем безразмерные значения координат, скоростей и давления X, Y, Z, U, V, W, P :

$$x=LX, y=LY, z=hZ, u=u_0U, v=u_0V, w=u_0(h/L)W, p=p_0ghP. \quad (3)$$

Тогда используя уравнение неразрывности и приближенное уравнение Навье-Стокса для достаточно медленных движений в тонком слое можно получить в безразмерном виде для двумерного случая:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial X} = \alpha \mu \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \\ \frac{\partial P}{\partial Z} = -\rho \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{F}{R \left(\frac{h}{L} \right)^3}, \quad F = \frac{u_0^2}{gL}, \quad R = \frac{u_0 L \rho_0}{\mu_0} \quad (6)$$

P – безразмерное давление, U, W – безразмерные скорости, F – число Фруда, R – число Рейнольдса, ρ – плотность, μ – вязкость, ρ_0, μ_0, u_0 – характерный масштаб плотности, вязкости и скорости.

Пусть на верхней границе поле сил равно нулю (свободная поверхность). Также пусть задано поле скоростей U^* , W^* на верхней границе моделирования ζ^* . Тогда можно найти распределение скоростей и давлений в слое:

$$P = \rho(\zeta^* - Z) \quad (7)$$

$$U = U^* + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - Z)^2 \quad (8)$$

$$W = W^* + \frac{\partial U^*}{\partial X} (\zeta^* - Z) + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left[\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \frac{1}{3} (\zeta^* - Z)^3 + \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 (\zeta^* - Z)^2 \right] \quad (9)$$

Таким образом, по известным скоростям на поверхности определены скорости и давления на глубине, что дает возможность получить поля напряжений в слое. На верхней границе должно также выполняться кинематическое условие свободной поверхности, означающее, что точки поверхности не покидают ее в процессе движения:

$$S \frac{\partial \zeta^*}{\partial t} + U^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} - W^* = 0 \quad (10)$$

$$S = \frac{L}{u_0 t_0} \quad (11)$$

S – число Струхала. t_0 – характерный масштаб времени.

Аналогично можно рассмотреть нижнюю границу моделирования как поверхность, точки которой остаются на ней в процессе эволюции (условие непротекания). Тогда, подставляя скорости, получаем уравнение движения нижней границы ζ_* :

$$S \frac{\partial \zeta_*}{\partial t} - W^* + U^* \frac{\partial \zeta_*}{\partial X} (\zeta^* - \zeta_*) + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left[\frac{\partial \zeta_*}{\partial X} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - \zeta_*)^2 - \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \frac{1}{3} (\zeta^* - \zeta_*)^3 - \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 (\zeta^* - \zeta_*)^2 \right] = 0 \quad (12)$$

На основе анализа полученных соотношений можно говорить о наличии нисходящих движений в литосфере и погружении подошвы литосферы под горными структурами, что может иметь место в случае Кавказа [7-10].

Поле скоростей Северного Кавказа характеризуется горизонтальным смещением в северо-восточном направлении со скоростью 26–28 мм/год. Относительно неподвижной Евразии выявлено общее сжатие региона со скоростью 1-2 мм/год, что является источником современной геологической и сейсмической активности в приграничном районе Кавказа и Восточно-Европейской платформы.

Современные вертикальные движения Северо-Кавказского региона характеризуются небольшими вертикальными подъемами порядка 2,5 мм/год в низменной части Осетии, самыми высокими для региона скоростями подъема около 3,5-4,5 мм/год в горной части Северного Кавказа и умеренным

устойчивым подъемом 2,9 мм/год в северной части северного склона Большого Кавказа.

На основе геодинамического и сейсмического анализа Кавказского региона делается среднесрочный прогноз сильных землетрясений. Так в 2007 г. Уломов сделал прогноз сильного землетрясения интенсивностью 8–9 баллов на северо-востоке Кавказа с наиболее вероятным интервалом времени возникновения в 2013–2036 гг.

4. Обсуждение и выводы

Геодинамическая модель Кавказско-Анатолийского региона определяется мантийным потоком, поднимающимся с поверхности ядра и распространяющимся под литосферой, создавая сложные поверхностные скорости в Анатолии на запад, в Аравийской плите на восток и на Кавказе на север. Этот поток будет продолжать перемещать вещество вдоль Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов.

Существует разная частота сильных землетрясений вдоль разломов, что объясняется различной толщиной коры и различной реологией геологической среды разломов. Глубина границы Мохо Восточно-Анатолийского разлома около 40 км, а Северо-Анатолийского около 50 км [3, 4]. Вдоль Северо-Анатолийского разлома сильные землетрясения происходят каждые 1-10 лет (1939, 1942, 1943, 1944, 1953, 1957, 1966, 1967, 1971, 1992, 1999) с расстоянием между гипоцентрами около 100 км с направлением на запад.

Поскольку Измитское землетрясение 1999 г. произошло в 80 км к востоку от Стамбула, ждать землетрясения в районе Стамбула можно через несколько лет (1-10 лет). Стамбул можно считать «горячим пятном» сейсмического риска.

Регион наибольшей сейсмичности в Турции (красный цвет на рис. 4) можно рассматривать как «горячую зону» сейсмического риска, а крупные города как – «горячие пятна» сейсмического риска. Стамбул – «горячее пятно» сейсмического риска (белый круг) (рис. 4). Геотермальная активность Турции во многом соответствует областям высокой сейсмической активности [4]. В любом случае необходимо проверить и укрепить здания и сооружения в городах из «горячей зоны».

Поскольку Восточно-Анатолийский разлом произвел сильные землетрясения 1789 (М 7.2), 1795 (М 7.0), 1872 (М 7.2), 1874 (М 7.1), 1875 (М 6.7), 1893 (М 7.1), 2020 (М 6.8), 2023 г. (М 7.8, М 7.7), то повторяемость групп (1790 – 1880 – 2020) около 100 лет. Но внутри групп бывает 2-4 близких по времени сильных землетрясения. Можно прогнозировать, что сильное землетрясение на Восточно-Анатолийском разломе, если не произойдет через 1-2 года, то произойдет только через 100 лет.

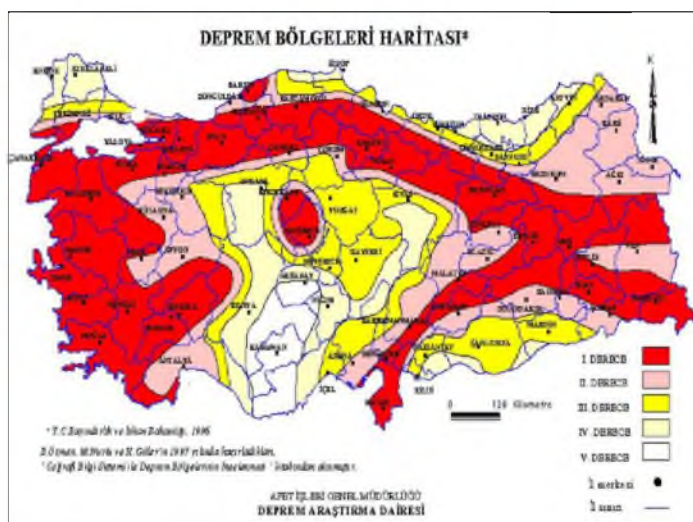


Рис. 4. Стамбул как «горячее пятно» риска землетрясений (белый круг). «Горячая зона» опасности землетрясений (красный цвет) в Турции. Основа: Карта зон землетрясений (надпись вверху). Отдел исследования землетрясений. Главное управление по делам стихийных бедствий, Турция (подпись внизу)

Анализ геолого-геофизических данных и обстановок дает возможность сформулировать и разработать Геодинамическую концепцию геоэкологии с целью прогноза и предупреждения стихийных бедствий и катастроф, а также снижения геоэкологического риска.

Геодинамическая концепция геоэкологии и снижение геоэкологического риска.

1. Построение геодинамических моделей регионов опасных природных процессов с целью прогноза и предупреждения стихийных бедствий и катастроф.

2. Анализ предвестников землетрясений, извержений вулканов, цунами, оползней и других опасных природных процессов.

3. Анализ напряженно-деформированного состояния литосферы на базе изучения систем глубинных и поверхностных разломов как маркеров областей максимальных напряжений и нарушения пределов прочности вещества в литосфере.

4. Мониторинг и анализ поверхностных вертикальных и горизонтальных скоростей. Анализ глубинных скоростей движения вещества литосферы. Разработка модели механизма очага землетрясения.

5. Разработка подходов и последовательности геолого-геофизических исследований с целью снижения геоэкологического риска и создания систем мониторинга.

6. Механико-математическое моделирование эволюции геологических структур в регионах опасных природных процессов в связи с глубинной геодинамикой литосферы и астеносферы.

7. Оценка и управление геоэкологическим риском.

8. Разработка и создание комплексных систем геоэкологического мониторинга.

9. Разработка и внедрение сейсмостойкого строительства.

Финансирование: *Статья подготовлена в рамках выполнения госзадания № 122022400105- 9 по теме «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий».*

Литература

1. Ershov A.V., Nikishin A.M. Recent geodynamics of the Caucasus-Arabia-East Africa region.// Geotectonics. 2004. №2. P. 55-72.
2. Givercin SE, H Karabulut, AÖ Konca, U Doğan, S Ergintav. Active seismotectonics of the East Anatolian Fault //Geophysical Journal International 2022, 230 (1), 50-69.
3. Medved I., Koulakov I., Polat G. Crustal structure of the eastern Anatolia region (Turkey) based on seismic tomography //Geosciences (Switzerland). 2021. V. 11. № 2. C. 1-12.
4. Mertoglu Orhan, Sakir Simsek, Nilgun Basarir. Geothermal Energy Use, Country Update for Turkey.// European Geothermal Congress 2016 Strasbourg, France, 19-24 Sept 2016.
5. Sharkov Evgenii V. and Vladimir A. Lebedev. Caucasian-Arabian Segment of Alpine-Himalayan Convergence: an Example of Continental Collision above Mantle Plume.// Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. V. Svalova (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 381-390.
6. Stein Ross S., Aykut A. Barka, James H. Dieterich. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering.//Geophysical Journal International, V.128, Issue 3, 1997. P. 594–604.
7. Svalova V. (editor). Earthquakes - Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71298.
8. Svalova V. Earthquakes: Life at Risk. /In: Svalova V. (editor).Earthquakes - Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79917.
9. Svalova V. B., Zaalishvili V. B., Ganapathy G. P., Nikolaev A. V., Melkov D. A. Landslide risk in mountain areas //Geology of the South of Russia. 2019; 9 (2): 109-127. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31981.
10. Svalova V. Geodynamics of the Caucasus – Anatolian-Arabian region and Turkey-Syria Earthquakes 2023 // Journal of Basic & Applied Sciences, 2023, 19, 40-59. DOI: <https://doi.org/10.29169/1927-5129.2023.19.04>

СПУТНИКОВЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ - АЛАНИЯ

© И.А. Сдельникова¹, А.А. Саяпина², Ю.В. Габсатаров¹,
И.С. Владимиров¹, С.В. Горожанцев^{1,2}

¹ ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск

² Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Владикавказ

Аннотация: Территория Северного Кавказа и, в частности, территория республики Северная Осетия–Алания относятся к числу сложных по строению и сейсмически активных регионов Северной Евразии. Высокая сейсмичность данного района обусловлена релаксацией сложной конфигурации региональных тектонических напряжений вдоль развитой системы разломов [6]. Для изучения современных движений и деформаций земной коры региона с целью наблюдения за динамикой сейсмогенерирующих разломов на территории Республики Северная Осетия–Алания функционирует сеть постоянных станций ГНСС, данные с которой ежедневно заносятся в архив. В настоящей работе приведены краткие исторические сведения о сети ГНСС наблюдений ФИЦ ЕГС РАН, сведения о методике обработки данных ГНСС наблюдений и результаты их обработки. По полученным данным выполнена оценка скоростей современных движений ГНСС станций Северо-Осетинской сети.

Ключевые слова: спутниковая геодезия, ГНСС наблюдения, сейсмические деформации, Северный Кавказ

Введение

Северо-Кавказский регион является одним из сейсмически активных регионов Северной Евразии. В исторический период и в настоящее время здесь произошла целая серия сильных землетрясений, приведших к разрушениям и человеческим жертвам. К числу таких событий относятся Дагестанское 1970 г., Черногорское 1976 г., Курчалойское 2008 г. Интенсивность регистрируемых природных сейсмических событий со времени применения инструментальных измерений составляла от 4-5 баллов в равнинных частях территории до 8-9 баллов в горных областях. В частности, на территории республики Северной Осетии–Алании по данным археосейсмологии сильные землетрясения с интенсивностью 8–10 баллов во втором тысячелетии н.э. происходили приблизительно раз в 200 лет [2]. Сейсмичность данного района обусловлена деформационными процессами, являющимися результатом взаимодействия двух крупных литосферных плит – Евразийской и Аравийской, что привело к формированию сложной системы разломов и флексурно-разрывных зон [6]. Вместе с тем на данной территории активно развито агропромышленное производство, расположены спортивно-оздоровительные и туристско-рекреационные комплексы и высокая плотность населения. В связи с этим, особенно актуально проводить мониторинг современных движений и деформаций земной коры региона с целью наблюдения за динамикой сейсмогенерирующих зон. В настоящее время для изучения современных движений и деформаций земной коры активно применяются методы космической геодезии, в том числе, основанные на данных Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (ГНСС) [7].

ГНСС наблюдения на территории России

Методы спутниковой геодезии обладают рядом преимуществ по сравнению с другими геодезическими методами: высокая точность измерений (несколько миллиметров в год при оценке скоростей движения станций с непрерывной регистрацией), слабая зависимость точности измерения от расстояния, всепогодность, возможность организации автономных наблюдений, относительная дешевизна (по сравнению с другими методами космической геодезии). Описанные преимущества предопределили активное развитие наблюдательных сетей ГНСС-станций по всему земному шару. Однако до 1997 г. мировая сеть спутниковых геодезических измерений, которая активно развивалась с конца XX в., покрывала практически весь земной шар, кроме района Северной Евразии (в частности, территории РФ), что не давало полной картины глобальных движений земной поверхности и ухудшало реализацию земной системы отсчета.

С 1997 г. в рамках программы геодинамических исследований Геофизической Службы РАН (ФИЦ ЕГС РАН) при сотрудничестве с международными научными организациями была создана высокоточная референсная континентальная сеть постоянных станций ГНСС на территории Северной Евразии – Деформационная Сеть Северной Евразии (North Eurasia Deformation Array: NEDA). Станции сети NEDA вошли в состав мировой сети опорных станций Международной ГНСС Службы, основной задачей которой является организация глобального полигона для обеспечения общеземной системы отсчета ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Объединенная глобальная сеть насчитывает более 370 станций, измерения с которых непрерывно собираются и архивируются в распределенных центрах данных. Опорные станции располагаются в стабильных частях нашей земли и обеспечивают отсчетную основу для привязки и последующего анализа измерений в тектонически активных районах, где создаются более плотные региональные геодинамические полигоны. В ведении ФИЦ ЕГС РАН находятся Дальневосточный и Северо-Осетинский геодинамические полигоны (рис. 1).



Рис. 1. Расположение станций опорной сети геодинамических наблюдений и региональных геодинамических полигонов ФИЦ ЕГС РАН

ГНСС наблюдения на территории республики Северная Осетия - Алания

В сейсмически активных регионах создаются более плотные сети станций ГНСС для изучения региональных особенностей деформаций и процессов к ним приводящих. Первые спутниковые геодезические исследования на территории Северного Кавказа начались в 90-х годах XX в. с периодических повторных измерений. Были получены первые оценки многолетних скоростей движения земной поверхности [3, 8]. Организация ГНСС пунктов непрерывных измерений началась в первом десятилетии XXI в. [4]. Одной из первых постоянных станций ГНСС на территории Северного Кавказа является станция Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН во Владикавказе, установленная в 2010 г. (табл. 1). В 2011 г. были созданы еще три станции постоянного наблюдения в населенных пунктах: Лац, Ардон, Притеречный. В июле 2015 г. на станции в Ардоне из-за удара молнии антенна и приемник вышли из строя, станция ARDN прекратила свое существование. В 2020 г. в этом же месте совместно с Владикавказским научным центром РАН (ВНЦ РАН) в Ардоне была установлена новая станция ARD2. В 2021 г. сеть геодинамических наблюдений дополнена станцией на юго-западе республики в селении Камата, открытой совместно с ВНЦ РАН (табл.1).

Таблица 1.
Станции Северо-Осетинской сети геодинамических наблюдений ФИЦ ЕГС РАН.

Код станции	Название пункта	Период работы	Координаты
VLKZ	г. Владикавказ	24.09.2010 г. – по н.в.	44°41' в.д. 43°03' с.ш.
LATZ	г. Лац	11.11.2011 г. – по н.в.	44°18' в.д. 42°50' с.ш.
PRTN	г. Притеречный	18.11.2011 г. – по н.в.	44°17' в.д. 43°45' с.ш.
ARDN	г. Ардон	20.11.2011 г. – 12.02.2020 г.	44°17' в.д. 43°10' с.ш.
ARD2	г. Ардон	12.02.2020 г. – по н.в.	44°17' в.д. 43°10' с.ш.
KAMT	г. Камата	30.12.2020 г. – по н.в.	43°47' в.д. 42°57' с.ш.

Многолетние измерения на постоянных станциях ГНСС позволяют оценить динамику земной коры на различных временных масштабах и исследовать вариации деформационных процессов. Кроме того, в привязке к постоянным станциям уточняются положения пунктов сети геодезических периодически-повторных ГНСС измерений, которые проводятся на территории Северной Осетии–Алании [5].

Методика обработки ГНСС данных

Для получения корректной оценки координат и скоростей смещений базовых станций ГНСС в Международной системе отсчёта ITRF (International Terrestrial Reference Frame) с учетом деформационной составляющей движения земной поверхности как в стабильных платформенных, так и в тектонически активных регионах в ФИЦ ЕГС РАН разработана «Методика определения координат и скоростей смещений точек стояния базовых станций глобальных навигационных спутниковых систем с учетом деформационной составляющей движения земной поверхности» (Методика). Методика разработана с участием

специалистов АО «Российские космические системы» и ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», одобрена, утверждена и предложена к оформлению в качестве стандарта ФИЦ ЕГС РАН. В Методике представлены теоретические основы и практические рекомендации для определения координат и скоростей смещений базовых станций ГНСС с учетом действия различных геодинамических процессов, оказывающих влияние на движение земной поверхности.

В рамках представленной методики обработка данных спутниковых наблюдений производится с помощью специализированного программного обеспечения GAMIT/GLOBK, разработанного в MIT (Massachusetts Institute of Technology) [9]. Полученные высокоточные ежесуточные оценки положений станций наблюдений в земной системе отсчета комбинируются в дальнейшем в продолжительные временные ряды, отражающие изменчивость положения станций, вызванную как действием тектонических процессов, так и являющуюся отражением систематических и случайных ошибок ГНСС-измерений, не учтенных при первичном моделировании [10].

Регрессионный анализ временных рядов

Временные ряды ежесуточных оценок координат ГНСС-станций, расположенных в деформационных поясах вблизи границ литосферных плит, содержат компоненты, отражающие действие интенсивных процессов деформирования земной поверхности как вследствие упругого взаимодействия литосферных плит, так и вследствие высвобождения накопленного напряжения в результате сейсмических событий и возможных постсейсмических процессов. Разделение этих составляющих во временных рядах возможно благодаря тому, что действие всех этих процессов имеет различные характерные признаки во временной зависимости. В данной работе для выделения отдельных компонент смещения станции, вызванного действием различных тектонических и нетектонических процессов, используется регрессионный анализ временных рядов [1]. В частном случае, без учета постсейсмических процессов, каждая из трех компонент движения станции может быть представлена в виде:

$$y(t_i) = a + bt_i + c \sin(2\pi t_i) + d \cos(2\pi t_i) + e \sin(4\pi t_i) + f \cos(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_g} g_j H(t_i - T_g^j) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j H(t_i - T_h^j) + \sum_{j=1}^{n_k} k_j H(t_i - T_k^j) H(T_k^{j+1} - t_i) \cdot t_i + \varepsilon_i$$

Данное представление является линейной комбинацией следующих компонент:

- начальное положение и линейный тренд смещения станции,
- сезонные периодические вариации (годовая и полугодовая гармоника),
- скачкообразные смещения во время сейсмических событий, а также во время смены аппаратного или программного обеспечения (H – ступенчатая функция Хевисайда),
- изменения линейного тренда движения станции, произошедшие после сейсмических событий вследствие изменения напряженно-деформированного состояния среды.

Регрессионный анализ, реализация которого подробно описана в Методике, позволяет достаточно уверенно оценивать практически все перечисленные компоненты. Вариации, остающиеся после вычитания всех

нелинейных слагаемых в сумме (1), представляют собой медленные изменения скорости, которые с учетом всех перечисленных выше физических механизмов и инструментальных эффектов можно объяснить вариациями тектонических деформационных процессов. Статистически значимое выделение таких вариаций на фоне остающихся инструментальных шумов (ε_i в (1)) возможно при достаточно продолжительном периоде осреднения, который значительно превосходит характерный период шумов.

Результаты обработки ГНСС данных Северо-Осетинской сети станций

Согласно Методики выполнена обработка данных Северо-Осетинской сети станций ГНСС. Построены временные ряды ежесуточных оценок положения станций для станций VLKZ, LATZ, PRTN, ARDN. Из-за пропуска данных по станции в п. Камата данные в обработке не использовались. На рис. 2. представлены временные ряды ежесуточных оценок положений станций VLKZ и LATZ.

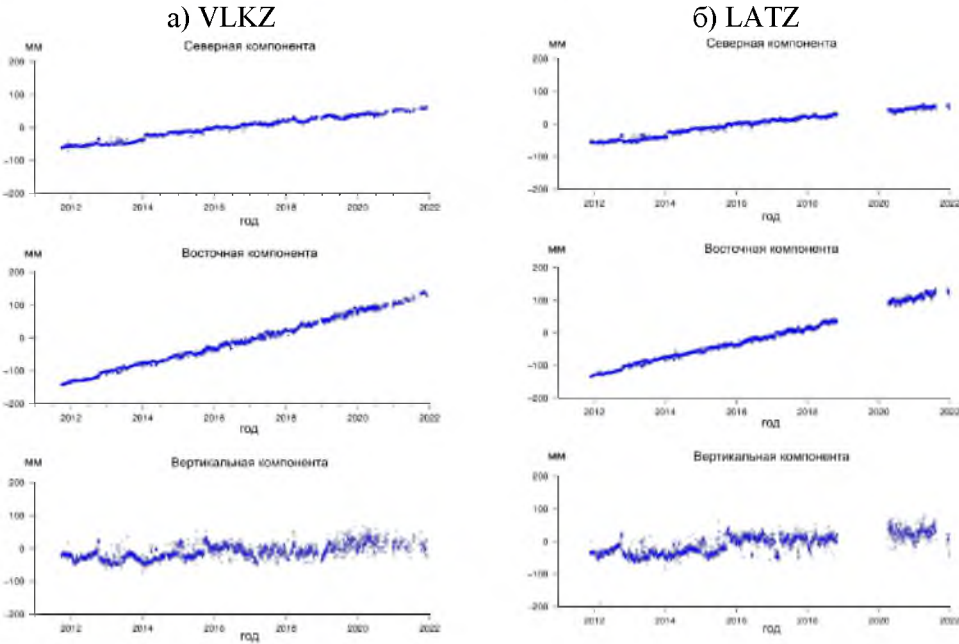


Рис. 2. Временные ряды положения станций ГНСС:
а – временной ряд положения станции VLKZ (г. Владикавказ); б – LATZ (г. Лац)

По полученным временным рядам с применением регрессионного анализа была выполнена оценка многолетних скоростей движения станций (рис. 3.). В общеземной системе отсчета движение станций имеет северо-восточное направление и составляет 27-30 мм/год, что отражает как движение евразийской плиты в целом, так и локальные тектонические деформации. Относительно Евразийской плиты станции смещаются преимущественно в северном направлении со скоростями, составляющими несколько мм/год, отражая действие дрейфа Аравийской плиты на Евразийскую (рис. 3). Различие скоростей станций PRTN, VLKZ, ARDN и LATZ может быть обусловлено расположением станций на разных блоках тектонических разломов и скоростью деформаций этих блоков.

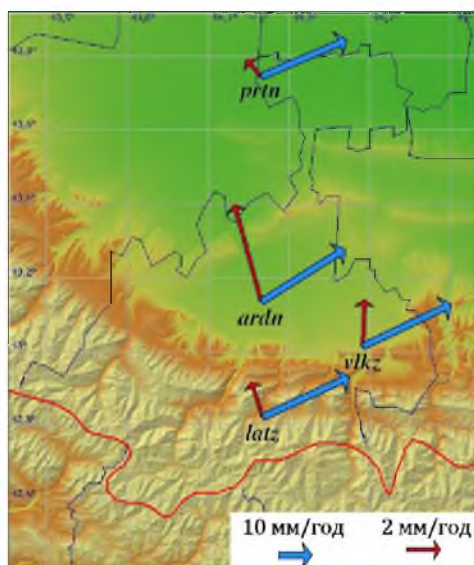


Рис. 3. Многолетние скорости смещения постоянных ГНСС станций на территории PCSO-A (синие стрелки – в общеземной системе отсчета, красные стрелки – относительно Евразийской плиты).

Станция PRTN, расположенная в равнинной части района, смещается с небольшой скоростью по сравнению с другими станциями сети, которые расположены в предгорной и горной частях. Полученные данные в совокупности с другими геофизическими методами исследования позволят комплексно и более детально исследовать деформационные процессы в рассматриваемом регионе.

Заключение

Таким образом, к настоящему времени архив ГНСС данных Северо-Осетинской сети охватывает более чем десятилетний период наблюдений, который продолжает ежедневно пополняться. Обработка ГНСС измерений осуществляется согласно разработанной методике, которая позволяет выявлять действия различных геодинамических процессов. По результатам измерений выполнены высокоточные оценки скоростей смещений пунктов ГНСС. Накопленные многолетние данные предоставляют возможность дальнейших исследований деформационных процессов и их вариаций, что позволит рассмотреть взаимосвязь сейсмического режима и локальных тектонических деформаций рассматриваемой территории.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23)

Литература

1. Габсатаров Ю.В. Кинематика микроплит в Северо-Восточной Азии: дисс. ... кан-та физ.-мат. наук: 25.00.10. М., 2015. 193 с.
2. Корженков А.М., Чишев В.Т., Ларьков А.С. и др. Высокая историческая сейсмичность в Северной Осетии по данным археосейсмологии (на примере поселения Дзивгис) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2023. Т. 50. № 2. С. 76-110. DOI: 10.21455/VIS2023.2-4.

3. Лукк А.А., Шевченко В.И. Сейсмичность, тектоника и gps-геодинамика Кавказа // Физика Земли. 2019. № 4. С. 99-123. DOI 10.31857/S0002-33372019499-123.
4. Милоков В.К., Миронов А.П., Стеблов Г.М. и др. Современные горизонтальные движения основных элементов тектонической структуры осетинской части Большого Кавказа по GPS-измерениям // Физика Земли. 2015. № 4. С. 68. DOI 10.7868/S0002333715040079.
5. Миронов А.П., Милоков В.К., Стеблов Г.М. и др. Деформации земной коры в Осетинском регионе Большого Кавказа по данным ГНСС-измерений // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20. № 4. С. 122–137.
6. Рогожин Е.А., Милоков В.К., Миронов А.П. и др. Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала XXI в. в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с новейшей тектоникой и глубинным строением земной коры // Геофизические процессы и биосфера. 2004. Т. 18. № 1. С. 91–102.
7. Стеблов Г.М. Современная космическая геодезия и системы относимости // Доклады Академии наук. 2004. Т. 398. № 6. С. 815–817.
8. Шевченко В.И., Гусев Т.В., Мишин А.В. и др. Современная геодинамика Кавказа (по результатам GPS измерений и сейсмическим данным) // Физика Земли. 1999. № 9. С. 3–18.
9. Herring T.A., Floyd, M.A., King, R.W., McClusky S.C. (2018). Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.7., http://geoweb.mit.edu/gg/docs/Intro_GG.pdf.
10. Mao A., Harrison C.G.A., Dixon T.H. Noise in GPS coordinate time series // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104. N. B2. P. 2797–2816.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭМИ-МОНИТОРИНГА В КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

© В.В. Стогний¹, А.Ф. Габараев¹, И.В. Ксенофонов²,
Д.А. Мельков¹, Г.М. Тригубович³

¹Геофизический институт ВНЦ РАН, Владикавказ

²Институт космических исследований и астрономии
им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск

³АО «ЕМ-разведка», Новосибирск

Аннотация. Приведены примеры ЭМИ-мониторинга в периоды сильных землетрясений. Ставится проблема организации сети пунктов мониторинга ЕИЭМПЗ Северного Кавказа и обсуждаются вопросы возможной ее эффективности как одного из методов предсказания сильных землетрясений.

Ключевые слова: естественное импульсное электромагнитное поле, Северный Кавказ, прогноз землетрясений, Крымско-Кавказская сейсмическая зона, мониторинг

Одним из методов, который часто включается в систему прогноза землетрясений в сейсмоопасных регионах Земли, является метод естественных импульсных электромагнитных полей (ЕИЭМП), основанный на регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ) Земли, обычно наблюдаемого в виде пачек, цугов импульсов треугольной и трапецевидной формы с разными амплитудами, возникающего в геологической среде вследствие накопления напряжений до критических значений и их релаксации, при этом происходит развитие микро- и макротрещин, электроадгезия, трибополяция, дегидратация, разрушение двойных электрических слоёв, фазовые переходы, трение и другие явления. Данный метод опробуется в системах прогноза землетрясений уже более 50 лет [1, 6], за этот период накоплен довольно большой опыт регистрации аномальных ЭМИ сильных землетрясений. Так, уже на первых этапах применения метода ЕИЭМП было показано, что перед сильными землетрясениями возникают аномальные вариации ЭМИ, которые могут регистрироваться на расстояниях до сотен и даже первых тысяч километров. Их примером могут служить Карпатское землетрясение в Румынии (04.03.1977, $M=7,2$), аномальное ЭМИ которого было выявлено перед землетрясением с регистрацией числа импульсов на вертикальную штыревую антенну в диапазоне 0,5–50 кГц при расстоянии до эпицентра около 300 км, и Иранское землетрясение (16.09.1978, $M=7,4$) с регистрацией интенсивности ЭМИ на частотах 27, 385 и 1650 кГц при расстоянии до эпицентра около 1200 км.

Для целей прогноза землетрясений обычно используется специализированная аппаратура, основанная на применении приемников с широким диапазоном регистрируемых частот (10^4 – $1,5 \cdot 10^6$ Гц) и узкой полосой пропускания (200–5000 Гц) и согласованных рамочных антенн, штыревых антенн с радиальным противовесом и других антенн электрического типа различной формы, а также электродов, контактирующих с геологической средой [6].

Характер регистрируемых аномальных вариаций ЭМИ определяется измеряемыми параметрами и характеристиками применяемой специализированной аппаратуры, а также особенностями процессов,

происходящих в очаговых зонах землетрясений. В этом плане одним из наиболее хорошо изученных является Южно-Якутское землетрясение (20.04.1989, $M=6,6$) Олекмо-Становой сейсмической зоны Байкало-Станового сейсмического пояса [4]. Благодаря сети региональных сейсмических станций и пяти временных полевых станций с расстоянием от 25 до 75 км от эпицентра землетрясения, уверенно регистрировались афтершоки начиная с 6-го энергетического класса, при этом начиная с 20 апреля по декабрь 1989 г. их было зарегистрировано более 3000, в 1990 г. – более 500, в 1991 г. – около 100. Наблюдения вариаций ЭМИ выполнялись в период с 1986 по 1991 г., для этих целей использовался селективный вольтметр ВС-6 с кольцевой антенной, имеющей резонансную частоту $f = 11,5 \text{ кГц}$. Фоновые значения вариаций ЭМИ обычно составляли 10–15 мВ, а их аномальный суточный ход не превышал 40 мВ и, как правило, приходился на периоды ледохода на р. Олекма, когда происходили интенсивные процессы растрескивания льда (сейсмический полигон Олекма, где выполнялись наблюдения ЭМИ, располагался в нескольких десятках километров западнее реки). Перед Южно-Якутским землетрясением, 13–16 апреля 1989 г., всплески ЭМИ достигали 60–75 мВ. Такая же картина наблюдалась перед сильными афтершоками, следовавшими в течение месяца после основного толчка (29.04, $M=5,2$; 07.05, $M=4,9$; 17.05, $M=6,0$), при этом всплеск амплитуды вариаций ЭМИ достигал иногда 100–120 мВ, что на порядок превышало их фоновые значения.

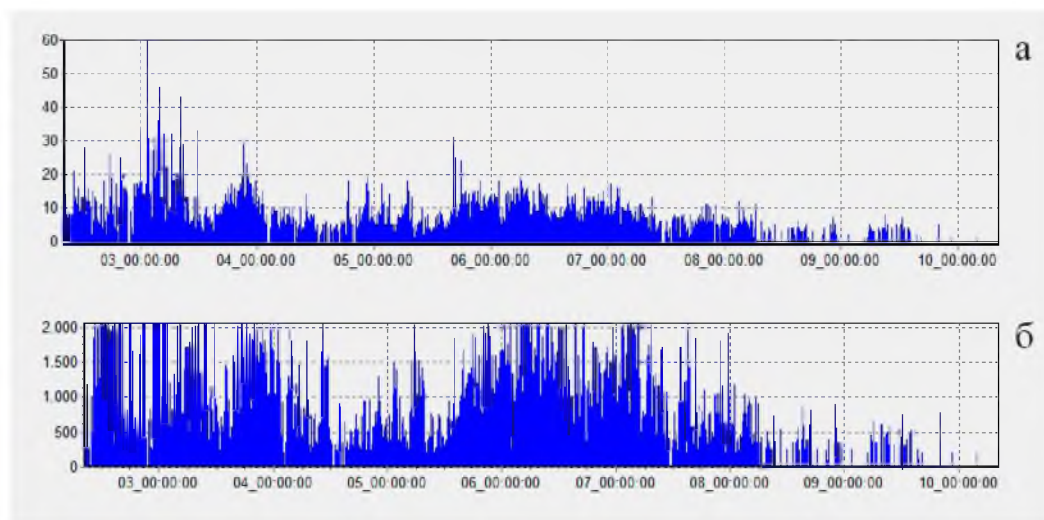


Рис. 1 Фрагмент записи ЭМИ-вариаций станции Лазурное в период Турецкого землетрясения (03–10 февраля 2023 г.): а – количество импульсов, б – амплитуда импульсов (магнитная составляющая поля, ориентация север–юг)

Мощные землетрясения произошли в Турции 6 февраля 2023 г., имевшие катастрофические последствия для южных регионов ее центральной части и прилегающих районов Сирии. Землетрясение с эпицентром в районе Шехиткамиль провинции Газиантеп (06.02.2023, 01:17:35, $M=7,8$) ощущалось в 11 провинциях Турции. Оно сопровождалось сильным афтершоком, который произошел через 10 мин. после основного толчка (01:28:15, $M=6,7$), а в течение месяца количество зарегистрированных его афтершоков превысило 10 тысяч. Второе землетрясение с эпицентром в районе Эльбистан провинции

Кахраманмараш произошло примерно через девять часов после первого (06.02.2023, 10:24:49, $M=7,5$) и сопровождалось двумя афтершоками с $M=6,0$, которые произошли в тот же день через 2 мин. (10:26:48) и 2 часа (12:02:11) после основного землетрясения. Землетрясение с эпицентром близ Узунбага ($M=6,3$) провинции Хатай произошло 20 февраля 2023 г.

По данным анализа материалов ЭМИ-мониторинга станции п. Лазурное (Республика Крым РФ) с аппаратурой Астрогон-Т за период с 13 января по 26 февраля 2023 г., расположенной примерно в 800 км к северу от районов землетрясений в Турции¹, получены следующие предварительные результаты. По результатам ЭМИ-мониторинга количества импульсов в окне и амплитуды магнитной составляющей поля (направления С–Ю и 3–В) зарегистрировано их аномальное поведение в период с 13 по 26 января с резким снижением количества импульсов при повышении их интенсивности в период с 27 января по 2 февраля (направление С–Ю). В период 3–8 февраля наблюдается та же закономерность снижения уровня по количеству импульсов при резком увеличении их амплитуды (рис.). В период 8–27 февраля происходит постепенное снижение по количеству импульсов и их интенсивности до фоновых значений, резкий всплеск по количеству импульсов и их интенсивности отмечен только за 0,5 суток до землетрясения с эпицентром в Узунбага (20.02.2023, 17:04:29, $M=6,3$).

Одним из сейсмоопасных регионов России является Северный Кавказ, расположенный в пределах Крымско-Кавказской зоны Средиземноморского сейсмического пояса [5], что обуславливает актуальность разработки системы прогноза землетрясений. Одним из эффективных методов при этом, как показано на различных примерах, может быть метод ЕИЭМП. Развертка сети станций ЭМИ-мониторинга на Северном Кавказе и в Крыму позволила бы подойти к проблеме среднесрочного и, возможно, краткосрочного прогноза сильных землетрясений в данном регионе. Эффективность такой сети будет определяться как особенностями применяемой аппаратуры и методики ЭМИ-мониторинга, так и тектоно-геодинамическими особенностями региона и реализации сильных землетрясений и потребует проведения специальных исследований. В качестве специализированной аппаратуры при этом могут применяться разработанный в Институте мониторинга климатических и экологических проблем СО РАН (г. Томск) многоканальный регистратор МГР-01, позволяющий проводить исследование E - и H -составляющих ЭМИ-вариаций, и разработанный в Институте космофизических исследований и аэронауки СО РАН (г. Якутск) прибор метода ЕИЭМП, позволяющий выполнять в режиме ЭМИ-мониторинга измерение интенсивности E - и H -составляющих электромагнитного поля и количества импульсов, превышающих порог регистрации с накоплением за период 1 с, 1 мин., 10 мин. и возможностью передачи данных через внешние каналы связи [3].

Опытные исследования по разработке методики ЭМИ-мониторинга с целью поиска прогнозных критериев землетрясений в тектоно-геодинамических условиях Центрального сектора Большого Кавказа могут быть выполнены на сети сейсмических станций Геофизического института ВНЦ РАН [2], по

¹ Авторы благодарны д.ф.-м.н., профессору Б.Г. Пустовитенко за представленные материалы ЭМИ-мониторинга ст. Лазурное периода землетрясений в Турции

результатам которых можно выработать рекомендации по возможностям использования метода ЕИЭМП в системе прогноза землетрясений данного региона.

*Работа выполнена по госзаданию Геофизического института
Владикавказского научного центра РАН, рег. № 122041100073-5.*

Литература

1. *Рикитаке Т.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.
2. *Стогний В.В., Заалишвили В.Б., Пономарева Н.Л.* Современная геодинамика и сейсмичность Северного Кавказа: проблемы мониторинга // Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12. №2. С. 34–52.
3. *Стогний В.В., Ксенофонтов И.В., Великин С.А.* Новые возможности применения электроразведочного метода ЕИЭМПЗ в геофизических исследованиях Краснодарского края // Материалы Третьей региональной научно-практической конференции «Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи: сб. науч. трудов / под ред. Т.В. Любимовой, Н.А. Бондаренко, Е.А. Волошко. Краснодар: Просвещение-Юг, 2016. С. 244–246.
4. *Стогний В.В., Стогний Г.А.* Южно-Якутское (20.04.1989) землетрясение: тектонические и геофизический аспекты // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, 2020. №3 (82). С. 24–30.
5. *Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилова Л.С.* К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе // Физика Земли. 2007. № 7. С. 31–45.
6. *Электромагнитные предвестники землетрясений / М.Б. Гохберг, М.Л. Гуфельд, И.П. Добровольский и др.* М.: Наука, 1982. 88 с.

БАРИСАХСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА: ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

© В.В. Стогний¹, Н.Л. Пономарева²

¹ГФИ ВНИЦ РАН, Владикавказ, Россия

²Сейсмическая станция «Махачкала» ФИЦ ЕГС РАН, Махачкала

Аннотация. В работе рассматриваются тектонические условия формирования очага Барисахского землетрясения 23.10.1992 г. центральной части Большого Кавказа на основе схемы консолидированной коры, разработанной по результатам интерпретации геолого-геофизических материалов, главным образом, гравитационного поля.

Ключевые слова: Барисахское землетрясение, сейсмотектоника, гравитационное поле, тектонический блок, консолидированная земная кора.

Барисахское землетрясение 23.10.1992 г. произошло через год после сильного Рачинского (29.04.1991) землетрясения в 110 км северо-восточнее последнего в районе Гудамарского хребта Грузии в осевой зоне центральной части Большого Кавказа. Магнитуда M_s Барисахского землетрясения 1992 г. по данным различных сейсмологических центров (HFS, NEIC, BRC, BJI, MOS, ISC) оценивается в 6,2–6,8, а интенсивность – в 7–8 баллов. По этим показателям оно относится к сильным сейсмическим событиям Большого Кавказа. Афтершоки землетрясения длились до конца 1992 г. с глубиной очага от 10 до 25 км [4]. Барисахское землетрясение включено в субрегиональный сейсмический линеамент Эрзрум-Боржоми-Казбек [8].

Согласно Е.А. Рогожину [7], механизм формирования Барисахского (23.10.1992) землетрясения аналогичен Рачинскому (29.04.1991) землетрясению и связан с поддвиганием пород фундамента Закавказского срединного массива под Большой Кавказ, способствовавшему отрыву от основания и надвиганию в южном направлении пород альпийского чехла. По [4] очаг Барисахского землетрясения приурочен к Казбекско-Лагодехской зоне глубинного разлома.

В данной работе выполнен анализ тектонической обстановки формирования очага Барисахского землетрясения с учетом особенностей строения кристаллического фундамента и сейсмической активности последних десятилетий центральной части Большого Кавказа. В качестве основной информации служили материалы гравиметрических исследований, сейсмических исследований по профилю ГСЗ Степное-Бакуриани и ММЗ (технология микросейсмического районирования), а также данные о современной сейсмичности за период 2001–2021 гг.

Интерпретация геолого-геофизических материалов выполнена на площади в тектоническом отношении отвечающей центральной части Большого Кавказа, обрамляющим структурам Скифской плиты на севере, а в южной части – Закавказской системе впадин и срединных массивов (рис. 1).

Региональная составляющая гравитационного поля представлена Эльбрусским, Кубачинским и Ширакским минимумами, а также Верхнетерским максимумом, в центральной части которого расположен эпицентр Барисахского землетрясения (рис. 1). Верхнетерский максимум амплитудой более 30 мГал и размером в поперечнике до 100 км является пограничной аномалией между Эльбрусским и Кубачинским минимумами. К осевой зоне Эльбрусского

минимума приурочены выходы раннедокембрийских метаморфических пород и палеозойских гранитов Главного и Передового хребтов. На рис. 1 вынесены региональные разломы в соответствии с [1], в зоне одного из них расположен эпицентр Барисахского землетрясения.

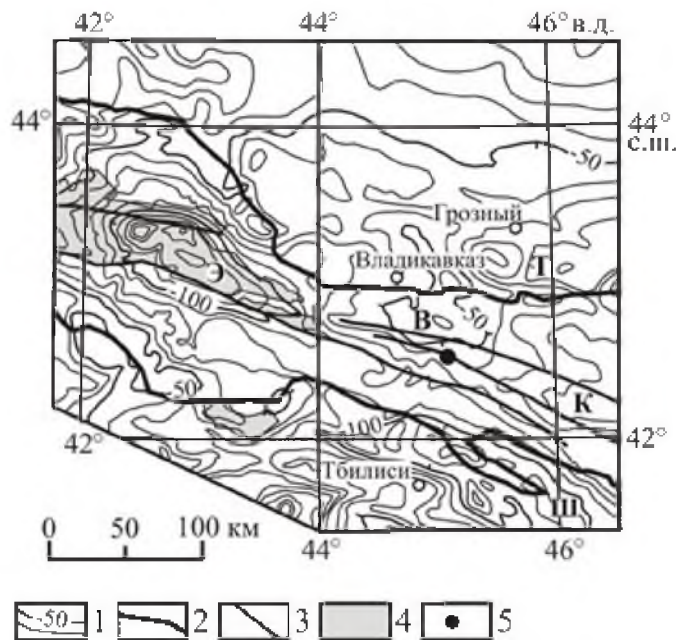


Рис. 1. Схема районирования гравитационного поля центральной части Большого Кавказа

1 – изоаномалы гравитационного поля по [2]; 2 – границы мегаантиклинория Большого Кавказа по [1]; 3 – разломы; 4 – выходы кристаллических пород по [1]; 5 – эпицентр Барисахского (23.10.1992) землетрясения по данным [10]. Буквами обозначены региональные гравитационные минимумы (Э – Эльбрусский, К – Кубачинский, Т – Терский, Ш – Ширакский) и максимумы (В – Верхнетерский)

Глубина гипоцентра Барисахского землетрясения по данным различных сейсмологических центров оценивается от 12 до 16 км, то есть в пределах консолидированной коры. Тектоническая позиция очага Барисахского землетрясения анализируется с учетом геологического строения и предложенной авторами схемы строения кристаллического фундамента центральной части мегаантиклинория Большого Кавказа [9], разработанной на основе концепции блоковой делимости земной коры. Консолидированная кора центральной части Большого Кавказа Сването-Алазанским разломом северо-западного простирания разделена на северный и южный сегменты, соответствующие краевым частям Скифской плиты и Закавказской микроплиты. Кристаллический фундамент северного фрагмента центральной части Большого Кавказа представлен Эльбрусским, Верхнетерским и Кубачинским блоками. Верхнетерский блок консолидированной коры, ограниченный с запада и востока соответственно Згитским и Халкилойским разломами, сопоставляется с областью раздела Центрального и Восточного сегментов мегаантиклинория Большого Кавказа. Предполагается продолжение Згитского и Халкилойского

глубинных разломов в пределах Терско-Каспийского прогиба. Северным ограничением Верхнетерского блока является Владикавказский разлом, а южным – Сването-Алазанский.

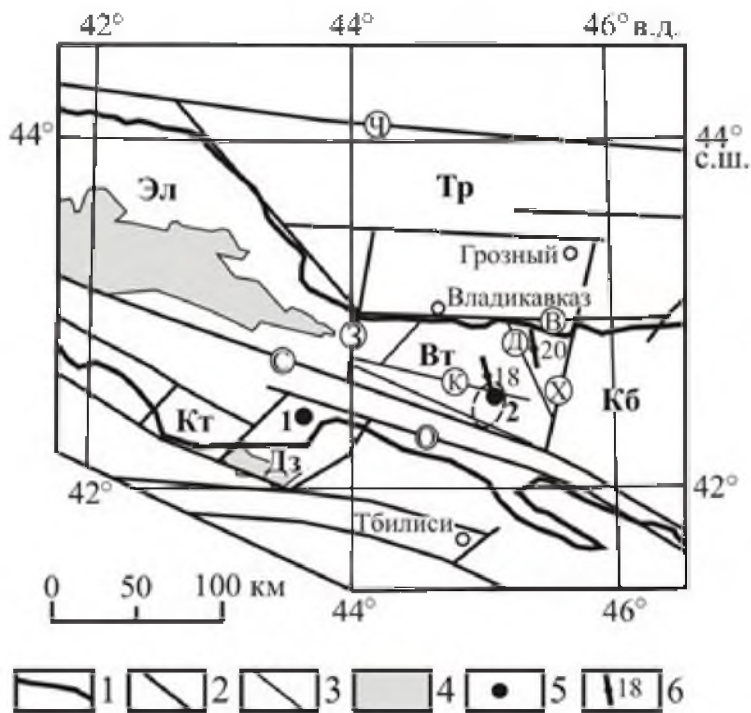


Рис. 2. Схема блоковой делимости консолидированной коры Центрального и Восточного сегментов Большого Кавказа по результатам интерпретации геолого-геофизических материалов

1 – границы мегаантиклинория Большого Кавказа по [1]; 2 – межблоковые разломы: Ч – Черкеско-Кизлярский, В – Владикавказский, С – Сването-Алазанский, О – Онийский, З – Згитский, Х – Халкилойский; 3 – внутриблоковые разломы Верхнетерского блока: Д – Диагональный, К – Казбегский; 4 – выходы протерозойских метаморфических пород и палеозойских гранитов Центрального сегмента и Дзирульского массива по [1]; 5 – эпицентры землетрясений: 1 – Рачинского 1991 г., 2 – Барисахского 1992 г. (пунктирный эллипс – эпицентральный район по [10]); 6 – простирающие главные оси сжатия фокальных механизмов землетрясений и их номера по [3] (18 – 23.10.1992, $m_b=6,4$; 20 – 27.11.1997, $m_b=5,3$). Буквами обозначены блоки: Эл – Эльбрусский, Кб – Кубачинский, Вт – Верхнетерский, Дз – Дзирульский, Кт – Кутаисский, Тр – Терский.

В районе Гудамарского ущелья следует отметить землетрясения с магнитудой более 4,5, в их числе согласно [5]: Гудамарское (15.08.1947, $M=5,5$); Мтатушехское (02.10.1951, $M=5,3$); Барисахское (28.03.1954, $M=4,5$). Их эпицентры отстоят от Барисахского (23.10.1992, $M_s=6,3$) землетрясения не более чем на первые десятки км и расположены в пределах Верхнетерского блока, а глубина гипоцентра для данных землетрясений от 9 до 25 км, то есть все гипоцентры локализованы в кристаллической коре. В последние десятилетия сейсмическая активность на участке эпицентрального района Барисахского

(23.10.1992) землетрясения была на низком уровне, так по данным каталогов ФИЦ ЕГС РАН за период 2001–2021 гг. в пределах площади, ограниченной $44,7^{\circ}$ – $45,3^{\circ}$ в.д., $42,4^{\circ}$ – $42,8^{\circ}$ с.ш. было зарегистрировано всего 25 землетрясений с $M_s \geq 2,5$. Основная сейсмическая активность в этом районе сместилась на несколько десятков километров к востоку от эпицентральной области Барисахского землетрясения, в зону Диагонального разлома, где плотность концентрации очагов землетрясений (с $M_s \geq 2,5$) в несколько раз выше.

Очаг Барисахского землетрясения расположен в консолидированной коре Верхнетерского блока Скифской плиты, а его эпицентральная область вытянута в северо-северо-восточном направлении, аналогичном простиранию поперечных Згитского и Халкилойского разломов, и ограничена с юга Сването-Алазанским разломом. Согласно [10], очаг в виде пологой плоскости имеет северо-западное простирание (300°) с углом падения 15° в северо-восточном направлении. Азимут простирания главной оси сжатия фокального механизма Барисахского землетрясения (23.09.1992, $m_b=6,4$.) согласно бюллетеня ISC [3] имеет северо-северо-западное ($A=166^{\circ}$) направление, субпараллельное Диагональному разлому Верхнетерского блока (рис. 2). Через 5 лет после Барисахского землетрясения, 27.11.1997 г., северо-восточнее его эпицентра ($42,87^{\circ}$ с.ш., $45,37^{\circ}$ в.д.) произошло землетрясение с $m_b=5,3$ и глубиной гипоцентра $h=30$ км (землетрясение 20 по [3]), у которого азимут простирания главной оси сжатия фокального механизма также субпараллелен Диагональному разлому (рис. 2).

Таким образом, гипоцентр Барисахского землетрясения локализован в пределах кристаллической коры Верхнетерского блока южного фланга Скифской плиты. Механизм его происхождения, по-видимому, может рассматриваться в рамках региональной геодинамической модели предложенной в [6] – это воздымание и боковое сжатие осевой зоны Большого Кавказа в условиях содвига. Вместе с тем, локальные поля тектонических напряжений формируются в тектонических условиях Верхнетерского блока, где большое влияние оказывают ограничивающие его разломы, Згитский и Халкилойский, а в его восточной части – Диагональный внутриблоковый разлом.

Литература

1. Геологическая карта Кавказа. М-б 1 : 500 000 / Гл. редактор Д.В. Наливкин. М.: НПО «Аэрогеология». 1978.
2. Гравиметрическая карта СССР. М-б 1 : 2 500 000 / Гл. редакторы П.П. Степанов, М.А. Якушевич. М.: ВНИИ «Геофизика». 1990.
3. Лукк А.А., Шевченко В.И. Сейсмичность, тектоника и GPS-геодинамика Кавказа // Физика Земли. 2019. №4. С. 99–123.
4. Махатадзе Л.Н., Мухадзе Т.И., Папалашвили В.Г. Землетрясение 23 октября 1992 года в Гудамарском ущелье // Землетрясения Северной Евразии. Выпуск №1 (1992 г.). Обнинск: ГС РАН, 1997. С. 29–37.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г. / Отв. редакторы Н.В. Кондорская и Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. 535 с.
6. Расцветаев Л.М. Актуальные проблемы структурной геологии и тектонофизики // Тектонофизика сегодня / Ред. Л.М. Расцветаев. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 333–373.

7. *Рогожин Е.А.* Барисакское землетрясение 1992 г. на южном склоне Большого Кавказа: тектоническая позиция очага // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ИФЗ РАН, 1993. С. 148–151.
8. *Саакян Б.В., Геодакян Э.Г.* Основные закономерности и характерные особенности миграции очагов сильных землетрясений на субрегиональном сейсмическом линементе Эрзрум-Боржоми-Казбек // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии / Под ред. В.Б. Заалишвили. Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2022. С. 229–234.
9. *Стогний Г.А. Стогний В.В., Гросс С.С., Пономарева Н.Л.* Геолого-геофизические особенности и сейсмичность области раздела Центрального и Восточного сегментов Большого Кавказа // Нефтяная геология, гидрогеология и геотехника Юга России: сборник научных трудов. Выпуск 3. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2023. С. 64–74.
10. *Gomez J.M., Bukchin B., Madariaga R., Rogozhin E.A.* A study of the Barisakho, Georgia, earthquake of 1992 October 23 from broad-band surface and body waves // *Geophys. J. Int.* 1997. Vol. 129. №3. P. 613–623.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ Г. КРАСНОДАРА

© Н.И. Фролова¹, С.П. Суцев², Н.С. Малаева¹, И.П. Габсатарова³

¹Институт геоэкологии им Е.М. Сергеева РАН, Москва

²МГТУ им. Баумана, Москва

³ФИЦ «Единая Геофизическая Служба РАН», Обнинск

Аннотация Представлены результаты расчета показателей сейсмического риска для г. Краснодара, самого крупного города в Краснодарском крае Южного Федерального округа РФ. Краснодарский край самый сейсмоактивный в ЮФ РФ. Ранее с использованием информации Государственных докладов о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2015 г. (<https://mchs.gov.ru/dokumenty/2109>) и 2021 г. (<https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946>) было установлено, что индивидуальный риск ЧС природного и техногенного характера в Краснодарском крае и Республике Адыгее превосходит допустимый индивидуальный риск ЧС в 9-13 раз, т.е. считается недопустимым. С помощью ГИС «Экстремум» выполнены оценки социальных и экономических показателей индивидуального сейсмического риска по отдельным районам г. Краснодара. Для 28% территории города индивидуальный сейсмический риск R_{s1} составляет менее 1,0·10⁻⁵/год, т.е. пренебрежимо мал. Для 72% территории города, где риск изменяется от 1,0 до 20·10⁻⁵/год, необходимо проведение мероприятий по уменьшению риска и территория должна находиться в зоне жесткого контроля.

Ключевые слова: Краснодар, сейсмический риск, индивидуальный риск, степень повреждения зданий

Территория Краснодарского края (КК) представляет собой зону сочленения платформенных и орогенных структур. В этом регионе с юго-запада на северо-восток выделяются следующие крупнейшие тектонические структуры:

–Туапсинский прогиб со стороны Черного моря;

–Южный склон, Осевая зона, Северный склон горного сооружения Западного Кавказа;

–Западно-Кубанский передовой прогиб, примыкающий к Северному склону;

–Скифская плита и прилегающие области Восточно-Европейской платформы [3, 7, 9]. Несмотря на то, что в целом территория Краснодарского края на современном этапе характеризуется умеренным уровнем сейсмичности, землетрясения с интенсивностью VII-VIII известны здесь в XIX–XX вв. Самые значительные из них: 10.03.1834 г. с $M=3,5$, $I_0=6-7$ баллов; 18.08.1896 г. с $M=4,8$, $I_0=7$ баллов; 19.04.1926 г. с $M=5,3$, $I_0=7-8$ баллов.

Краснодарский край самый сейсмоактивный в Южном Федеральном округе Российской Федерации. Сейсмический режим территории края неоднократно рассматривался в многочисленных работах Е.А. Рогожина и его коллег. Одним из последних таких исследований было детальное **сейсмическое районирование Северо-Западного Кавказа с учетом результатов палеосейсмогеологических исследований** [1, 3]. Результаты этих исследований по сейсмическому режиму и сотрясаемости были использованы нами для расчета оценок показателей сейсмического риска в КК.

При оценке сейсмической опасности и риска в крае особое внимание должно быть уделено проявлениям сейсмичности под Краснодаром, городом–

миллионником, культурным и индустриальным центром края. Результатам расчета показателей сейсмического риска для г. Краснодара посвящена настоящая статья.

Показатели сейсмического риска для г. Краснодара

Расчет показателей сейсмического риска для г. Краснодара был выполнен с помощью ГИС «Экстремум» с учетом актуализации распределения зданий разного типа по шкале MMSK-86 [10] по кварталам города. Была проанализирована информация с сайта “Реформа ЖКХ” (<https://www.reformagkh.ru>) о материале несущих стен и перекрытий в многоквартирных домах, количестве этажей, квартир и подъездов в доме и численности жителей. Дополнительно совместно обрабатывались космические снимки и “фото панорамы” сервиса компании Яндекс.

На рис. 1 приведена карта индивидуального сейсмического риска R_s1 (вероятность смертельного исхода в год) от возможного землетрясения с интенсивностью $I=8$ раз с повторяемостью 1 раз в 1000 лет (карта ОСР-В) для территории г. Краснодара, в табл. 1 - размеры площадей зон с разным уровнем риска.

Таблица 1

Площади зон города с разным уровнем сейсмического риска

Диапазоны $R_s1, 10^{-5}/\text{год}$	Площадь	
	кв. км	%
Менее 1	29	28%
1-10	33	32%
10-20	41	40%

Оценка индивидуального риска R_s1 для города Краснодара на региональном уровне, когда город рассматривается как точка, составляет $9,1 \cdot 10^{-5} 1/\text{год}$. Учет поквартальной застройки города позволяет получить более детальные оценки риска и выявить зоны с повышенным уровнем риска. Полученные на уровне города оценка риска R_s1 изменяются от $<1 \cdot 10^{-5} 1/\text{год}$ до $10-20 \cdot 10^{-5} 1/\text{год}$. Большие значения риска от 10 до $20 \cdot 10^{-5} 1/\text{год}$ характерны для 40% территории (табл. 1). Для 32% территории города риск изменяется от 1 до $10 \cdot 10^{-5} 1/\text{год}$. Для 28% территории города, это районы, застроенные зданиями с антисейсмическими мероприятиями, риск R_s1 пренебрежимо мал. Согласно ГОСТ Р 22.2.10-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» [2], эта территории не нуждается в мероприятиях по уменьшению риска. 72% территории должны находиться в зоне жесткого контроля. Максимальные значения риска достигаются в районах с индивидуальной застройкой, расположенных в Карасунском и Прикубанском округах.

Для территории города с большими значениями риска требуется уточнение возможных негативных последствий землетрясений как в показателях физической и экономической уязвимости, так и оценки последствий сценарных событий для наиболее опасных зон ВОЗ.

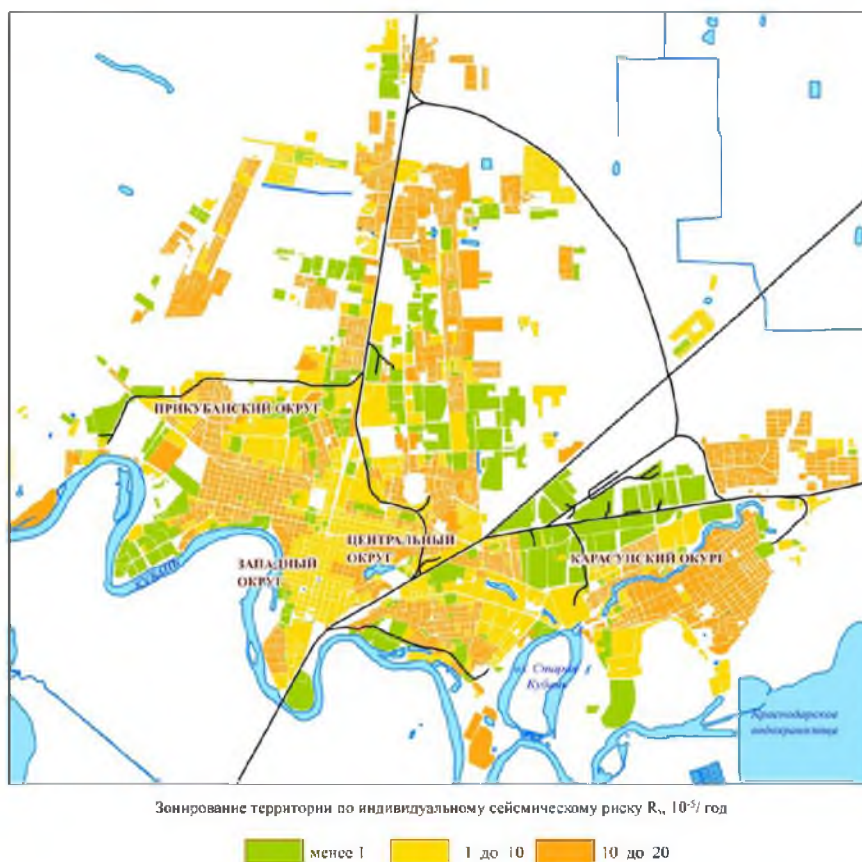


Рис.1. Карта индивидуального сейсмического риска R_{si} для территории г. Краснодара

На рис.2 приведена карта экономической уязвимости или относительных материальных потерь по кварталам г. Краснодара на случай землетрясения с интенсивностью $I=8$ раз с повторяемостью 1 раз в 1000 лет, в табл.2 показаны размеры площадей зон с разным уровнем относительных материальных потерь.

Таблица 2

Площади зон г. Краснодара с разным уровнем относительных материальных потерь

Диапазон относительных материальных потерь	Площадь	
	кв. км	%
0,0-0,2	23	22
0,2-0,4	33	33
0,4-0,6	5	5
0,6-0,8	41	40
0,8-1,0	-	-

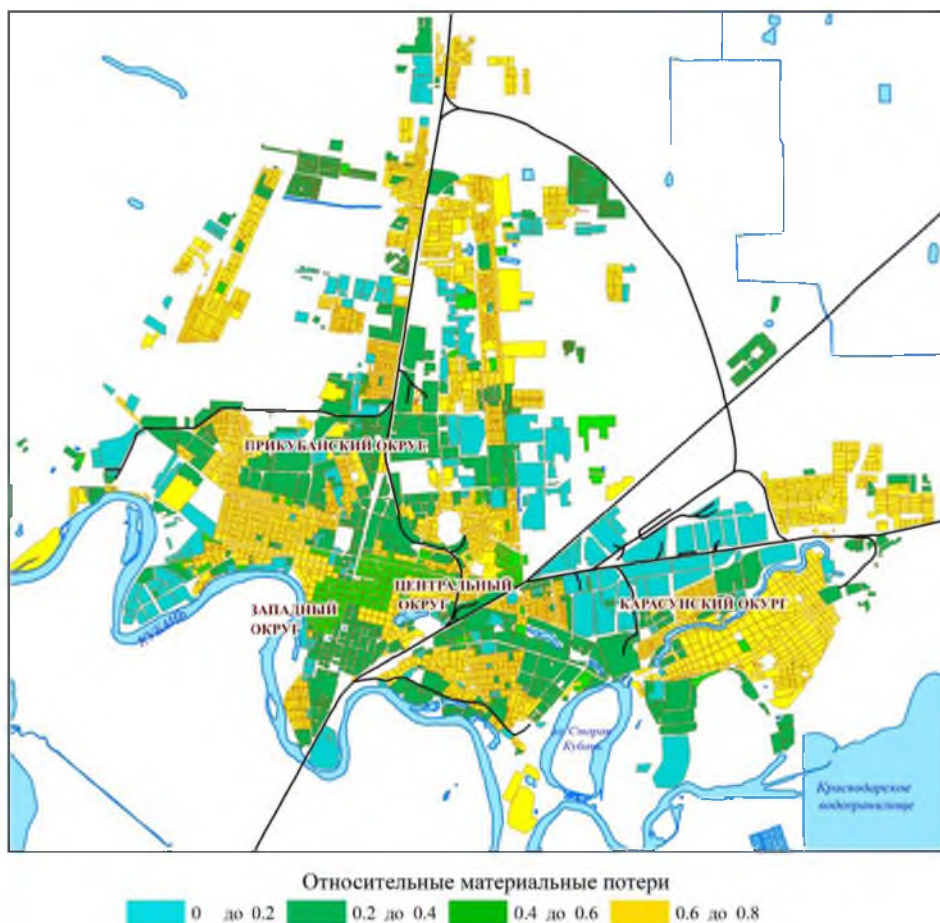


Рис.2. Карта экономической уязвимости г. Краснодара в относительных единицах: цифры – отношение стоимости ремонта к первоначальной стоимости зданий

В случае события с $I=8$ один раз в 1000 лет 22% жилой застройки г. Краснодара может получить незначительные материальные потери, 33% зданий могут получить относительный материальный ущерб от 0,2 до 0,4, почти половина жилой застройки (45%) может получить материальный ущерб 0,4 до 0,8.

В зданиях с относительным материальным ущербом в диапазоне более 0,6 может оказаться 40 % жителей города. Зная стоимость зданий разного типа, можно перейти от относительных значений к абсолютным экономическим потерям от возможных событий и оценить опасность территории по критерию «частота реализации — финансовый ущерб», согласно ГОСТ Р 22.2.10-2016 [2].

Важно отметить, что распределение возможного материального ущерба жилой застройке зависит от преобладания тех или иных типов зданий по шкале MMSK-86 [10] в рассматриваемом квартале города. В исторической части города типовая низкоэтажная застройка (тип В) составляет около 10% и сочетается с индивидуальной застройкой типа А или Б, представленной в равных долях. В случае события с $I=8$ и повторяемостью 1 раз в 1000 лет 40% жилой застройки кварталов в центральной части города может получить частичные разрушения и обвалы ($d=4$, $d=5$). При этом 34% зданий типа Б и В могут получить легкие повреждения ($d=1$), а 14% зданий типа А могут получить

легкие повреждения и 50% зданий этого типа могут быть полностью разрушены ($d=5$), что свидетельствует о значительном вкладе зданий этого типа в общую картину повреждений в кварталах центральной части города (рис. 3).

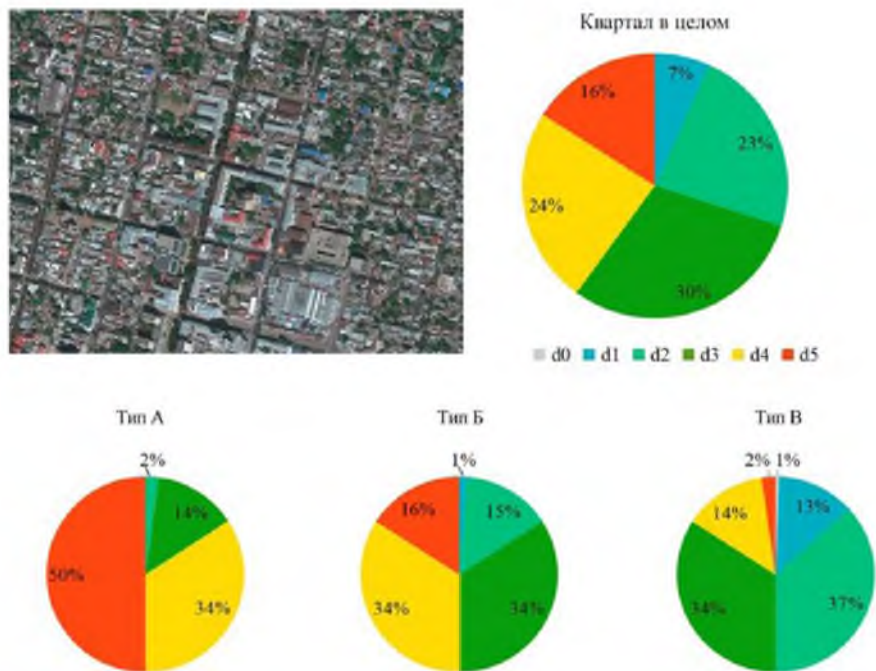


Рис.3. Распределение степеней повреждения зданий разных типов в центральной части города

В микрорайоне Юбилейный жилая застройка представлена высокэтажными более 9 этажей многоподъездными зданиями типа С7, которые составляют 90%, здания типа В составляют 10%. Для таких микрорайонов, где преобладает сейсмостойкая застройка, характерна другая картина распределения возможных степеней повреждения в случае события с $I=8$ и повторяемостью 1 раз в 1000 лет (рис.4). Легкие повреждения ($d=1$) могут получить 37% жилой застройки, 19% могут получить степени повреждения $d=3$ или $d=4$, 5% зданий типа С7 останутся неповрежденными ($d=0$) или получают легкие повреждения ($d=1$). 16% зданий типа В могут получить степени повреждения $d=4$ или $d=5$.

Для перехода от относительных оценок материального ущерба к абсолютным экономическим потерям в случае события с $I=8$ и повторяемостью 1 раз в 1000 лет необходимо знать первоначальную стоимость строительства зданий разного типа и/или рыночную стоимость квадратного метра жилого помещения в домах разного типа с учетом динамики их изменения. Анализ средней рыночной стоимости одного квадратного метра жилья в Краснодарском крае показал, что за последние 5 лет она выросла в 3,6 раза [5, 6]. Средняя стоимость одного квадратного метра жилья в столице края г. Краснодаре за тот же период выросла в 2 раза с 55 до 110 тыс. руб. за m^2 (<https://rosrealt.ru/krasnodar/cena>), средняя стоимость одного квадратного метра индивидуального жилого дома в 2023 г. оценивается в 100 руб. за m^2 (<https://neagent.info/krasnodar/statistic>).

В методическом плане в зависимости от интересов конечного пользователя при пересчете относительных материальных потерь в абсолютные могут дополнительно учитываться затраты на снос и вывоз мусора в случае сильного повреждения или обрушения зданий ($d=4$ или $d=5$).



Рис.4. Распределение степеней повреждения зданий разных типов в микрорайоне Юбилейный

Выводы

Актуализирована информация о застройке г. Краснодара. С помощью ГИС «Экстремум» выполнены расчеты социальных и экономических показателей индивидуального сейсмического риска для г. Краснодара. Анализ полученных результатов свидетельствует о важности мероприятий по понижению уровня риска и обеспечения безопасности населения.

Оценка экономических потерь в абсолютном денежном выражении в случае сильного землетрясения в г. Краснодаре требует дополнительных исследований с учетом интересов конечного пользователя, включая уточнение распределения типов зданий по шкале MMSK-86 и региональных функций уязвимости разных типов зданий, что позволит оценить опасность территории по критерию «частота реализации — финансовый ущерб», согласно ГОСТ Р 22.2.10-2016.

Сравнительный анализ величин индивидуального риска ЧС в 2015 г. (<https://mchs.gov.ru/dokumenty/2109>) и в 2021 г. (<https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946>) с допустимым индивидуальным риском ЧС показал, что в 26 субъектах РФ, в число которых входит Краснодарский край и Республика Адыгея, индивидуальный риск ЧС в 9-13 раз превосходит допустимый индивидуальный риск ЧС, т.е. считается недопустимым [2, 4]. И

хотя эта оценка комплексная – для ЧС природного и техногенного характера, задачей сейсмологов является оценка сейсмической опасности и оценка рисков природного характера, а именно землетрясений.

Полученные оценки показателей сейсмического риска могут быть использованы для информационного наполнения «Автоматизированной информационно-управляющая система РСЧС» (АИУС РСЧС) в целях моделирования последствий землетрясений в регионе и подготовке предложений для принятия решения руководителями органов исполнительной власти.

Литература

1. *Акимов В.А., Зайцев В.А., Ларьков А.С. и др.* Карты сейсмической опасности Северо-Западного и Центрального Кавказа в детальном масштабе // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46, № 4. С. 57–74. <https://doi.org/10.21544/VIS2019.4-4>.
2. ГОСТ Р 22.10.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций: дата введения 2017–06–01/Федеральное агентство по техническому регулированию. Изд. Официальное. М. Стандартинформ, 2019. 15 с.
3. *Милюков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н. и др.* Современные тектонические движения Западного Кавказа и Предкавказья по ГНСС наблюдениям. Геотектоника. 2022. №1. С. 51-67.
4. *Олтян И.Ю., Коровин А.И.* Оценка состояния защиты населения субъектов Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. №. S. С. 29-34.
5. О нормативе стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2019 года : приказ Министра России от 19.12.2018 № 821/пр. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/17817/> (дата обращения 04.06.2023)
6. О нормативе стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2023 года и показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на I квартал 2023 года: Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 22 декабря 2022 г. № 1111/пр. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/275559/> (дата обращения 04.06.2023)
7. *Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И. и др.* Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
8. *Рогожин Е.А., Лутиков А. И., Овсяченко А. Н. и др.* Опыт детального сейсмического районирования Северо-Западного Кавказа с учетом результатов палеосейсмогеологических исследований // Предупреждение чрезвычайных ситуаций: Опыт. Реалии. Перспективы. 2019. С. 288-294.
9. *Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю. и др.* Глубинное строение северо-западного окончания Кавказа по новым геолого-геофизическим данным // Физика Земли. 2020. №. 6. С. 48-65.
10. *Шебалин Н.В., Ершов И.А., Шестоперов Г.С., Гехман А.С.* Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (MMSK-86) на базе шкал MSK-64 и MCCCC-73 (заключительный отчет). М.: MCCCC, ИФЗ, 1986. 61 с.

ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В ЗОНЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ АКСАЙСКОГО И ПШЕКИШ-ТЫРНЫАУЗСКОГО РАЗЛОМОВ

© А.Р. Юсупов, С.А. Мамаев, Е.В. Тулышева, А.С. Мамаев, З.А. Юсупов

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. Единственный на Кавказе вулканический район, расположенный в зоне краевых прогибов, находится во внутренней части Терского прогиба, на восточном окончании Сунженского антиклинального поднятия. Пока установлен один центр извержения, находящийся у южного подножия низкого юго-восточного отрога Сунженского хребта омываемого р. Сунжей, между станциями Ермоловская и Алды (в нескольких километрах юго-западнее г. Грозного). Последние исследования Института геологии ДФИЦ РАН дают предположение существования еще одного вулканического проявления в 70 км юго-восточнее Грозненского вулканического центра.

Ключевые слова: Грозненский вулканический район, верхний плиоцен, андезиты, вулканический пепел, субширотный разлом, Аксайский разлом, валуны андезитов, пироксены, магнетит.

Первая находка вулканической породы была сделана в Грозненском вулканическом районе в начале XX в. К.П. Калицким. Затем А.П. Герасимов (1924 г.) обнаружил в выемке ж.-д. полотна близ ст. Ермоловской маломощный (10 см) прослой вулканогенной породы и описал его как залегающий внутри верхнеплиоценовой толщи миниатюрный поток витрофировых андезитов, вторично сильно загипсованный. В левобережной террасе Сунжи им же найдены скопления обломков, валунов и галек андезитов; предположительно он считал их флювиогляциальными отложениями палео-Терека, материал которых принесен из Казбекской области [1]. Вновь посетив этот участок в 1925 г., К.П. Калицкий пришел к выводу, что описанная А.П. Герасимовым «лава» в действительности представляет загипсованный туфогенный песчаник. Это мнение позднее подтвердили С.А. Благоврагов и др. (1954) на основании литолого-петрографического исследования породы. Однако последующее изучение Грозненского района позволило установить здесь наличие местного центра четвертичных извержений и подтвердить этот вывод результатами геофизических исследований.

Несколько восточнее ж.-д. станции Ермоловская в разрезе третьей 20-25 метровой левобережной террасы р. Сунжи, относящейся, повидимому, к низам верхнего плейстоцена (Q 3), была обнаружена пачка рыхлых конгломератобрекчий (свыше 7 м), состоящих на 90-95% из угловатых обломков и галек светло- и темно-серых, красных, сиреневых андезитов с крупными вкрапленниками плагиоклаза, амфибола и пироксена. Присутствуют также угловатые обломки туфобрекчий и довольно хрупких туфов того же состава. Размер обломков – от 1 до 20 см, изредка до 30-40 см. Незначительную примесь (5-10%) образуют мелкие (1-3 см) хорошо окатанные галечки пород юры и очень редко палеозойских гранитов. Обломки и галька заключены в слабо уплотненном цементе из разнозернистого рыхлого туфопесчаника с отдельными участками, обогащенными глинистым материалом. Слоистость, сортировка и закономерная ориентированность обломков отсутствуют. Очевидно, что

крупные угловатые обломки и глыбы андезитов и их туфобрекчий, в отличие от мелких и хорошо окатанных галек юрских пород и палеозойских гранитов, не могли быть перенесены из Казбекской области водным путем по долине палео-Терека (расстояние 150 – 200 км). Водным переносом с Б. Кавказа нельзя объяснить и резкое выборочное обогащение андезитовым материалом одних прослоев при его незначительном содержании в других. Воздушный перенос в моменты пароксизмов казбекских извержений столь крупных тяжелых обломков (и даже, как мы увидим дальше, глыб до 2-3 м) на расстояние свыше 100 км – также исключен. Столь же невероятно и предположение о ледниковом приносе андезитового материала, поскольку последний прослаивает типичные аллювиальные, а не моренные отложения: кроме того, ни в плейстоцене, ни в позднем плиоцене Кавказские ледники не выходили на равнину и тем более не достигали Сунженского хребта (Е. Е. Милановский, 1966 г. и др.)

Прослеживание третьей террасы вдоль долины р. Сунжа показало, уже в 3-4 км западнее слоев, сложенных в основном обломки андезитов и их туфобрекчий, соответствует метровый горизонт вулканического песка или туфа с включениями лапиллей и обломков андезитов размером не более 5 см. Эти резкие изменения разреза террасы на коротком расстоянии указывают на связь скоплений андезитовых обломков с местным вулканическим центром, который должен был находиться где-то поблизости от первого, более восточного обнажения. Вблизи него, выше ж.-д. полотна на склоне четвертой террасы, Е. Е. Милановским была найдена угловатая глыба андезита размером более 2 м, а позднее М. Н. Смирнова обнаружила коренные выходы темно-серых туфобрекчий, прослеженные на расстояние свыше 50 м. Туфобрекчия состоит из остроугольных обломков (от 2 до 40 см) темно-серых, коричневых и розовых андезитов с вкрапленниками плагиоклаза, пироксенов (преимущественно авгита), роговой обманки, а в некоторых обломках и оливина. Присутствуют также обломки измененной интрузивной породы габброидного состава (SiO_2 – 49,46 %), по структуре близкой к жильным породам типа спессартита, и сильно разложившихся вулканических пород. Обломки, заключенные в туфобрекчии без всякой ориентировки и сортировки, цементируются серым неслоистым андезитовым туфом. Угловатые обломки андезитов и андезитовых туфобрекчий, слагающие конгломерато-брекчию в разрезе третьей террасы Сунжи, отстоящем от описываемого выхода на несколько сотен метров, сходны с соответствующими породами андезитовых туфобрекчий и, очевидно, являются продуктами близкого переноса и переотложения их материала, а может быть и накапливались одновременно с ними. Как те, так и другие, судя по результатам 9 химических анализов, представлены типичными андезитами с отклонениями до андезито-дацитов с содержанием SiO_2 от 62 до 66 %. Макроскопически они сходны с вулканитами Казбекского района, и на петрохимической диаграмме Заварицкого их фигуративные точки ложатся в одну область [4; 5]. Минералогически андезиты грозненского района несколько отличаются повышенной ролью авгита, тогда как в Казбекской области среди пироксенов преобладает гиперстен. Найденный М. Н. Смирновой (1968) коренной выход туфобрекчий, по-видимому, принадлежит центру эксплозивного извержения. В результате детального геофизического изучения на этом участке были выявлены и оконтурены узко-локальные магнитная и положительная гравитационная аномалии, а также резкое повышение (в 10 раз) интенсивности гамма-излучения.

По всей вероятности, этим небольшим аномальным телом является подводящий канал эксплозивного вулканического центра.

Грозненский вулканический центр приурочен к Сунженской антиклинальной зоне, контролируемой глубоким субширотным разломом в домезойском фундаменте Предкавказья. Зона Сунженского глубинного разлома служит восточным продолжением Тырныаузской шовной зоны [2; 3], с которой связано множество центров новейших извержений от Эльбруса на западе до вулканов Сурх и Крандух на востоке. Локализация Грозненского центра, по всей вероятности, связана с тем, что в районе г. Грозного Тырныаузско-Сунженская продольная шовная зона пересекается северо-восточным продолжением зоны Казбек-Цхинвальского глубинного поперечного разлома, контролирующей проявления вулканической и сейсмической активности во всех основных продольных тектонических зонах Кавказа. Максимальная вспышка четвертичных извержений во всех вулканических районах Б. Кавказа, лежащих в зоне Казбек-Цхинвальского разлома, как и в Эльбрусской области относится к началу позднего плейстоцена. Аналогичный возраст наиболее вероятен и для грозненского эксплозивного извержения.

В ходе полевых работ на правом берегу реки Аксай, в районе селения Солнечное, сотрудниками Института геологии ДФИЦ РАН на поле были обнаружены неокатанные валуны и обломки светло-розоватых андезитов размером до 0,6 м в диаметре. Минералогический анализ андезитов показал наличие плагиоклазов, пироксена, магнетита, роговой обманки и оливина. Пироксен с размером зерен до 0,5 см составляет около 5 % от общей массы, а магнетит до 3 %. Роговые обманки и оливин в меньшем количестве. Минеральный состав сходен с андезитами Грозненского проявления.

Место расположение обнаруженных обломков андезитов совпадает с предполагаемым местом пересечения Аксайского разлома антикавказской ориентации с субширотным Пшекиш-Тырныауз-Сунженским глубинным разломом (рис. 1). Здесь возможна подобная ситуация, как с Грозненским вулканическим центром, который приурочен к месту пересечения Пшекиш-Тырныауз-Сунженского и поперечного антикавказского разломов. Места пересечения данных разломов отделены друг от друга на расстоянии около 70 км (1 и 2 на рис. 1). В 60 км к юго-востоку от предполагаемого Аксайского вулканического проявления, на окраине города Буйнакск, был обнаружен слой вулканического пепла общей мощностью более 1 м.

Проявление обнаружено на северо-западной окраине г. Буйнакск в небольшом песчано-глинисто-галечном карьере, расположенном у дороги Буйнакск – Гимры. Здесь отмечен пласт чистых, белого цвета вулканических пеплов мощностью до 0,2-0,3 м, протяжённостью до 10 м. Залегают они на глинисто-песчано-галечных отложениях, аллювиально-делювиального происхождения (в них не отмечено морской фауны). Отмечается падение пласта на с-з под углом до 15°. Пеплы перекрываются светло-жёлтыми глинистыми осадками мощностью от 0,4 до 1,5 м. Эти глины, представляют собой, смесь вулканических пеплов с глинисто-песчаным материалом. В этом слое отмечаются вкрапления белого пепла. В ю-в направлении слой пеплов и глинистого материала выклинивается и сменяется глинисто-песчано-галечным материалом пласта подстилающего пеплы. Все эти отложения перекрываются почвенным слоем темно-бурого цвета мощностью 0,4-0,6 м. Крупнообломочный

материал (галька, гравий) представлен преимущественно известняками белого, светло-серого цвета [6-9].

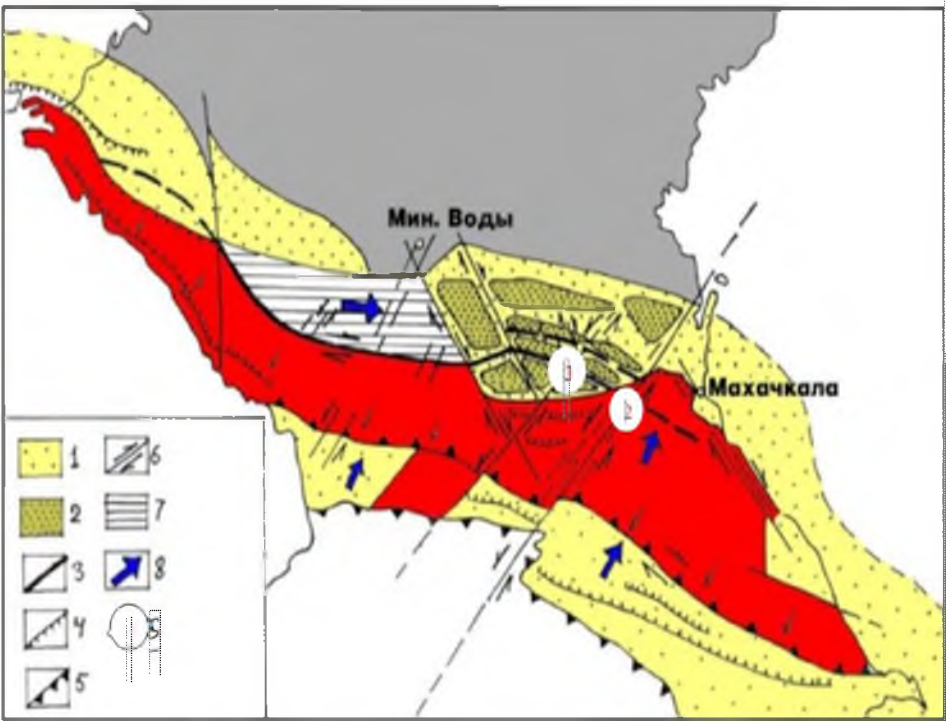


Рис. 1. Скифская плита. Горно-складчатое сооружение Большого Кавказа.
Проявления вулканизма: 1 – известное; 2 – предполагаемое

- Цифрами обозначены:
1. Неоген-четвертичные Предкавказские прогибы и Закавказские межгорные впадины.
 2. Наиболее прогнутые участки Терско-Каспийского прогиба.
 3. Пшекиш-Тырныаузская зона.
 4. Перемещение по надвигам и вергентность складок.
 5. Надвиги рудного тела.
 6. Сдвиги.
 7. Лабино-Малкинская моноклираль.
 8. Основные перемещения масс.
 9. Проявления вулканизма: 1 – известное; 2 – предполагаемое

Макроскопически данные пеплы это белые, тонкозернистые, рыхлые образования, сложенные угловато-сглаженным, угловатым материалом следующей размерности (таб. 1).

Таблица 1
Гранулометрический состав вулканических пеплов в %%. Отобранныфх в
районе г. Буйнакск

Фракции	+0,5	-0,5+0,2	-0,2+0,1	-0,1+0,05	-0,05
Состав	1,5	33,4	19,7	22,7	22,6

Представление о минеральном составе пеплов даёт таблица 2 с результатом минералогического анализа шлиха промытой пробы, отобранной из участка пласта пеплов обогащенных тяжёлой фракцией, что отмечено визуально из первого обнажения на с-з окраине Буйнакск.

Таблица. 2

№№ п/п	Минералы	плотность г/см ³	Содержание по фракции				Содержание минерала в пробе			
			м/фр	Эм/фр	Не м/фр	л/фр	Масса, г.	% на т/фр	% на л/фр	% на шлх
	Вес фракции, г.		0,197	0,67	0,013	0,420				
1	Ильменит	3,75	0,01	2	5		0,0108	1,28		0,33
2	рутил	4,30		1	3		0,0063	0,71		0,48
3	сфен	3,43		0,01	5		0,0005	0,06		0,04
4	циркон	4,70		0,01	25		0,0034	0,39		0,27
5	магнетит	5,00	20				0,0394	4,48		3,03
	пироксен, амфибол магнетитом	5,00	80				0,1576	17,91		12,12
6	кианит	3,85		0,01	11		0,0013	0,14		0,10
7	силлиманит	5,00		0,01	1		0,0002	0,02		0,02
8	амфибол	5,00		16	13		0,1114	12,66		8,57
9	пироксен	5,00		72	6		0,4938	56,12		37,99
10	турмалин	5,00		3	1		0,0207	2,35		1,59
11	эпидот	2,50		1			0,0034	0,39		0,26
12	лимонит	4,00		5	12		0,0287	3,27		2,22
13	гранат	5,00		0,01			0,0001	0,01		0,01
14	апатит	5,00			18		0,0026	0,29		0,20
15	кварц	2,50				28	0,116		27,53	8,83
16	пол. шпат	2,50				41	0,169		40,31	13,02
	серицит ожелез									
17	пол. шпат	2,50				12	0,04505		11,80	3,82
18	глауконит	2,60				0,01			0,01	0,00
19	окремненные									
20	породы, эффузивы	2,80					0,6232		5,51	1,78
21	карбонат	2,70				14	0,0624		14,86	4,80
	сумма		100	100	100	100	1,30	100	100,03	100,0

Содержание тяжелой фракции в пепловом слое колеблется от 0,5 до 7,0 %. Размеры отдельных зерен пироксенов и магнетита достигают до 1,0 мм, что указывает на близость очага вулканизма. По процентному содержанию некоторых минералов состав данных пеплов соответствует составу Аксайских андезитов Дагестана.

Таким образом, полевые материалы полученные нами позволяют предполагать наличие вулканического очага в районе пересечения Аксайского разлома антикавказской ориентации с субширотным Пшекиш-Тырныауз-Сунженским глубинным разломом.

Проявления орогенного вулканизма в зонах краевых прогибов представляют весьма редкое явление и встречаются лишь там, где ареалы некоторых внутриорогенных или внутриплатформенных вулканических областей «вторгаются» в пределы краевых прогибов по зонам глубоких поперечных нарушений. Грозненский центр обнаруживает ясную структурную связь и петрохимическую общность с Казбекской вулканической областью (подобно тому, как вулканический центр Бакэу в Предкарпатском прогибе Румынии связан с внутрикарпатской вулканической областью Кэлиман-Харгита). Хотя Грозненский центр находится в Терском прогибе, а Казбекская область – в пределах мегантиклинория Б. Кавказа – оба этих родственных вулканических района расположены в рамках раннеальпийской геосинклинали Б Кавказа, очевидно, обладающей определенной общностью глубинного строения земной коры. Напротив, Эльбрусская область, резко отличающаяся от Грозненского района и Казбекской области по составу новейших вулканитов, хотя и входит вместе с последней в состав мегантиклинория Б. Кавказа, но в основном лежит вне зоны глубокого раннеальпийского геосинклинального погружения и, несомненно, существенно отличается от последней по особенностям глубинного строения коры (в частности, повышенной мощностью гранитно-метаморфического слоя).

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808457-2-1.5.6.

Литература

1. Герасимов А.П. Следы третичной вулканической деятельности близ г. Грозного. Известия Геолкома, т. 39, 1924 г.
2. Милановский Е.Е. Тектоническое положение и некоторые черты истории кайнозойского магматизма Эльбрусской вулканической области. Бюлл. МОИП. Отд. Геол., № 4, 1959 г.
3. Милановский Е.Е. Орогенный вулканизм и тектоника Кавказа. Геотектоника, № 3, 1966 г.
4. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., Недра, 1968 г.
5. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. Издательство Недра, М., 1973.
6. Богуш И.А., Газалиев И.М., Рябов Г.В. и др. Горнорудные производства и экологические проблемы гидросферы горских республик Северного Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3. № 3 (11). С. 5-14.

7. Мацапулин В.У., Юсупов А.Р., Тульшиева Е.В., Исаков С.И. Формы залегания вулканических пеплов в верхнекайнозойских отложениях Восточного Кавказа (Дагестан) // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2009. № 55. С. 253-256.
8. Сулейманов В.К., Юсупов А.Р., Абдуллаев М.Ш. и др. О некоторых результатах исследования аргиллитов среднеюрского возраста Горного Дагестана // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2020. Т. № 4 (22). С. 23-30.
9. Черкашин В.И., Мацапулин В.У., Юсупов А.Р. Верхнеплиоцен-четвертичный вулканизм Восточного Кавказа (Дагестан) // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2008. № 52. С. 22.

III. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

ГЕОЭКОЛОГИИ.

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА



ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЛЕДНИКОВОЙ ЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕДНИКА МИЖИРГИ)

© А.Р. Акаев, И.Ж. Шидугов

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. В рамках, данной работы рассмотрены возможности применения БПЛА в изучении опасных природных процессов, которые происходят в высокогорной (ледниковой) зоне. Данная методика использования аэрофотоснимков может быть применена для любого исследуемого района. Работа проведена на примере селевого потока 2022 г., в приледниковой зоне ущелья Мижирги.

Ключевые слова: приледниковый, БПЛА, ортофотоплан, селевой очаг.

Дистанционные данные – наиболее универсальная форма регистрации изображения, несущая географическую информацию об исследуемых объектах, которая обеспечивает возможность интерполяции и экстраполяции наземных данных [4]. В последнее время проведение наземных точечных и маршрутных исследований дополняется работами, связанными с запуском беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Данные съемки с помощью БПЛА в настоящее время рассматриваются как более дешевая и оперативная альтернатива использованию спутниковых данных [1].

Самое важное достоинство БПЛА заключается в том, что фотографии имеют информацию о высоте съемки с GPS-позиционированием. С помощью специальных программ (например, Agisoft) создаются трехмерные модели и ортофотопланы. Далее эти модели экспортируются в картографические программы (ArcGIS, Qgis и другие) и там уже работать с ними как с полноценным картографическим продуктом – создавать подробные топопланы, измерять объемы и т.д. Использование БПЛА весьма перспективно в географических исследованиях и при условии удешевления со временем они станут таким же неотъемлемым прибором в географических исследованиях, как GPS. Методы и способы их использования ограничиваются только техническими характеристиками и задачами исследователя [3].

В качестве примера использования БПЛА рассмотрим исследования проведенные в приледниковой, потенциально опасной, зоне ледника Мижирги.

Первое дистанционное зондирование, исследуемого участка, с применением БПЛА, было проведено 26 июля 2022 г. в 12:00-13:00 по московскому времени. Целью съемки был язык ледника Мижирги. В целом, задача была выполнена и язык ледника заснят.

13 августа 2022 г. в долине р. Мижирги в условиях отсутствия атмосферных осадков сошел необычный сель, очаг которого был на правой стороне береговой морены ледника Мижирги. В результате этого события, было принято решение повторной съемки участка исследования для получения более точных данных для изучения селевой активности на данном участке.

Повторную съемку провели 28 августа 2022 г. в 14:00-15:00. Съемка местности проводилась при помощи БПЛА «DJI Mavic Air 2». В процессе съемки использовались различные сочетания высоты и скорости движения, стандартная камера указанного аппарата. Оптическая система аппарата характеризуется сильной дисторсией, что выражается в искажении получаемых кадров. Относительным недостатком БПЛА «DJI Mavic Air 2» является штатная цифровая камера: из-за дисторсии (геометрическое искажение / искривление объектов съёмки) только небольшая центральная часть снимка оказывается пригодной для формирования стереопары.

В целях геопространственной фиксации материалов воздушного зондирования и минимизацией искажений цифровых материалов БПЛА, с учетом невысокой точности штатной навигационной системы БПЛА, обычно по периметру и в центре исследуемого участка размещаются опорные знаки с высокоточными данными координат, используемых для трансформации мозаики снимков и ортофотоснимков участка. Так как у нас такой возможности не было, нами была предпринята попытка привязки одного полного проекта к другому не готовому, для уменьшения погрешности между двумя проектами.

Для этого мы взяли данные точек, которые прослеживаются на обеих проектах и сделали их привязку относительно друг друга (рис. 1).

Первый этап обработки полученных снимков начинается с выравнивания снимков в специальном приложении Agisoft Metashape Professional. На этом этапе идёт центрирование снимков и отсеивание лишних фотографии с неправильным углом съемки или с лишними участками. Так были созданы два проекта для исследуемой области «до селя» и «после селя». В проект «до селя» было загружено 477 фотографии, из которых выровнено было 468, а в проект «после селя» 150 фотографии и выровнено 149. Наличие большого объема снимков в первом проекте обусловлено с целью первой съемки – заснять язык ледника, а вторую проводили уже более локально – очаг селя.

Второй этап обработки снимков – это создание плотного облака точек, используя результаты фототриангуляции и полуглобальный метод отождествления соответствующих точек. Этот процесс проводим только для одного проекта «после селя», так как у нас, пока, нет опорных точек. Для этого проекта было построено облако из более чем 63 млн. точек.

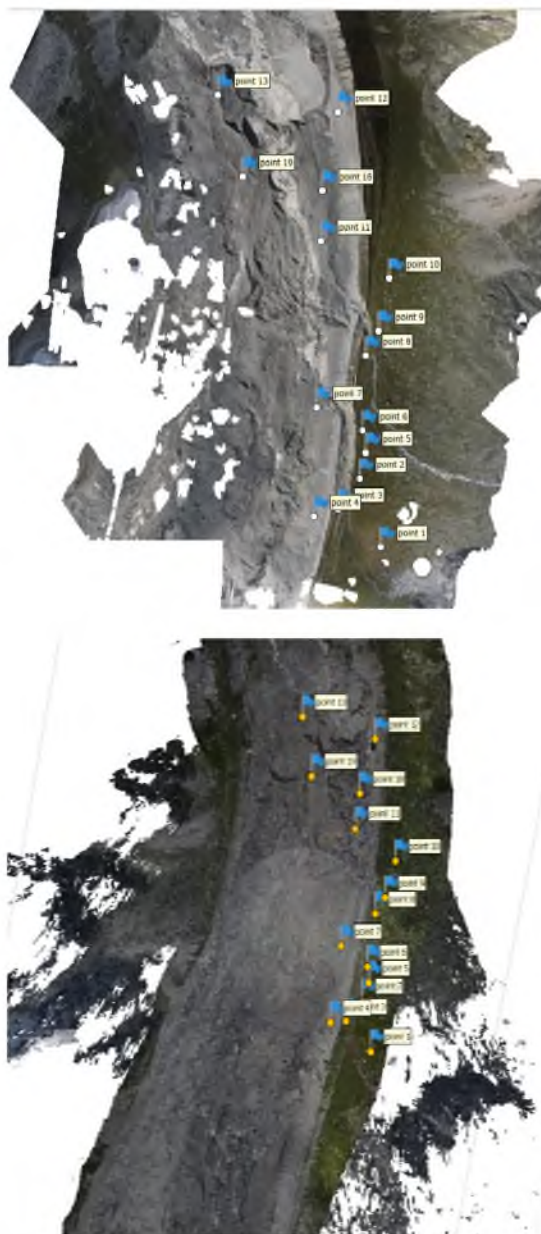


Рис. 1 Привязка двух проектов

Третий этап построение ЦММ (цифровая модель местности) на основе плотного облака точек (рис.2). Искажение по краям снимков и недостаточное их перекрытие обуславливает наличие шумов по краям проекта. Поэтому при построении плотного облака точек на границе полигона съемки (особенно над угловыми точками), будут наблюдаться артефакты в виде интерференционных волн. Участок съемки следует выбирать с буфером минимум в один снимок от границы области интереса.

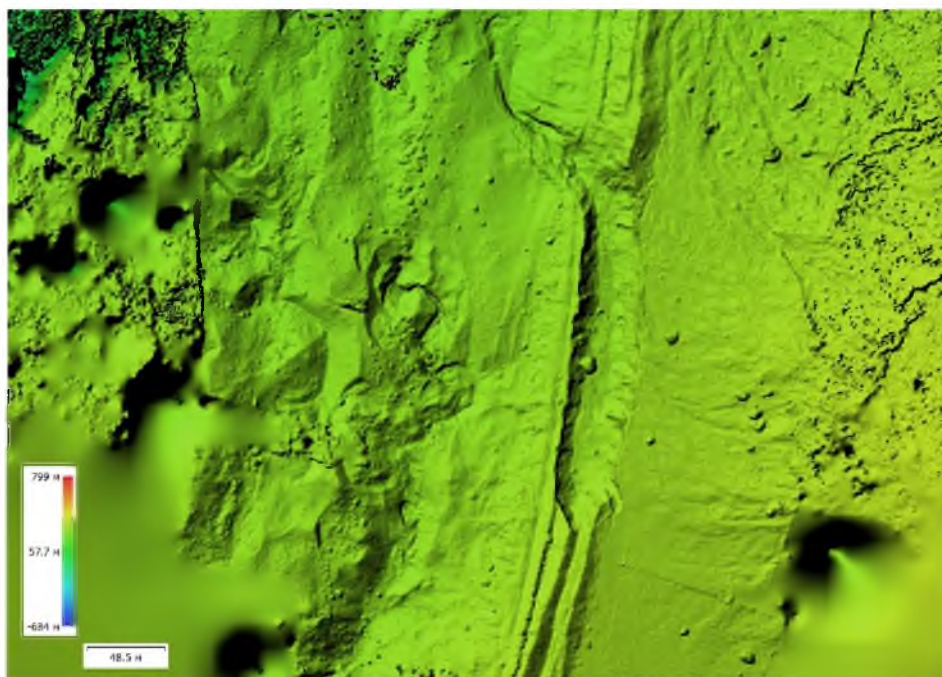


Рис. 2. Цифровая модель местности

Последний для нас этап – это создание ортофотоплана участка на основе уже полученных данных (рис. 3). Ортофотоплан – фотографическое изображение местности, полученное из ортофооснимков, без искажения рельефа местности.



Рис. 3. Ортофотоплан участка

Далее проходил отбор опорных точек для следующего проекта, для этого находились стационарные точки на обоих проектах, которые не изменили свое положение в результате селя или в результате подвижек ледника. После все

полученные маркера, со своими данными, были экспортированы во второй проект. Потом все тот же алгоритм действия мы проводим для проекта «до селя». В результате, исследуемый участок, на обоих проектах, практический полностью совпадает (рис. 4).

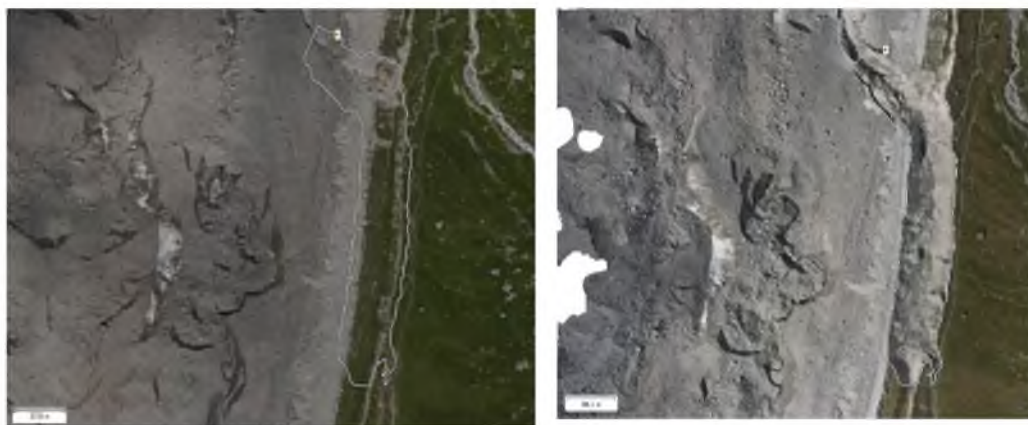


Рис. 4. Селевой очаг до и после

Селевой очаг представляет собой врез с ассиметричным поперечным профилем – левый край возвышается над дном вреза на 6-9 м, а правый на 16-20 м. Длина вреза, по центральной части, около 260 м, ширина 30-40 м, площадь – 10,7 км². Объем материала, в пределах контура вреза, определённый в программе Agisoft Metashape Professional более 100 тыс. м³.

В результате анализа разновременных космоснимков и материалов аэрофотосъемки было сделано предположение о механизме селеформирования и процессах его подготовки, связанных с особенностями динамики ледника Мижирги [2].

В настоящее время БПЛА имеют все необходимые технические и функциональные возможности для обеспечения полноценных научно-исследовательских работ опасных природных явлений. Использование БПЛА обеспечивает гибкость выбора периода наблюдения и типа полученных данных. Ортофотопланы, полученные с помощью БПЛА, являются хорошим аналогом космоснимков на небольшие территории. Главный недостаток нашей съемки, отсутствие наземной сетки координат в следствии: относительные высоты и погрешность при экспорте на карту местности.

Рассмотренный выше способ использования снимков, полученных с помощью БПЛА, являются перспективными, несмотря на некоторые недостатки, в большей части обусловленные несовершенством применяемого оборудования. В результате, актуальной задачей остается разработка технологии мониторинга ледников и опасных процессов на основе применения беспилотных летательных аппаратов.

Литература

1. Атутова Ж.В. Опыт применения дистанционных данных при изучении восстановительной динамики геосистем – Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Иркутск: изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. 2018. 135 с.

2. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р. Деградация долинных ледников и селевая опасность // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата», посвященной Всемирному дню ледников» (18-21 марта 2023 года), Душанбе: Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. 2023. С. 23–28.
3. Воскресенский И.С. Применение БПЛА для мониторинга оползневых и эрозийных процессов (на примере центра Русской равнины) / Сучилин А.А., Ушакова Л.А., Шафоростов В.М., Энтин А.Л. Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2018. 135 с.
4. Коновалова Т. И. Геосистемное картографирование. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео» 2010. 186 с.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

© А.К. Ахсалба^{1,2}, С.И. Марандиди¹, Я.А. Эмба^{1,2},

¹*Институт экологии АНА, Абхазия, Сухум*

²*Абхазский государственный университет, Абхазия, Сухум*

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы пространственного (трехмерного) распределения содержания газовых компонентов на высотах от поверхности Земли до 70- 80 км, в связи со значительными изменениями состояния атмосферы в тропосфере и верхней атмосфере, наблюдаемыми в последние десятилетия. Атмосферные аэрозоли оказывают существенное влияние на климат Земли как прямым, так и косвенным образом. В работе приведены данные спутниковых наблюдений над парниковыми газами. Основное внимание уделяется анализу сезонной и межгодовой изменчивости содержания парниковых газов и их влияние на климат Республики Абхазия.

Ключевые слова. Парниковые газы, Республика Абхазия, дистанционное зондирование, сезонная изменчивость, температура воздуха, углекислый газ, метан, оксид углерода.

Необходимость упорядочения наблюдений за составом атмосферы ведет к созданию глобальной системы наблюдений. Важной ее составной частью является глобальная космическая система наблюдений, бурное развитие которой наблюдается последние два-три десятилетия. Спутниковые методы измерений интенсивно используются для изучения характеристик газового состава атмосферы и, прежде всего, для исследований пространственно-временных вариаций и трендов в содержании газовых компонентов атмосферы.

Спутниковые исследования дают возможность обобщать данные на огромные пространства и даже на весь земной шар. Используя чувствительные приборы — спутниковые спектрофотометры, удается измерять концентрацию атмосферных газов, в том числе вызывающих парниковый эффект [5-10]. Джованни (Giovanni NASA) — это инструмент, который отображает данные науки о Земле со спутников НАСА непосредственно в Интернете, без трудностей традиционных методов сбора и анализа данных. Джованни — это аббревиатура от Центра данных и информационных услуг Goddard Earth Sciences или GES DISC, интерактивной онлайн-инфраструктуры визуализации и анализа [11-12]. С помощью нескольких щелчков мыши данные с различных приборов на спутниках НАСА могут отображаться в различных форматах, включая графики площадей, временные ряды, средние меридиональные, средние зональные и вертикальные профили, среди прочих (рис.1).

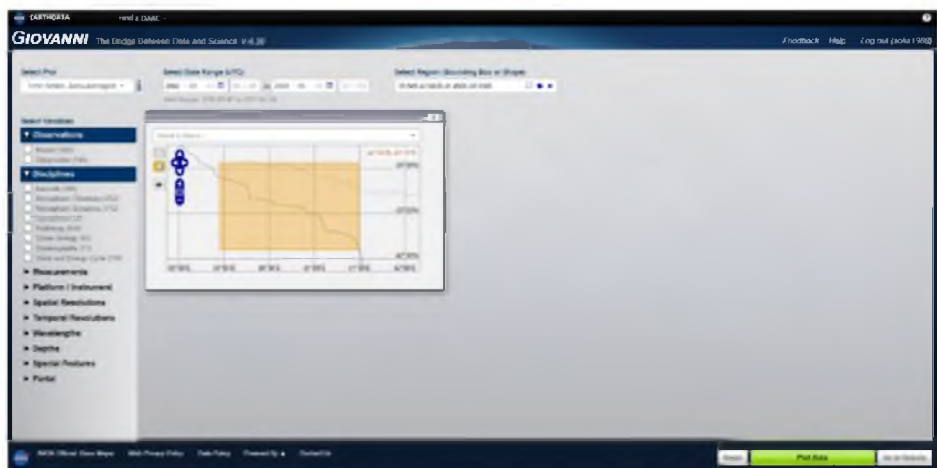


Рис.1. Рабочее окно Джiovанни (Giovanni NASA)
(на фото выделена территория Абхазии и близлежащая акватория)

Доступ к данным и их отображение осуществляется через набор интерфейсов, каждый из которых позволяет строить графики параметров одного или нескольких спутниковых приборов. Осадки, температура, влажность и концентрация газов – это лишь некоторые из предоставленных параметров. На рисунке 2 представлен график временных рядов метана CH_4 , полученный с помощью Giovanni NASA, для территории Абхазии за первое полугодие 2023 гг. Видно, что максимальные значения наблюдались в феврале, а минимальные — в мае:

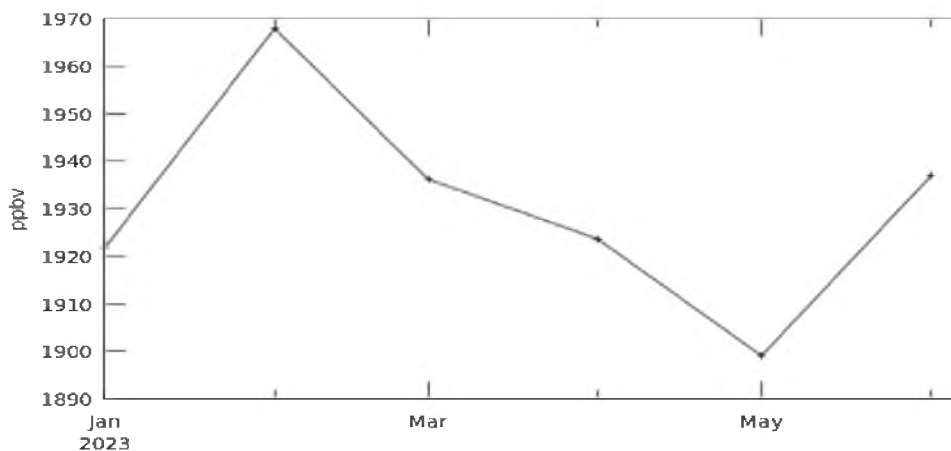


Рис.2. Временные ряды усредненные по площади метана (мольная доля в воздухе), январь-июнь 2023 гг., регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия)

На рисунке 3 представлено сезонное распределение оксида углерода CO для территории Абхазии за январь-июнь 2023 гг., максимальные значения наблюдались в марте, а минимальные — в июне:

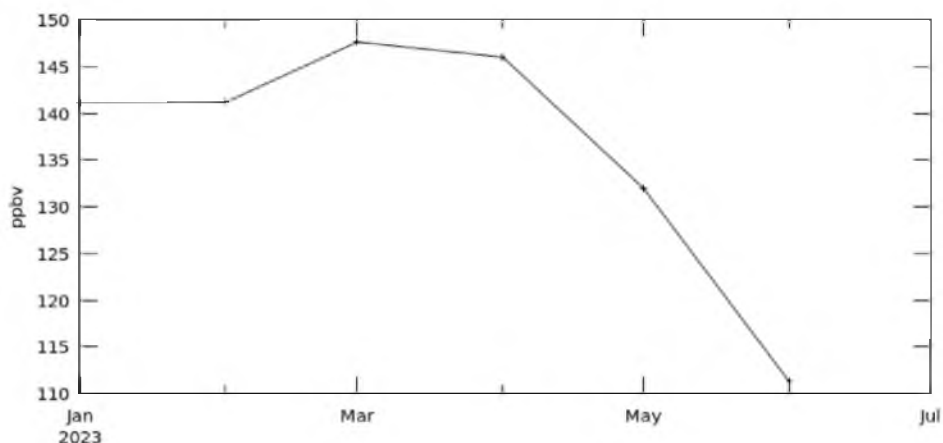


Рис.3. Временные ряды усредненные по площади оксида углерода (мольная доля в воздухе), январь-июнь 2023 гг., регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия)

На рисунке 4 представлен график временных рядов метана за сентябрь 2002 - июнь 2023 гг.. Согласно данным графика, наблюдается повышение концентрации CH_4 с максимальным значением в 2023 г., составившем 1967.88 ppbv:

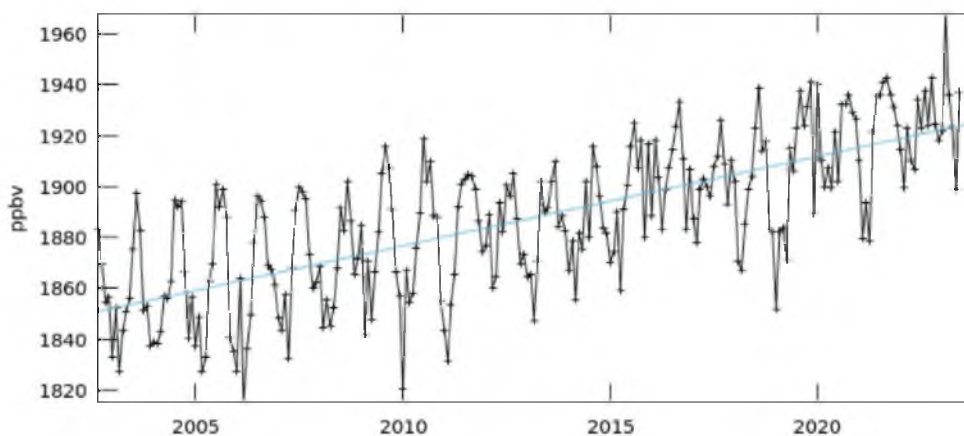


Рис. 4. Временные ряды усредненные по площади метана (мольная доля в воздухе), сентябрь 2002 — июнь 2023 гг., регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия), 1°, 1000 гПа (750 мм рт. ст.)

На рисунках 5.а и 5.б представлены графики временных рядов углекислого газа CO_2 для территории Абхазии за 2002-2012 гг. и за 2015-2022 гг. Из рис. 5 а следует, что минимальное значение было отмечено в 2002 г. и составляло 369.147 ppm, максимум же наблюдался в 2012 г. и составил 395.165 ppm. Из анализа рис. 5 б прослеживается дальнейший рост концентрации CO_2 вплоть по нынешнее время.

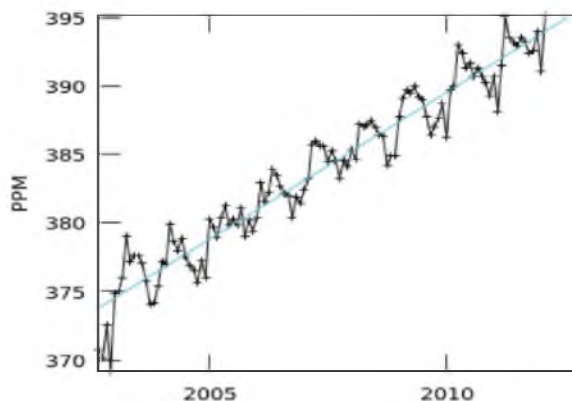


Рис.5.а. Временные ряды, усредненные по площади для диоксида углерода CO_2 , (молярная доля в воздухе) в свободной тропосфере для черноморской акватории Абхазии, сентябрь 2002 - июнь 2023 гг., регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия), $2 \times 2,5^\circ$

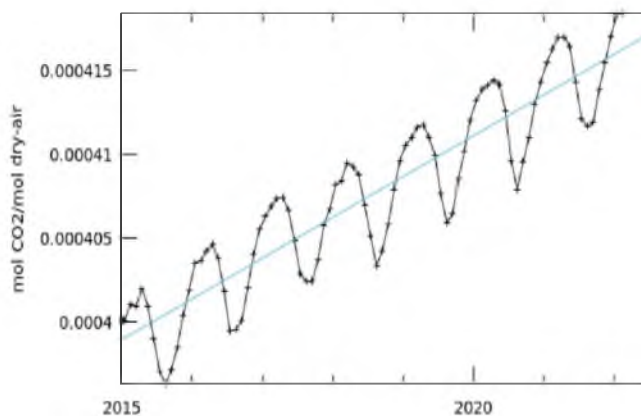


Рис.5.б. Временные ряды, усредненные по площади для диоксида углерода CO_2 , среднесуточный столб ассимилированного сухого воздуха $0,5 \times 0,625$ град. [GEOS-CHEM $\text{OCO}_2\text{-GEOS\_L3CO}_2\text{-DAY v10r}$] моль CO_2 / моль сухого воздуха за 2015-01-01 12Z - 2022-02-01 11Z, регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия), 1° , 1000 гПа (750 мм рт.ст.)

На рисунке 6 представлен график временных рядов оксида углерода CO для черноморской акватории Абхазии за 2002-2023 гг. Прослеживается понижение концентрации CO за рассматриваемый период с максимальным значением 212.051 ppbv в 2002 г. и с минимальным значением 89.7926 ppbv в 2020 г., что говорит о значительном понижении его концентрации в атмосферном воздухе .

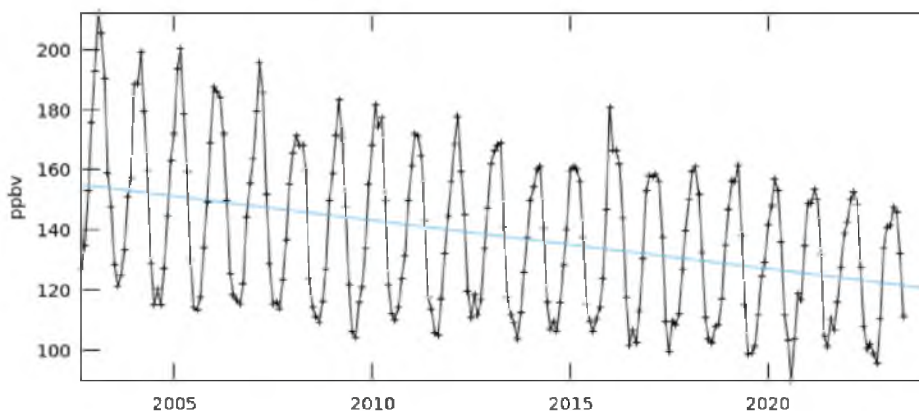


Рис.6. Временные ряды, усредненные по площади для оксида углерода CO (молярная доля в воздухе) в свободной тропосфере для черноморской акватории Абхазии, сентябрь 2002 - июнь 2023 гг., регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия).

На рисунке 7 представлен график временных рядов температуры воздуха для территории Абхазии 2002-2023 гг.

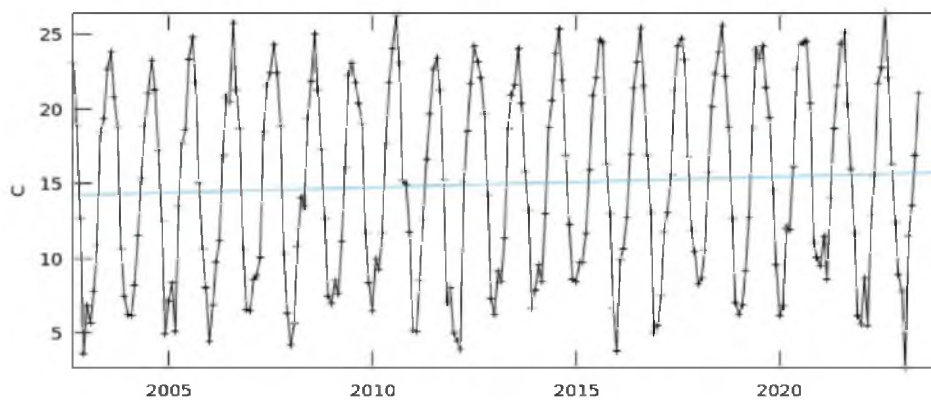


Рис.7. Временные ряды, усредненные по площади для температуры воздуха для территории Абхазии, сентябрь 2002 - июнь 2023 гг., °C, месячные данные, регион 40 E.42N.40 E.43 N (Абхазия), 1°, 1000 гПа (750 мм рт.ст.)

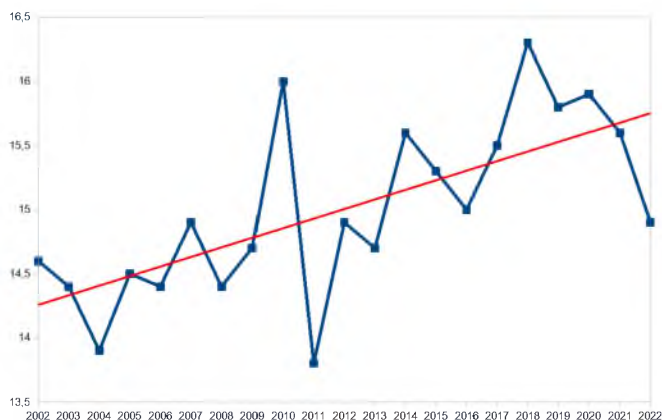


Рис.8. Среднегодовые температуры воздуха для территории Абхазии, рассчитанные по данным Джиованни

Заключение

Данные дистанционных зондирования газового состава атмосферы на территории Абхазии за 2002-2023 гг. показали, что наблюдается рост концентрации метана и углекислого газа и значительное понижение концентрации оксида углерода.

За период 2002-2022 гг. концентрация углекислого газа повысилась. Относительно сезонных изменений можно отметить повышение концентрации углекислого газа в зимний и весенний периоды. Минимальные концентрации наблюдаются в летний период.

Литература

1. *Ахсалба А.К.* Многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Абхазии // Известия вузов Северо-Кавказского региона. 2007. № 5. С. 10-17.
2. *Бортковский Р.С.* К оценке среднего обмена кислородом и CO_2 между океаном и атмосферой в ключевых районах океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42, № 2. С. 250-257.
3. *Гицба Я.В., Дбар Р.С., Эмба Я.А.* Окислительно-восстановительные реакции в черноморской акватории Абхазии // Труды третьей региональной конференции «Биоразнообразие Кавказа». Нальчик, 2004. С. 34-37.
4. *Эмба Я.А., Дбар Р.С.* Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сочи, 2007. 324 с.
5. Science writer's guide to Terra: Technical report. NASA's Earth Science Enterprise. NASA Headquarters. Washington, DC 20546: Earth observing system project science office, 1999.
6. Savtchenko A., Ouzounov D., Ahmad S. et al. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC // Adv. Space Res. 2004. Vol. 34, N 4. P. 710–714.
7. Salomonson V.V., Barnes W.L., Maymon P.W. et al. MODIS: Advanced facility instrument for studies of the earth as a system // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1989. Vol. 27, N 2. P. 145–153.
8. Aumann H.H., Chahine M.T., Gautier C. et al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products, and processing systems // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2003. Vol. 41, N 2. P. 253–264.
9. Parkinson C.L. Aqua: an earth-observing satellite mission to examine water and other climate variables // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2003. Vol. 41, N 2. P. 173–183.
10. Kawanishi T., Sezai T., Ito Y. et al. The Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2003. Vol. 41, N 2. P. 184–194.
11. <http://www.scanex.ru/ru/site/stations/default.asp?submenu=eoscan&id=index>.
12. <http://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=981>.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕКАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КAVKAZA

© Ф.А. Атабиева, А.С. Отарова

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. Одним из наиболее распространенных химических загрязнений поверхностных вод является загрязнение тяжелыми металлами. Тяжелые металлы, оставаясь токсичными даже в следовых количествах, оказывают негативное влияние на водные объекты. В воде изучаемых нами рек (Малка, Баксан, Черек, Чегем, Урух, Терек в среднем и нижнем течении) за счет дренажа воды с породами с горных массивов непосредственно в речные воды поступают разнородные металлосодержащие соединения. В результате вода рек характеризуется весьма широким диапазоном концентраций соединений тяжелых металлов. При этом концентрации некоторых соединений, обусловленные природными факторами, часто превышают единые общедеревательные нормативы качества воды (ПДК). Целью данного исследования является оценка содержания приоритетных соединений тяжелых металлов Мо, Мп и Си в реках Центрального Кавказа с учетом влияния техногенных и природных источников загрязнения. Концентрации растворенных форм соединений тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с применением электротермической атомизации с использованием спектрометра «МГА-915М». Постоянное превышение ПДК по соединениям молибдена, марганца, меди в воде рек Центрального Кавказа имеет, явно, природный характер, так как на исследуемой территории отсутствуют предприятия горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов.

Ключевые слова: реки, качество, загрязненность, концентрация, тяжелые металлы.

Введение

Тяжелые металлы поступают в водную среду в результате природных и антропогенно-обусловленных процессов. Тяжелые металлы обладают высокой способностью к многообразным химическим, физико-химическим и биологическим реакциям. Тяжелые металлы являются особо опасными химическими веществами, так как в отличие от загрязняющих веществ органической природы, разлагающихся в природных водах в той или иной степени, соединения тяжелых металлов в них стабильны и сохраняются длительное время даже после устранения источника загрязнения [1-3, 7-9, 11, 14-17].

В воде изучаемых нами рек: Малка, Баксан, Черек, Чегем, Урух, Терек, за счет дренажа воды с породами с горных массивов непосредственно в речные воды поступают разнородные металлосодержащие примеси. В результате вода рек характеризуется весьма широким диапазоном изменения концентраций соединений тяжелых металлов. При этом концентрации некоторых соединений, обусловленные природными факторами, часто превышают единые общедеревательные нормативы качества воды (ПДК). Например, качество воды реки Малка в фоновом створе соответствует III классу – «умеренно загрязненная», из-за высокого содержания металлов, что связано с наличием полиминеральных руд на водосборной площади [13].

Основной целью данной работы является оценка региональных особенностей временной и пространственной изменчивости содержания таких соединений тяжелых металлов, как Mo, Mn и Cu в реках Центрального Кавказа с учетом влияния техногенных и природных источников загрязнения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись реки Терек, Малка, Баксан, Черек, Чегем, Урух. Истоки рек Терек, Малка, Баксан, Черек, Чегем, Урух расположены в ледниках Главного Кавказского и Бокового хребтов (рис.1). У истоков в летний период эти реки имеют ледниковое питание, вниз по течению тип питания рек меняется [10].

Река Терек. Бассейн Терека относится к Каспийскому водосборному пространству. Длина реки Терек составляет 623 км, площадь водосборного бассейна – 43200 км². В низовьях, распадаясь на ряд протоков, река Терек впадает в Каспийское море и Аграханский залив.

Река Малка – самый большой левобережный приток Терека; длина 200 км, площадь водосбора 10500 км². Площадь оледенения в бассейне реки достигает 593 км², что составляет около 6% от общей площади водосбора.

Река Баксан. Длина реки – 169 км, площадь её водосборного бассейна – 6800 км². Имеет множество притоков, наиболее крупными из которых являются реки Черек и Чегем, которые впадают в неё чуть выше слияния с Малкой.

Река Черек. Образуется от слияния рек Черек Безенгийский и Черек Балкарский, берущих начало на ледниках северного склона Главного Кавказского хребта и их отрогов. Длина реки 79 км, водосборная площадь 3070 км².

Река Чегем. Образуется от слияния двух рек Башиль-Аузусу и Гара-Аузусу. Площадь водосбора бассейна реки равна 931 км². Река Чегем, являясь правым притоком р. Баксана, впадает в нее на 33-м км от устья. Современное оледенение преимущественно сосредоточено в бассейнах рек Башиль-Аузусу и Гара-Аузусу

Река Урух. Вытекает из ледника Харвес в Дигорском ущелье Северной Осетии. Протекает по территории Северной Осетии и Кабардино-Балкарии. Урух течет по глубокому, живописному Дигорскому ущелью. Впадает Урух в Терек вблизи станицы Александровская [4].

р. Чегем	68	43.559249 43.445579	с. Лечинкай
	87	43.576162 43.586777	г. Чегем-2
р. Черек	54	43.327855 43.632353	г. Кашхатау
	112	43.671298 44.046419	п. Октябрьский
р. Урух	76	43.321230 44.023943	с. Урух
	105	43.472409 44.079697	ст. Александровская
р. Терек	151	43.315448 44.212947	с. Эльхотово
	230	43.681515 44.368029	с. Хамидие

В 2022 г. отборы проб воды проведены 7 раз (в зимнюю межень, во время половодья — на подъеме, пике и спаде; во время летней межени — при наименьшем расходе и прохождении дождевого паводка и осенью); отобраны и проанализированы пробы воды 11 рек в 22 постоянных створах. Всего было отобрано 154 пробы воды.

При отборе проб фиксировали время, температуру воздуха и воды, прозрачность воды. Пробы отбирали в полиэтиленовые емкости и хранили в холодильнике при температуре +5°C. Пункты наблюдений в 2022 г. приведены в таблице 1.

В стационарных условиях во всех отобранных пробах измеряли водородный показатель, концентрации растворенных форм соединений хрома, никеля, молибдена, свинца, цинка, марганца, меди, серебра, ванадия, кадмия.

Для определения концентраций пробы воды фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Полученный фильтрат консервировали азотной кислотой из расчета 0,1 мл на 100 мл пробы воды.

Концентрацию растворенных форм соединений тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с применением электротермической атомизации с использованием спектрометра «МГА-915М» [12]

Результаты и обсуждение

Результаты измерений в виде средних значений и диапазонов колебаний концентраций в воде рек даны только для тех соединений, концентрации которых превышают значения ПДК (таблица 2). По соединениям свинца и цинка обнаружены единичные случаи превышения ПДК, концентрации растворенных форм соединений хрома, никеля, серебра, ванадия, кадмия не превышали ПДК.

Таблица 2

Средние значения концентраций загрязняющих веществ и их диапазоны в воде рек с преобладанием ледникового питания, в среднем и нижнем течении в 2022 г.

Показатель, единица измерения	Среднее течение		Нижнее течение		ПДК, единица измерения
	X _{ср}	X _{min} -X _{max}	X _{ср}	X _{min} -X _{max}	
	р. Чегем				
Мо, мкг/дм ³	1,19	0,10-3,71	1,19	0,10-3,71	1, мкг/дм ³
Мп, мкг/дм ³	8,02	3,29-18,63	8,02	3,29-18,63	10, мкг/дм ³
Си, мкг/дм ³	2,08	0,10-3,96	3,27	0,75-5,72	1, мкг/дм ³
	р. Урух				
Мо, мкг/дм ³	1,27	0,10-2,61	1,83	0,18-4,30	1, мкг/дм ³
Мп, мкг/дм ³	12,81	6,68-23,65	14,21	1,77-27,55	10, мкг/дм ³
Си, мкг/дм ³	2,75	0,95-5,23	3,29	0,69-6,36	1, мкг/дм ³
	р. Баксан				
Мо, мкг/дм ³	12,79	6,37-18,60	6,10	1,69-10,85	1, мкг/дм ³
Мп, мкг/дм ³	13,98	3,86-43,00	9,74	3,73-22,75	10, мкг/дм ³
Си, мкг/дм ³	3,43	1,27-6,14	3,27	0,84-7,25	1, мкг/дм ³
	р. Черек				
Мо, мкг/дм ³	2,95	0,47-5,10	3,76	0,90-8,27	1, мкг/дм ³
Мп, мкг/дм ³	20,96	8,27-36,55	20,94	1,35-40,45	10, мкг/дм ³
Си, мкг/дм ³	2,46	0,47-4,22	3,34	1,15-5,55	1, мкг/дм ³
	р. Малка				
Мо, мкг/дм ³	1,45	0,10-2,11	5,53	2,10-9,43	1, мкг/дм ³
Мп, мкг/дм ³	28,13	2,11-59,60	12,64	3,23-25,60	10, мкг/дм ³
Си, мкг/дм ³	2,87	1,08-4,36	3,15	0,66-5,38	1, мкг/дм ³
	р. Терек				
Мо, мкг/дм ³	2,32	0,60-4,30	2,73	0,10-5,70	1, мкг/дм ³
Мп, мкг/дм ³	21,60	2,01-40,65	15,55	1,28-21,95	10, мкг/дм ³
Си, мкг/дм ³	2,70	1,0-4,47	2,37	0,63-4,24	1, мкг/дм ³

Примечание – Жирным шрифтом выделено превышение ПДК

Максимальные значения концентраций соединений **молибдена** 18,6 мкг/дм³ (18 ПДК) зафиксированы в зимнюю межень (табл.2) в среднем течении в р. Баксан (март). Максимальные значения концентраций соединений **марганца** обнаружены в среднем течении в р. Малка 50,13 мкг/дм³ (5 ПДК) в сентябре. Максимальные значения концентраций соединений **меди** обнаружены в воде р. Баксан 7,25 мкг/дм³ (7 ПДК) в нижнем течении (март). По соединениям цинка и свинца зафиксированы единичные случаи превышения ПДК, по соединениям хрома, никеля, ванадия и кадмия превышения не обнаружены.

Как отмечено в [6], вся территория Северного Кавказа загрязнена соединениями никеля, цинка, меди, хрома, олова, свинца, а отдельные ландшафты и соединениями молибдена, вольфрама, марганца, стронция. В естественных условиях ионы металлов поступают в поверхностные воды в

основном за счет выветривания, выщелачивания, растворения минералов и пород, слагающих водосборный бассейн. Вертикальная зональность территории, многообразие подстилающих горных пород и почв водосборных площадей, явно, определяют повышенное содержание тяжелых металлов в воде рек Центрального Кавказа. При антропогенном загрязнении соединения тяжелых металлов выносятся в водоемы со сточными водами обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и с шахтными водами. Таковые на исследуемой территории отсутствуют за исключением Тырныаузского горно-обогатительного комбината, но он давно законсервирован. Тырныаузский горно-обогатительный комбинат и «хвостохранилище» расположены в Баксанском ущелье, по которому протекает р.Баксан.

Постоянное превышение предельно допустимых концентраций молибдена, марганца и меди в воде рек бассейна Терека, явно, объясняется природным гидрогеохимическим фоном, в связи с чем ПДК этих загрязняющих веществ не могут быть соблюдены.

При анализе сезонной изменчивости концентраций соединений молибдена и марганца (рис.2-4) выявлено, что в летнее половодье эти показатели, в основном, имеют более низкие значения, чем в зимнюю межень. Концентрации растворенных форм меди во всех пунктах отбора превышают ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Концентрации меди достигают максимума в марте и мае, в феврале и июле, значения были ниже осенне-весенних.

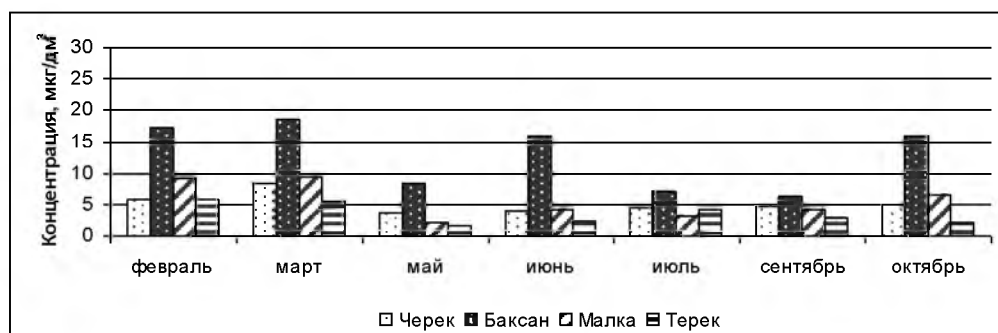


Рис. 2. Концентрация молибдена в воде рек

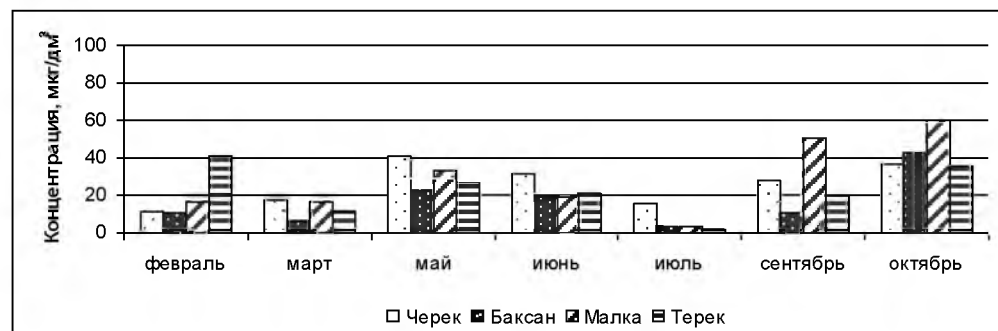


Рис. 3. Концентрация марганца в воде рек

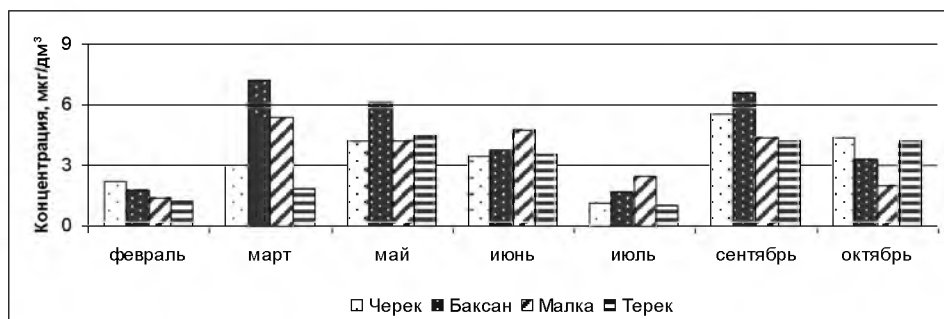


Рис 4. Концентрация меди в воде рек

Согласно классификации миграционных процессов, тяжелым металлам свойственна физико-химическая миграция, обусловленная воздействием физико-химических факторов, к которым относятся pH среды, минерализация воды, температурный режим. Влияние pH среды на миграцию элементов в водной среде выражается в том, что этот фактор контролирует осаждение тяжелых металлов из растворов, и подвижность металлов. Влияние температурного режима водной среды выражается в том, что с ее повышением увеличивается миграционная способность элементов, находящихся в растворах [5]. Каждый речной бассейн характеризуется определенными значениями водородного показателя, температуры, минерализации, поэтому незначительные изменения указанных факторов, могут приводить к значительным изменениям концентрации указанных соединений.

Выводы

1. Концентрации растворенных форм тяжелых металлов в воде рек подвержены значительной сезонной изменчивости, обусловленных воздействием различных физико-химических факторов:

- для соединений **Mo**, **Mn** максимальные концентрации фиксируются в воде рек в зимнюю межень,

- для соединений **Cu** концентрации достигают максимума в марте и мае, значения концентраций, отмеченные в феврале и июле, значительно ниже осенне-весенних.

2. При рассмотрении изменений среднегодовых концентраций вниз по течению рек каких-либо закономерностей не обнаружено.

3. Постоянное превышение ПДК по соединениям молибдена, марганца, меди в воде рек Центрального Кавказа имеет, явно, природный характер, т.к. на исследуемой территории отсутствуют предприятия горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии.

Литература

1. Алита С.Л., Атабиева Ф.А. О целесообразности разработки бассейновых нормативов предельно допустимых концентраций соединений тяжелых металлов для рек предгорной зоны Центрального Кавказа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 3. С. 21-29. DOI: 10.35567/19994508_2022.
2. Атабиева Ф.А., Чередник Е.А. Оценка сезонной изменчивости содержания соединений тяжелых металлов в речных водах предгорной зоны Центрального

- Кавказа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 3. С. 68-81.
3. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. Биология. 1998. № 5. С. 23–29.
 4. Государственный водный кадастр.
 5. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах УлГТУ, 2014, с.167.
 6. Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: дис. док. географ. наук: 25.00.23. Новороссийск, 2004. 326 с.
 7. Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. М.: Мысль, 1976. 448 с.
 8. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 288 с.
 9. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 310 с.
 10. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. Река Терек: Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2015. 606 с.
 11. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
 12. ПНД Ф 14.1:2.253-09. Методика выполнения измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915». М., 2009.
 13. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек, книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. С. 17
 14. Davutluoglu OI, Seckin G, Ersu CB, Yilmaz T, Sari B. Heavy metal content and distribution in surface sediments of the Seyhan River, Turkey. J Environmental Manage. 2011. 92:2250-2259.
 15. Duruibe JO, Ogweragbu MOC, Ekwuruguru J.N. Heavy metal pollution and human bio-toxic effects. Int J Phys Sci. 2007. 2(5):112-118.
 16. Larned, SAINT, Snelder T., Anvin M., McBride Gee. Qualité de l'eau dans les rivières de Nouvelle-Zélande: état actuel et tendances. Journal néo-zélandais de la recherche marine et en eau douce. 2016. 50 (3): 389-417.
 17. Superville P.J., Pridzhil E., Magnier A., Lesven L., Gao U., Bayens V. Daily fluctuations of Zn and Pb concentrations in the Defile River due to resuspension of heavily polluted sediments. Sci Total Environ 2014. 470:600-607.

ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕВОГО ПОТОКА 5 АВГУСТА 2022 Г. НА Р. ГЕРХОЖАНСУ

© М.Ю. Беккиев¹, М.Д. Докукин¹, Р.Х. Калов¹, А.Р. Акаев¹, М.А. Анаев²

¹Высокогорный геофизический институт, Нальчик

²Главное управление МЧС России по КБР, Нальчик

Аннотация. На основе анализа разновременных космоснимков, материалов аэрофотосъёмок и наземных обследований участков долины р. Герхожансу (Каяартысу) выявлены особенности процессов формирования, транзита и аккумуляции селя 05.08.2022 г. Сделан вывод о водном импульсе с ледника как причине схода селя. По отметкам высшего селевого горизонта на скальном участке отмечено, что расход селя в верхней части долины р. Каяартысу был таким же, как при сходе селей в 2000, 2011 и 2017 гг. В результате подвижки оползня Бузулган создались условия для аккумуляции селевой массы выше оползня и для захвата селом дополнительного обломочного материала на участке оползня. Вследствие изменения направления русла р. Герхожансу и очистки селепропускного лотка от отложений селя 2017 г. р. Баксан не была перекрыта, и селевые массы не вышли в жилую зону г. Тырнауза.

Ключевые слова: селевой поток, ледник, моренный каньон, оползень Бузулган, г. Тырнауз, селепропускной лоток

Введение

Бассейн р. Герхожансу (правый приток р. Баксан, Центральный Кавказ) известен многочисленными селевыми потоками, приносящими ущерб г. Тырнаузу. Результаты исследований селей р. Герхожансу опубликованы в статьях и монографиях и посвящены селям 1960-1962 гг. [2, 15], 1977 г. [3, 16], 1999-2000 гг. и селям XX в. [8, 13, 17], 2011 и 2017 гг. [4, 5]. В работе [6] обобщены представления о селевых процессах в ледниковой зоне и сделан вывод о том, что сели 1960-х годов, сели 1999, 2000, 2011 и 2017 формировались в результате водных импульсов с ледника, сходу селей способствовали также процессы на моренных массивах с погребёнными льдами. На формирование селей оказывает влияние динамика ледника и его гидрологический режим, связанный с накоплением воды в леднике и под ледником и развитием каналов подлёдного стока. Селевые потоки могут сходить три или два года подряд (1960-1962, 1999-2000 гг.) или на следующий год после сезона аномально высоких температур воздуха (сель 2011 г. после экстремальных температур воздуха в 2010 г., сель 2017 г. после температурного экстремума в 2016 г.). Селевые потоки сходили после периода высоких температур воздуха продолжительностью около 6 суток и освобождения от снежного покрова верхнего цирка ледника Каярты (Каяартыбаши). Продолжительность селевого процесса может составлять от нескольких часов до нескольких дней и зависит от глубины врезания потока в дно моренного каньона и развития склоновых процессов.

Очередной селевой поток в 2022 г. имел как схожие черты с предыдущими селями, так и свои особенности, которые были выявлены в результате исследования его последствий и условий формирования.

Материалы и методы

В работе были использованы разновременные космоснимки Sentinel-2 с сайта <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> и сервиса Google Earth, материалы аэрофотосъёмок (ортофотопланы, цифровые модели рельефа) в 2020 г. (предоставлены специалистами МГУ), в 2021-2023 гг. с применением квадрокоптера DJI Mavic Air 2 Fly More Combo (в том числе аэрофотосъёмки 14 июля и 9 августа 2022 г.), а также материалы наземных обследований 2020-2023 гг., данные публикаций [9, 10, 14]. Материалы наблюдений обрабатывались в программах ArcMap, Agisoft Metashape Professional, Adobe Photoshop, Easy GIF Animator Pro.

Результаты исследований

По данным космоснимка Sentinel-2 05.08.2022 в 11 часов 18 мин. (за 4,5 часа до схода селя) (рис. 1) был сделан вывод, что атмосферные осадки (если они были в этом районе) не были причиной схода селя 5 августа 2022 г. [12].

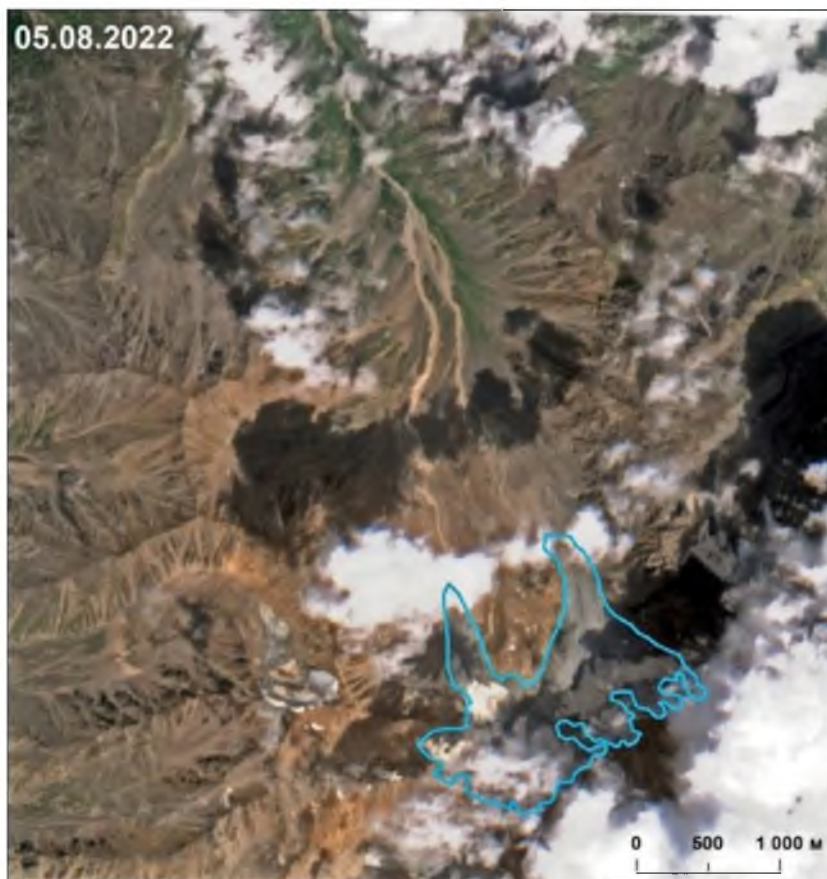


Рис. 1. Верховья бассейна р. Герхожансу (Каяртысу). Фрагмент космоснимка Sentinel-2 05.08.2022 в 11 часов 18 мин. (за 4,5 часа до схода селя). Голубым контуром показан ледник Каярты (Каяртыбаши)

Следует также отметить, что в отличие от условий схода селей в 2011 и 2017 гг. верхний цирк ледника Каярты перед селом 2022 г. практически не был

освобождён от снежного покрова (снег сошёл только в нижней части цирка на участке разделения ледника на левый и правый языки). В селевой процесс были вовлечен материал правой береговой морены левого языка ледника Каярты. Но при этом селевой поток не был насыщен обломочным материалом, что выявлено в результате сравнения морфологии участка промежуточной аккумуляции селей ниже верхнего моренного каньона (рис. 2). Если во время селя 2017 г. врезания потока в отложения предыдущих селей практически не происходило (рис. 2, а), то селевой поток в 2022 г. врезался на этом участке на глубину до 2-3 м (рис. 2, б), что свидетельствует о значительной эрозионной его способности.

Относительно расхода селевого потока по данным отметок высшего селевого горизонта на склоне скального участка долины (грязевые массы выявлены на поверхности задернованного склона выше скальной стенки) можно сделать вывод о том, что поперечное сечение потока и его расход в 2022 г. были такими же, как и в случае селей 2000, 2011 и 2017 гг. [5] (рис. 3).



Рис. 2. Участок окончания верхнего моренного каньона р. Каяартысу и поля селевой аккумуляции в разные годы: а – космоснимок Sentinel-2 05.08.2022, б – космоснимок Sentinel-2 10.08.2022 (стрелкой показан след селя на участке поля селевой аккумуляции в виде вреза, отмеченный на фрагменте «г»), в – вертолётный снимок М.Д. Докукина 10.07.2018, г – фото с квадрокоптера 09.08.2022

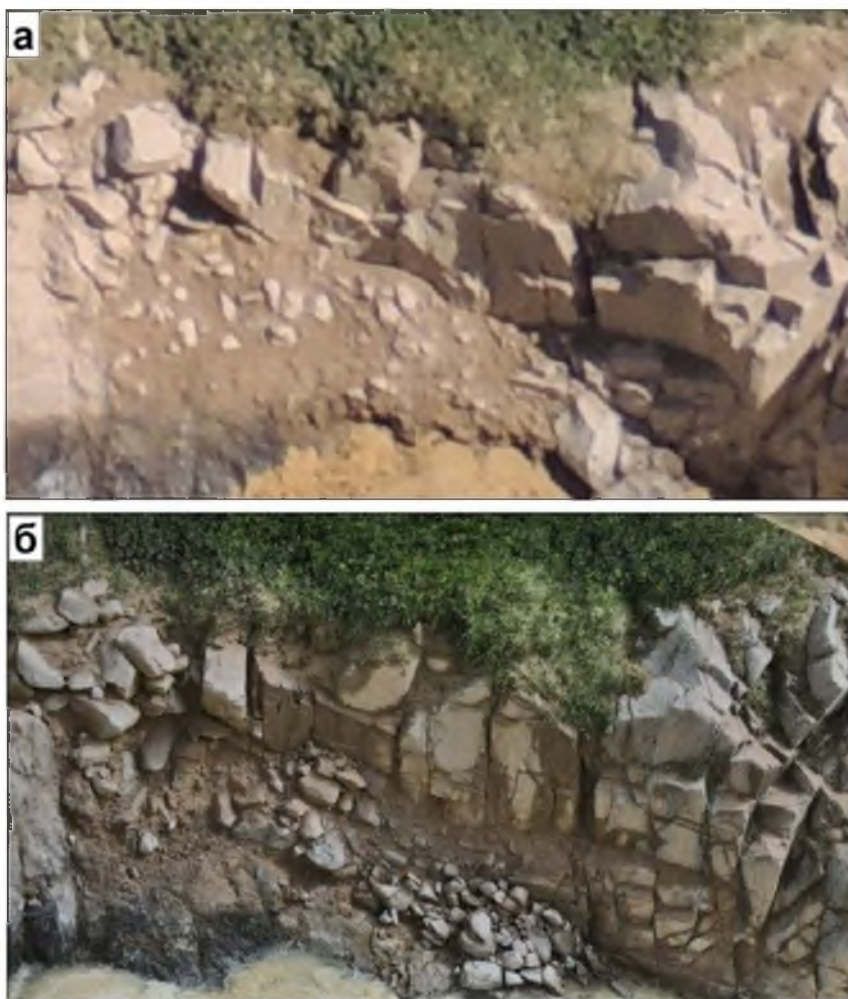


Рис. 3. Правый склон скального участка долины р. Каяартысу на высоте 2560 м: а – вертолётный снимок М.Д. Докукина 22.08.2017, б – фото с квадрокоптера 09.08.2022

В нижнем моренном каньоне в интервале высот 2250-1800 м селевой поток насыщался обломочным материалом со склонов. Были подрезаны и обрушены свежие осыпные шлейфы подножий склонов (рис. 4).



Рис. 4. Участок нижнего моренного каньона р. Каяартысу: а – 18.05.2021, б – 9.08.2022 (фото М.Д. Докукина)

Врезание потока в дно моренного каньона по данным сравнения материалов аэрофотосъёмок до и после селя достигало 8 м. В результате эрозионно-сдвигового селевого процесса с участка нижнего моренного каньона было вынесено около 120 тыс. м³ обломочного материала, который был отложен в основном на пологом участке ниже моренного каньона протяжённостью около 500 м и площадью 22,8 тыс. м² (рис. 5). В пределах моренного каньона были участки отложений селя 2022 г. в виде террас.

Как показало сравнение русловой зоны в 2019 г. и в 2020-2022 гг., ранее на этом участке селевой материал практически не отлагался, и сель проходил его транзитом в 1999-2017 гг. с незначительными отложениями. Зона аккумуляции селевого материала возникла в результате подпора оползневым массивом после подвижки в 2020 г. (см. рис. 5 а, б). Данные о подвижке оползня Бузулган представлены в работах [1, 9–11, 14].

Объём отложений селя 2022 г. и небольшого селя 2021 г. на участке выше оползня Бузулган составил около 90 тыс. м³ (средняя толщина отложений составила 3,6 м, а максимальная достигала 12-13 м). Наглядно толщина отложений видна при сравнении наземных фотографий (см. рис. 5 д, е). В действительности на этом участке отложилось больше материала, но с нижней части зоны отложений площадью около 3 тыс. м² последними волнами селя материал в объёме около 14 тыс. м³ был вынесен вниз, что видно по чёткой границе уровня отложений на боковом откосе оползня.

Ниже на участке оползня Бузулган, вследствие большего угла наклона русла (10-11°), селевой поток продолжил эрозионную деятельность (рис. 6). Глубина врезания селевого потока в дно нового русла на протяжённом участке бокового откоса оползня достигала 10-15 м. При этом были подрезаны и обрушены участки бокового откоса оползня и левого склона долины. Бровки обрывов левого склона долины срезаны на ширину до 18-20 м. Примечательно, что свежий оползневой материал, накрывший русло реки после подвижки, подрезался селевым потоком в равной степени с левым склоном, что

свидетельствует о значительной его плотности и сопротивлению эрозии. Благодаря этому русло реки не вернулось к первоначальному положению, когда до подвижки оползня оно отстояло от современного на расстоянии до 60 м (см. рис. 6 а).

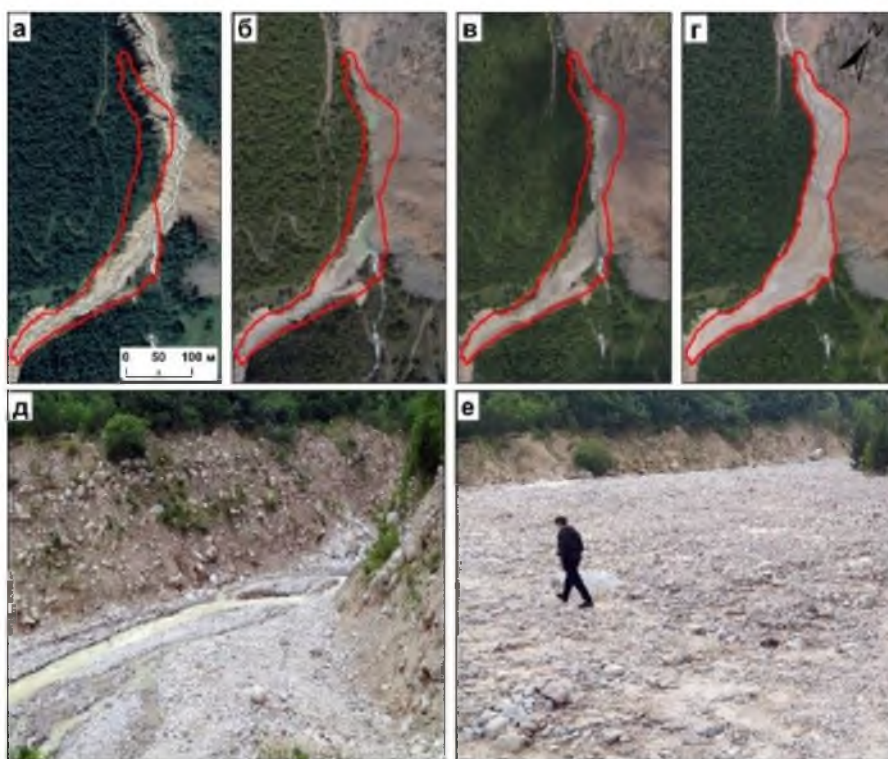


Рис. 5. Участок промежуточной аккумуляции селя 2022 г. в долине р. Каяартысу выше оползня Бузулган: а – космоснимок Pleiades 1A 12.08.2019 (Google Earth), б – ортофотоплан 18.05.2021, в – ортофотоплан 14.07.2022, г – ортофотоплан 09.08.2022, д – фотография 14.07.2022, е – фотография 05.07.2023. Красный контур – зона промежуточной аккумуляции селя 05.08.2022 г.

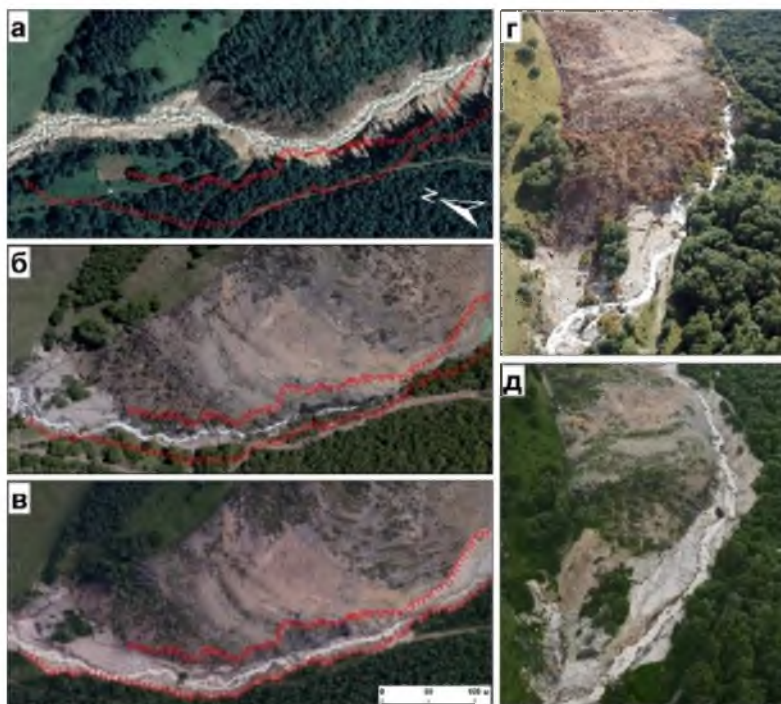


Рис. 6. Участок русла р. Герхожансу в пределах оползня Бузулган: а – космоснимок Pleiades 1A 12.08.2019 (Google Earth), б – ортофотоплан 18.05.2021, в – ортофотоплан 09.08.2022, г – фото с квадрокоптера 07.09.2020, д – фото с квадрокоптера 05.07.2023. Красными линиями со штрихами показана зона боковой и донной эрозии селевого потока 05.08.2022.

Объём вынесенного материала с участка оползня составил около 160 тыс. м³. В отличие от участка зоны аккумуляции выше оползня, где сказалось прохождение селя в 2021 г., основные изменения на участке оползня, произошли в период селя 05.08.2022. Масштаб селевой эрозии на участке оползня наглядно виден при сравнении перспективных фотографий (см. рис. 6 г, д). В настоящее время русло р. Герхожансу расположено гипсометрически выше его положения в 2019 г. примерно на 10 м, что предопределяет дальнейшее развитие селевого процесса в будущем на участке оползня.

Обломочный материал, захваченный селевым потоком на участке оползня, транспортировался вниз и отложился в селепропускном лотке и в пойме р. Баксан. Ко времени прохождения селя в 2022 г. была проведена очистка селепропускного лотка от отложений селя 2017 г. и перепланировка рельефа поймы р. Баксан для предотвращения образования селевой плотины. Благодаря этому селевая масса в 2022 г. за пределы лотка практически не выходила. Ниже автодорожного моста селевой материал отложился в виде дугообразной полосы шириной 50-75 м в створе между насыпными массивами и ниже в пойме р. Баксан шириной 120-130 м, и русло р. Баксан перекрыто не было (рис. 7 в), как это было в 2017 г. (рис. 7 а).

Площадь зоны аккумуляции селя в селепропускном лотке на участке выше автодорожного моста составила 16,8 тыс. м², а объём – 20,8 тыс. м³ (средняя толщина – 1,2 м).

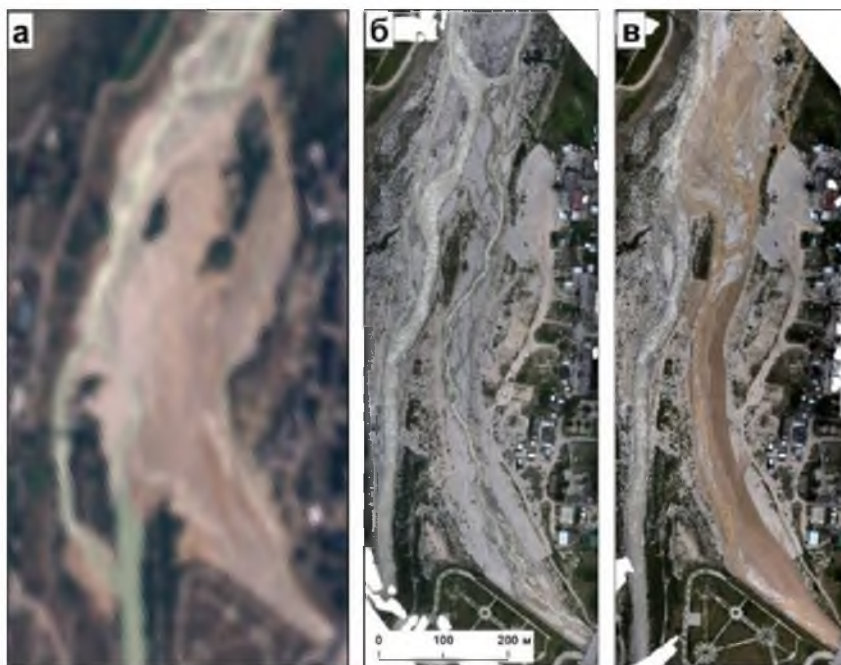


Рис. 7. Зона аккумуляции селей р. Герхожансу: а – космоснимок Sentinel-2 21.08.2017, б – ортофотоплан 14.07.2022, в – ортофотоплан 09.08.2022

Таким образом, сель 05.08.2022 по объёму отложений на конусе выноса был примерно сопоставим с селем 2011 г. (по данным [4] материал объёмом около 200 тыс. м³ тогда отложился на площади 106 тыс. м²), но был значительно меньше селя 2017 г. с объёмом отложений по данным [5] около 600 тыс. м³ (см. рис. 7 а). Высота уровня поверхности селевых волн была такой же, как в 2017 г., что было обусловлено тогда остановкой селевых масс без отделения водной составляющей и движением следующей селевой волны, которая снесла пешеходный мост, по поверхности этой массы [7].

Выводы

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

- формирование селевого потока 05.08.2022 в долине р. Герхожансу было вызвано водным импульсом с ледника, как и селей 1999, 2000, 2011 и 2017 гг., но к моменту схода селя верхний цирк ледника Каярты был ещё под снежным покровом, что важно для оценки селеопасной ситуации в будущем;

- расход селя 2022 г. в верхней части долины р. Каяартысу был таким же, как в случае селей в XXI веке (отличия были в объёмах водных импульсов с ледника);

- по глубине врезания в дно нижнего моренного каньона и объёму отложений на конусе выноса сели 2011 и 2022 гг. были сопоставимы;

- сель 2022 г. отличался от всех последних селей появлением в результате подвижки оползня Бузулган значительной промежуточной зоны аккумуляции на участке выше оползня и дополнительного протяжённого селевого очага вдоль тела оползня;

- в будущем при оценке последствий селей на р. Герхожансу необходимо учитывать возможность поступления существенного дополнительного материала в селевой поток на участке оползня и выше его и распределения этого материала на участке селепропускного лотка и в пойме р. Баксан;
- не исключена вероятность обрушения другого блока массива оползня Бузулган, пока остающегося на склоне, и формирования подпрудного озера;
- для оценки вероятности новых водных импульсов с ледника необходимо детальное исследование динамики ледника и его подлёдной гидрологической системы.

Литература

1. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х. и др. Аномальная подвижка оползня Бузулган в долине р. Герхожан-Су (Центральный Кавказ) в 2020 г. // ГеоРиск. 2020. Т. 14. № 4. С. 44–54.
2. Герасимов В.А. Селевые потоки в районе г. Тырныауза 1/VIII 1960 г., 14/VIII 1961 г. и 31/VII 1962 г. // Труды Высокотгорного геофизического института. 1967. Вып. 6. С. 198–205.
3. Герасимов В.А. Селевые потоки 10 и 11 августа 1977 г. в бассейне р. Герхожан-Су (Северный Кавказ) и условия их образования // Селевые потоки. Вып. 4. М.: Гидрометеониздат, 1980. С. 68–76.
4. Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Богаченко Е.М., Иванов Г.И. Сель 3 августа 2011 года в бассейне реки Герхожан-Су: причины, динамика и возможные последствия // ГеоРиск. 2012. № 2. С. 48–57.
5. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Хаджиев М.М., Богаченко Е.М., Савернюк Е.А. Селевые потоки 14-15 августа 2017 г. в бассейне р. Герхожан-Су (Центральный Кавказ): условия и причины формирования, динамика, последствия // ГеоРиск. 2018. Т. 12. № 3. С. 82–94.
6. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С., Богаченко Е.М. Гляциогеоморфологические условия формирования селей р. Герхожан-Су (Центральный Кавказ) // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции. Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. Душанбе: ООО «Промоушн», 2020. С. 388–404.
7. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х. Транзит и аккумуляция селей реки Герхожан-Су на участке селепропускного канала в городе Тырныауз // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3. Вып. 1. С. 8–18.
8. Запороженко Э.В. Сели бассейна р. Герхожан-Су: история проявления, условия формирования, энергетические характеристики // Сборник трудов Северо-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства. Вып. 15. Пятигорск: Изд-во ОАО «Севкавгипроводхоз», 2002. С. 80–148.
9. Зеркаль О.В., Черноморец С.С., Савернюк Е.А. Оползень «Бузулган» и его влияние на селевую опасность // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики. Вып. 24. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (30-31 марта 2023 г.). М.: Издательство «Геоинфо», 2023. С. 95–98.
10. Куровская В.А., Черноморец С.С., Крыленко И.Н. и др. Сход оползня Бузулган: моделирование селей по реке Герхожан-Су и сценарии их воздействия на город Тырныауз после произошедших в 2020г. изменений // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 1. С. 43–53.
11. Мальнева И.В., Докукин М.Д., Анаев М.А. и др. О динамике оползня Бузулган в долине р. Герхожан-Су в 2020 г. и селевой опасности // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях

- (Материалы Общероссийской научно-практической конференции). Москва: ООО «Геомаркетинг», 2021. С. 25–37.
12. *Мальнева И.В., Докукин М.Д., Калов. Р.Х. и др.* Оценка проявлений опасных природных процессов на Северном Кавказе в 2002 и в 2022 годах // Материалы XVII Общероссийской научно-практической конференции и «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». Москва: ООО «Геомаркетинг», 2022. С. 214–221.
 13. *Сейнова И.Б., Золотарев Е.А.* Ледники и сели Приэльбрусья. Эволюция оледенения и селевой активности. М.: Научный мир, 2001. 204 с.
 14. *Ульбашев В.Х., Барановский А.Ф., Светашова Э.А.* Катастрофическая активизация оползня Бузулган в августе 2020 года (Кабардино-Балкарская республика) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том X (в 2-х частях). Часть 2. М.: ИИЕТ РАН, 2020. С. 548–554.
 15. *Тушинский Г.К., Попов А.И., Голубев Г.Н. и др.* Опыт изучения гляциальных селей Большого Кавказа (на примере реки Герхожансу бассейна реки Баксана) // Информ. сборник о работах по МГГ. 1966. № 13. С. 5–106.
 16. *Флейшман С.М., Сейнова И.Б., Золотарев Е.А.* Формирование гляциальных селей непрорывного генезиса в бассейне р. Герхожан-Су на Северном Кавказе // Материалы гляциологических исследований. 1979. Вып. 35. С. 195–198.
 17. *Черноморец С.С.* Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 184 с.

АНАЛИЗ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОГО КAVKAZA В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

© Л.Р. Бекмурзаева, И.А. Керимов, В.В. Братков

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

Аннотация. **Актуальность** – оценка влияния климатических изменений на агроклиматические условия Северного Кавказа представляет большой практический интерес, т.к. этот регион характеризуется сложившейся сельскохозяйственной специализацией. **Цель** – анализ современных агроклиматических условий степных ландшафтов Северного Кавказа в условиях меняющегося климата. **Методы исследования:** методами математической статистики проанализированы такие показатели как средняя месячная и годовая температура воздуха, сумма активных температур больше 5 и 10°C, средние температуры самого холодного (январь) и самого теплого (июль) месяцев, суммы осадков, гидротермический коэффициент. **Результаты работы и обсуждение** – согласно проведенному исследованию, климатические изменения в пределах степных ландшафтов Северного Кавказа сопровождаются увеличением температуры воздуха в среднем на 0,98°C. Сумма активных температур, превышающая 5°C выросла до 10%, сумма активных температур, превышающая 10°C выросла до 16%. Изменение количества осадков носит разнонаправленный характер, в среднем осадки выросли на 72 мм, за исключением Ставрополя, где отмечается недобор осадков теплого периода. Гидротермический коэффициент остаётся в пределах характерных для степей и лесостепей. В целом, можно говорить, что агроклиматические условия степных ландшафтов Северного Кавказа улучшились за счет улучшения тепло и влагообеспечения территории.

Ключевые слова: современные климатические изменения, ландшафт, температура, сумма активных температур, осадки, гидротермический коэффициент.

Введение. Впервые заявление об угрозе глобального изменения климата было обнародовано Всемирной метеорологической организацией еще в 1976 г. В 1979 и 1990 гг. были проведены Всемирные климатические конференции на которых были определены существующие угрозы глобального изменения климата и намечены стратегии для адаптации общества к последствиям климатических изменений. На сегодняшний день существует множество международных программ исследования глобального климата. Для научного сопровождения рамочной конвенции ООН об изменении климата создана межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), в задачи которой входит наиболее полная и объективная оценка наблюдаемых и ожидаемых изменений климата и роли антропогенных факторов. К настоящему времени подготовлены пять оценочных доклада МГЭИК, к сентябрю 2022 г. должна быть завершена работа над шестым [27]. В докладах МГЭИК, ООН, ВМО (Всемирной метеорологической организации) представленная информация затрагивает процессы глобального и континентального характера [23-26]. Региональные аспекты рассмотрены довольно поверхностно.

Кавказ как физико-географическая страна входит в число 200 регионов мира, где, по мнению Всемирного Фонда Дикой Природы (WWF), наиболее велико биологическое и ландшафтное разнообразие (The Global 200). Поэтому климатические изменения, протекающие здесь, не могут не отразиться на

ландшафтной структуре этого региона и агроклиматических условиях. Российскую часть Кавказа принято называть Северным Кавказом, и, хотя это понятие не совсем корректно отображает сложившуюся систему таксономических единиц, оно прочно вошло в обиход.

Северный Кавказ в современной России занимает особое положение, поскольку это один из наиболее комфортных для проживания с точки зрения природных условий регионов страны. Он довольно давно заселен и в настоящее время здесь сложилась сельскохозяйственная и рекреационная специализация хозяйства, имеющая значение для всей России. Поэтому оценка влияния климатических изменений на агроклиматические условия представляет не только теоретический, но и большой практический интерес.

Изменением климата Северного Кавказа и его регионов занимались многие авторы [1; 3-8; 10-12; 14-17; 19 и др.]. Из последних работ можно выделить работу Ашабокова Б.А. и др. [2], работа посвящена изменению климата юга европейской территории России.

Материалы и методы. Изменения климата отражаются в изменении, прежде всего, таких климатических параметров, как температура и осадки. Для оценки влияния изменений климата на термические ресурсы обычно используют следующие показатели: суммы среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 0, 5 и 10°C; даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0, 5 и 10°C весной и осенью; продолжительность периодов календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 0, 5 и 10°C, а также периодов со среднесуточной температурой от 5 до 15°C (климатическая весна) и от 15 до 5°C (климатическая осень); средняя температура самого холодного и самого теплого месяцев календарного года [18, с. 167]. В статье для сравнительной оценки агроклиматических изменений в качестве нормы используются данные из Справочника по климату СССР, отражающими климатические условия за 1931-1960 гг. [20].

Для оценки увлажнения, наряду с количеством осадков, используются различные коэффициенты и индексы. Наиболее известными из них являются гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г.Т. Селяниновым [21] и коэффициент увлажнения (Ку) Н.Н. Иванова [13].

Для анализа изменчивости агроклиматических условий степных ландшафтов Северного Кавказа нами выбраны опорные метеостанции Изобильный, Ставрополь, Гудермес, Грозный, Александровское, Гигант, Армавир, Краснодар, Анапа, Приморско-Ахтарск за 1961-2020 гг.

Результаты и обсуждение. Средняя годовая температура воздуха за период с 1961 по 2020 гг. в степных ландшафтах составила 11,1°C. Отмечается увеличение годовой температуры воздуха за рассматриваемый период в среднем на 0,98°C (табл. 1). Все значения σ (среднеквадратического отклонения) попадают в доверительный интервал. Максимально теплым за рассматриваемый период оказался 2010 год. По всем метеостанциям в этом году отмечается максимальная годовая температура воздуха. Основной вклад в увеличение среднегодовой температуры воздуха внесли месяцы холодного периода. Полученные результаты коррелируют с данными, опубликованными в Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 г. «...с 1976 г. на всех метеорологических станциях Кавказского региона наблюдался положительный тренд средних годовых и сезонных температур» [9, с. 15].

Таблица 1

Отклонение температуры воздуха за период с 1961 по 2020 гг. от
среднегодового значения

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Изобильный													
Среднее	-1,5	-0,2	4,7	11,8	17,0	21,0	23,2	22,3	17,0	10,6	5,0	0,6	10,9
Разница	1,4	1,9	2,0	1,5	0,3	0,7	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	0,3	0,7	0,6
σ	2,9	3,1	2,6	2,4	2,1	1,7	1,7	2,4	2,7	2,7	2,9	2,6	1,1
Ставрополь													
Среднее	-2,9	-2,2	2,4	9,8	15,4	19,6	22,3	21,7	16,3	9,5	3,7	-0,7	9,5
Разница	0,8	0,8	0,8	1,2	0,2	0,6	0,4	0,2	0,3	-0,5	0,3	0,4	0,4
σ	2,9	3,3	2,4	2,1	1,9	1,9	1,7	2,0	1,9	2,6	2,8	2,3	1,1
Гудермес													
Среднее	-1,8	-0,6	4,6	11,3	17,3	22,1	24,9	24,1	19,1	11,9	5,6	0,5	11,6
Разница	1,2	1,0	1,5	1,4	0,5	0,9	0,5	0,3	0,9	0,1	0,8	0,8	0,8
σ	2,9	3,1	2,2	1,8	1,4	1,5	1,5	1,7	1,5	1,8	1,9	2,3	1,0
Грозный													
Среднее	-2,3	-1,4	4,1	11,0	16,9	21,1	24,0	23,5	18,4	11,2	4,8	-0,1	10,9
Разница	1,3	0,9	1,7	1,7	0,4	0,3	0,2	0,3	1,0	0,2	0,8	1,1	0,8
σ	3,0	3,3	2,1	1,7	1,4	2,8	1,2	1,6	1,5	1,8	2,0	2,2	0,9
Александровское													
Среднее	-3,1	-2,1	2,7	10,2	16,1	20,2	23,0	22,0	16,5	9,5	3,6	-0,8	9,8
Разница	1,6	1,9	1,8	1,7	0,5	0,3	0,1	-0,1	0,5	0,1	0,8	1,4	0,9
σ	3,0	3,4	2,5	1,9	1,6	1,7	1,4	1,9	2,0	2,3	2,5	2,2	1,0
Гигант													
Среднее	-3,6	-2,8	2,7	10,9	16,9	21,3	24,1	23,3	17,5	10,2	3,7	-0,8	11,1
Разница	1,9	2,0	2,1	1,7	0,6	1,0	0,6	0,6	0,9	0,6	1,2	2,0	2,1
σ	3,4	3,6	2,6	1,9	1,7	1,8	1,7	2,0	1,8	2,1	2,3	2,4	1,0
Армавир													
Среднее	-1,6	-0,3	4,7	11,6	16,8	20,6	23,3	22,9	17,8	11,3	5,4	0,8	11,1
Разница	1,8	2,2	1,6	1,4	0,6	1,0	0,6	0,8	0,9	0,3	1,1	1,8	1,2
σ	2,7	3,0	2,3	1,8	1,6	1,6	1,4	1,8	1,8	2,0	2,1	2,3	1,0
Краснодар													
Среднее	-0,1	1,1	5,6	12,3	17,6	21,5	24,1	23,6	18,6	12,0	6,5	2,4	12,1

Разница	1,7	2,0	1,4	1,4	0,8	1,1	0,9	0,9	1,2	0,4	1,4	2,0	1,3
σ	3,1	3,3	2,4	1,8	1,7	1,6	1,6	2,0	2,1	2,0	2,3	2,3	1,1
Анапа													
Среднее	2,3	2,9	5,9	11,0	15,8	20,7	23,6	23,5	18,8	13,2	8,4	4,8	12,6
Разница	1,0	1,3	0,8	1,1	0,5	1,1	0,7	0,7	0,8	0,0	0,9	1,0	0,8
σ	2,7	2,7	1,9	1,4	1,4	1,5	1,4	1,7	1,7	2,0	2,3	2,3	1,0
Приморско-Ахтарск													
Среднее	-1,4	-0,5	4,2	11,4	17,6	22,1	24,6	23,9	18,5	11,6	5,5	1,2	11,5
Разница	1,4	1,9	1,8	1,4	0,6	0,7	0,3	0,5	0,7	0,2	0,9	1,6	0,9
σ	3,0	3,1	2,4	1,7	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,9	2,2	2,2	1,0

Примечание: среднее — средняя величина температуры месяца и года, °С; отклонение от нормы — разница между данными за рассматриваемый период с данными из [16]; σ — среднеквадратическое отклонение.

Сумма активных температур, превышающая 5°С выросла на 4 – 10% (Анапа, Армавир и Краснодар соответственно). Сумма активных температур, превышающая 10°С выросла на 2 – 16% (Армавир и Гигант соответственно) (табл. 2). На исследуемой территории отмечается тенденция к смягчению зим, благоприятных для перезимовки сельскохозяйственных культур. Мягкой называется зима, для которой средняя температура самого холодного месяца не ниже 5°С [22]. Из данных табл. 2 следует, что средние температуры января устойчиво повышались. Средняя температура июля также имеет тенденцию к росту.

Таблица 2
Сравнение показателей термического режима территории Карачаево-Черкесской Республики за 1961-2020 гг. со средним многолетним значением

Метеорологическая станция	Данные из [20]	1961-2020	Метеорологическая станция	Данные из [20]	1961-2020
Сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5°С					
Изобильный	3713	3853	Гигант	3618	3873
Ставрополь	3435	3515	Армавир	3633	4012
Гудермес	3860	4208	Краснодар	3917	4291
Грозный	3735	3910	Анапа	4108	4292
Александровское	3502	3649	Приморско-Ахтарск	3835	4150
Сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 10°С					
Изобильный	3692	3596	Гигант	3038	3538
Ставрополь	2861	3201	Армавир	3617	3682
Гудермес	3545	3895	Краснодар	3747	3900
Грозный	3439	3687	Анапа	3410	3844
Александровское	2950	3295	Приморско-Ахтарск	3518	3853

Средняя температура января, °С					
Изобильный	-2,9	-1,5	Гигант	-5,5	-3,6
Ставрополь	-3,7	-2,9	Армавир	-3,4	-1,6
Гудермес	-3,0	-1,8	Краснодар	-1,8	-0,1
Грозный	-3,6	-2,3	Анапа	1,3	2,3
Александровское	-4,7	-3,1	Приморско-Ахтарск	-2,8	-1,4
Средняя температура июля, °С					
Изобильный	23,4	23,2	Гигант	23,5	24,1
Ставрополь	21,9	22,3	Армавир	22,7	23,3
Гудермес	24,4	24,9	Краснодар	23,2	24,1
Грозный	23,8	24,0	Анапа	22,9	23,6
Александровское	22,9	23,0	Приморско-Ахтарск	24,3	24,6

В пределах степных ландшафтах Северного Кавказа выпадает от 482 до 711 мм осадков (табл. 3). В среднем за рассматриваемый период отклонение от нормы в сторону увеличения составило 72 мм. Отрицательное отклонение от нормы отмечается только в Ставрополе, где во всех месяцах идет недобор осадков, особенно это заметно в теплый период года. Тогда как по остальным метеостанциям отмечается превышение осадков в сравнении с нормой. Значительно осадки увеличились (более 10% нормы) в Изобильном и Приморско-Ахтарске (10%), Гудермесе, Краснодаре и Армавире (11%), Александровском (16%), Гиганте (27%), Анапе (39%).

Таблица 3

Отклонение осадков за период с 1961 по 2020 гг. от среднееголетнего значения

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Изобильный													
Среднее	35	33	40	49	70	81	55	48	46	50	48	43	599
Разница	-3	1	8	6	11	10	-9	0	19	12	5	0	61
σ	19	19	25	30	36	56	31	38	28	33	29	27	130
Ставрополь													
Среднее	29	26	35	43	68	81	58	43	46	45	38	35	548
Разница	-5	0	-1	-7	-7	-7	-25	-7	-9	4	-7	-6	-75
σ	16	17	19	25	37	48	32	33	29	29	23	23	95
Гудермес													
Среднее	29	28	33	37	60	63	48	42	40	39	36	33	489
Разница	9,5	7,5	3,8	6,1	12,5	11,5	3,8	-1,4	-6,3	-0,3	1,1	8,1	55,8
σ	19	16	18	24	33	36	29	30	41	23	25	20	118
Грозный													
Среднее	23	22	28	37	62	75	56	47	38	38	31	27	482

Разница	4	4	-2	3	3	4	-3	-4	-2	3	2	5	16
σ	13	13	17	21	29	40	37	33	30	28	19	17	109
Александровское													
Среднее	26	25	34	41	64	79	58	52	38	40	35	35	528
Разница	6	6	11	8	-1	10	4	15	0	11	2	11	83
σ	14	12	19	25	34	50	36	45	27	28	21	21	98
Гигант													
Среднее	38	32	34	39	54	57	49	38	39	38	42	49	618
Разница	9,9	5,7	7,2	2,6	8,6	-6,3	-0,5	1,8	6,7	2,2	10,1	8,6	167,8
σ	24	21	21	27	29	31	31	31	28	26	25	29	124
Армавир													
Среднее	36	30	40	48	82	80	62	54	47	52	47	42	621
Разница	2,4	0,3	4,9	3,2	21,6	2,9	7,7	4,9	6,1	3,3	4,2	7,1	68,5
σ	18	21	22	28	40	47	38	43	28	33	26	24	120
Краснодар													
Среднее	64	47	55	53	66	79	59	47	46	53	66	75	711
Разница	14,2	-3,0	6,8	5,1	8,5	22,4	-0,6	-1,1	8,2	1,3	7,1	9,0	77,9
σ	34	32	29	33	33	53	43	41	28	32	36	36	120
Анапа													
Среднее	56	44	43	38	38	41	33	37	50	45	53	68	546
Разница	40,4	28,0	25,6	10,9	0,6	-2,7	-11,0	6,6	23,1	18,5	26,4	44,8	211,2
σ	30	26	24	26	23	34	38	46	44	30	32	31	112
Приморско-Ахтарск													
Среднее	52	42	41	36	48	56	55	47	47	40	47	58	570
Разница	11,4	5,7	7,2	1,1	6,5	0,2	3,0	-6,2	5,4	1,8	8,4	10,3	54,8
σ	32	26	24	20	32	35	48	47	42	25	28	30	109

Оценка показателей влагообеспечения проводилась на основе анализа показателя ГТК. В целом значение ГТК варьирует от 0,7 до 1,1, что соответствует степи – лесостепи. Согласно табл. 4 существенно ГТК снизился в Ставрополе, за счет снижения осадков теплого периода. Значительно ГТК вырос в Изобильном (на 0,1) и в Анапе (на 0,11). На всех остальных метеостанциях отмечается естественная флуктуация ГТК.

Таблица 4

Отклонение показателей увлажнения от среднемноголетнего значения за период с 1961 по 2020 гг.

Метеорологическая станция	ГТК	σ	Метеорологическая станция	ГТК	σ
Изобильный	0,10	0,3	Гигант	0,06	0,3
Ставрополь	-0,3	0,3	Армавир	0,07	0,3
Гудермес	0,05	0,3	Краснодар	0,06	0,3
Грозный	0,02	0,3	Анапа	0,11	0,3
Александровское	0,09	0,3	Приморско-Ахтарск	-0,08	0,3

Выводы

Анализ агроклиматических условий Северного Кавказа за период с 1961 по 2020 гг. показал, что отмечается тенденция к увеличению годовой температуры воздуха в среднем на 0,98°C. На фоне увеличения годовой температуры увеличились суммы активных температур больше 5 и 10°C до 16%. Зимы стали более мягкие, а лето более жарким. В среднем осадки выросли на 13%. Однако ГТК, характеризующий влагообеспечение территории остался в пределах, характерных для степей и лесостепей. В целом можно говорить, что агроклиматические условия степных ландшафтов Северного Кавказа улучшились за счет улучшения тепло и влагообеспечения.

Работа выполнена в рамках госзадания ГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2021-0002 «Оценка изменчивости агроклиматических условий Северного Кавказа в связи с глобальными изменениями климата»

Литература

1. Атаев З.В., Байрамкулова Б.О., Бекмурзаева Л.Р. Особенности современных климатических условий горно-котловинных ландшафтов северного склона Большого Кавказа // Естественные и технические науки. 2009. № 4 (42). С. 237-240.
2. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А. и др. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. Нальчик: ООО «Печатный двор», 2020. 476 с.
3. Бадахова Г.Х., Кнутас А.В. Ставропольский край: современные климатические условия. Ставрополь: ГУП СК «Краевые сети связи», 2007. 272 с.
4. Бекмурзаева Л.Р., Заурбеков Ш.Ш., Братков В.В. Современные агроклиматические условия Карачаево-Черкесской республики // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2019. Т. 13. № 4. С. 56-62.
5. Братков В.В., Атаев З.В., Гаджибеков М.И. Современные климатические условия равнинных аридных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия (по данным метеостанции "Рощино") // Известия Дагестанского

- государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 3. С. 58-69.
6. Братков В.В., Гаджибеков М.И., Джандубаева Т.З., Дышеков М.М. Сравнительный анализ сезонной динамики ландшафтов Предкавказья // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2007. № 4. С. 85-88.
 7. Братков В.В., Савинова С.В., Ключин П.В. и др. Картографирование современной изменчивости агроклиматических условий Северного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16. № 4. С.173-181. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-173-181.
 8. Бурым Ю.В. Анализ сезонной динамики ландшафтов Ставропольского края для целей сельского хозяйства с применением ГИС-технологий // Естественные и технические науки. 2014. № 11-12 (78). С. 159-163.
 9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год / подг. М.Ю. Бардин и др. М: Росгидромет, 2019. 79 с.
 10. Забуряева Х.Ш., Керимов И.А., Романова О.С., Широкова В.А. Аналитический обзор: причины и последствия глобальных изменений климата // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2021. № 4(87). С.103-111. DOI: 10.33580/2541-9684-2021-87-4-103-111.
 11. Заурбеков Ш.Ш., Бекмурзаева Л.Р., Братков В.В. Оценка изменений современных агроклиматических условий природных ландшафтов Чеченской Республики // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. № 2. С. 83-92.
 12. Заурбеков Ш.Ш., Бекмурзаева Л.Р., Братков В.В. Современный агроклиматический потенциал Чеченской Республики // Метеорология и гидрология. 2020. № 3. С. 100-102.
 13. Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1948. 224 с.
 14. Керимов И.И., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Современные климатические тренды полупустынных ландшафтов Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Том 13. №4. С. 576-589. DOI: 10.2117/1998-4502-2021-13-4-576589.
 15. Керимов И.И., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Современные климатические изменения степных ландшафтов Северного Кавказа (на примере Чеченской Республики) // Известия ДГПУ 2021. Т. 15. № 2. С. 46-53. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-2-46-53.
 16. Керимов И.И., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Изменчивость климатических условий аридных ландшафтов Северного Кавказа // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XI. М.: ИИЕТ РАН. 2021. С. 444-449. DOI:10.34708/GSTOU.2021.41.10.068.
 17. Лурье П.М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 506 с.
 18. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Научный редактор С. М. Семенов. М. Росгидромет, 2012. 512 с.
 19. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. Ростов-на-Дону: ООО «Донской издательский дом», 2007. 487 с.
 20. Справочник по климату СССР. Вып.13. Ч.2. Л.: Гидрометиздат, 1966. 492 с.

21. *Чирков Ю.И.* Основы агрометеорологии. Л.: Гидрометеозидат, 1975. 253 с.
22. *Шапко Д.И.* Агроклиматические ресурсы СССР. М.: Гидрометеозидат, 1985. 243 с.
23. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts> (дата обращения 07.03.2022).
24. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21975#.YiZNF0hBxPY (дата обращения 07.03.2022).
25. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/climate-change-triggers-mounting-food-insecurity-poverty-and-displacement-africa> (дата обращения 07.03.2022).
26. https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science (дата обращения 07.03.2022).
27. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_ru.pdf (дата обращения 07.03.2022).

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ОСВОЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

© У.Т. Гайрабеков^{1,3}, А.А. Даукаев¹, А.Х. Усманов²

¹Академия наук Чеченской Республики, Грозный

²ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

³ЧГУ им. А.А. Кадырова, Грозный

Аннотация. В статье отмечено, что природные особенности территории Чеченской Республики уникальны с точки зрения формирования месторождений нефти и газа. Рассматриваемая территория расположена на стыке различных тектонических образований и разломов и относится к геодинамически активным регионам, что непосредственно сказывается на морфоструктурных особенностях и геодинамических условиях формирования нефтяных месторождений. Последствия освоения нефтяных месторождений на территории Чеченской Республики привели к образованию обширного и внутренне гетерогенного ареала воздействия нефтепромысловых объектов на природную среду и её компоненты. При этом более всего пострадали почвы, грунты, поверхностные и подземные воды. Техногенная трансформация природной среды республики, при освоении нефтяных месторождений, в большей степени связана с нефтепромысловыми объектами – скважинами, шламовыми амбарами, отстойниками, внутри- и межпромысловыми нефтепроводами.

Ключевые слова: нефтегазоносный район, нефтяные месторождения, природная среда, нефтепромысловые объекты, загрязнение, техногенная трансформация.

Введение

Чеченская Республика – старейший нефтедобывающий регион России. В записях древнегреческих, арабских и персидских авторов уже имеются первые сведения о наличии и использовании нефти на Северном Кавказе, в том числе и на территории Чеченской Республики [1, 15]. Этот период характеризуется небольшими потребностями населения в нефти, неумением перерабатывать ее, отсутствием даже кустарных промыслов. Промышленное освоение нефтяных месторождений на этой территории ведёт свой отсчёт с 6 октября в 1893 г., когда пробуренная на промышленной основе нефтяная скважина с глубины 133 м дала фонтанную нефть. Последующие скважины тоже были фонтанирующими, что свидетельствовало о богатстве Грозненских месторождений. Фонтанирующие скважины и высокое качество нефти способствовали ускоренному развитию нефтяной промышленности региона. Осваивались новые месторождения и строились нефтепромысловые объекты, которые в последующем стали главными источниками загрязнения природной среды [11, 12, 14, 17].

Особенности воздействия нефтяных загрязнителей на природную среду зависят как от количества и состава поллютантов – их геохимической активности, а также от свойств принимающих эти вещества природных экосистем. Одни и те же вещества в разных ландшафтно-геохимических условиях ведут себя неодинаково: в одних случаях они устойчивы и даже инертны, в других – не только подвергаются быстрым преобразованиям, но и

активно взаимодействуют с почвенно-грунтовой массой [10, 24, 25]. Загрязнение ландшафтов нефтью и нефтепродуктами вследствие высокой подвижности поллютантов представляет серьезную угрозу для компонентов природной среды и в первую очередь для поверхностных и подземных вод [24]. Особенно это характерно для горных и предгорных территорий, сложенных легко проницаемыми для поллютантов отложениями [4]. Это относится и к территории Чеченской Республики, где на протяжении двух столетий ведётся интенсивная добыча нефти.

Результаты

Во многих нефтегазоносных районах мира прослежена тесная пространственная связь нефтегазоносности с активностью блоков земной коры на их границах, в особенности с дизъюнктивными узлами. Блоковая структура наблюдается не только в строении нефтегазоносных бассейнов или зон нефтегазонакопления, но и в строении самих месторождений. Установлен молодой возраст большинства крупных и гигантских месторождений нефти и газа, сформировавшихся в основном в течение неогенового и четвертичного периодов, т. е. в периоды создания современного рельефа земной поверхности [3, 21-23].

Наиболее крупные месторождения нефти находятся на предгорных прогибах и нагорьях. Выделяются два крупных ареала месторождений, приуроченных к горам: Андско-Кордильерский (Северная и Южная Америка) и Переднеазиатско-Кавказский. Другие месторождения в горах Индонезии, на островах Малайского архипелага и Новой Гвинеи, на Сахалине, в Центральной и Средней Азии, в Карпатах, а также в Африке и Австралии можно характеризовать как локальные. Месторождения в горных и предгорных областях располагаются группами и связаны с крупными зонами нефтегазонакопления. Чаще всего такие группы месторождений горных стран приурочены к антиклинальным зонам.

Горы представляют собой особый тип географической среды, они характеризуются динамичными и разночастотными процессами, ограничивающими хозяйственную деятельность. Антропогенная деятельность накладывает свой отпечаток и часто усиливает разновозрастность ландшафтов. Это ярко проявляется на примере воздействия нефтедобывающего производства.

Нефтедобывающая промышленность по опасности воздействия на природную среду занимает третье место среди 130 отраслей современного производства [22, 25]. Основными загрязнителями природной среды при добыче нефти являются нефтепромысловые объекты: шламовые амбары, внутри- и межпромысловые нефтепроводы, нефтеперекачивающие станции, отстойники и т.д. [5]. Отходы бурения сосредоточенные в шламовых амбарах содержат в своём составе минералы и химические реагенты, используемые для приготовления и обработки буровых растворов [19]. Уровень загрязнения природной среды отходами бурения оценивается кратностью превышения предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в природных объектах [2].

Природные особенности добычи нефти в Чеченской Республике проявляются в концентрации в отдельных ландшафтных единицах тех или иных объектов нефтедобывающего производства [4-7], с которыми связаны основные

техногенные нагрузки на ландшафтную среду. Крупные нефтяные месторождения республики располагаются в непосредственной близости к активным зонам тектонических разломов, они привязаны к своеобразным «узлам», то есть местам физико-географических границ крупного ранга. Морфоструктурные условия региона оказывают исключительно важную роль в устойчивости залегания и условий разработки нефти. В свою очередь, это сказывается на техногенной трансформации природно-антропогенной среды региона [4-6].

За период промышленной добычи нефти на территории республики пробурено около 5000 скважина на нефть. Добыча нефти составила более 300 млн. т, переработка около 1,0 млрд. т [16, 26]. За период скважинной добычи нефти создано около 5000 нефтешламowych амбаров. Промышленное освоение нефтяных месторождений на территории республики предопределило создание около 500 км нефте- и продуктопроводов соединяющих нефтепромыслы с нефтеперерабатывающими заводами [4-6].

Интенсивность нагрузки нефти и нефтепродуктов на природную среду прямо связана с уровнем добычи углеводородного сырья и объемами её переработки [19]. Поэтому с увеличением объемов добычи, переработки, хранения и транспортирования нефти происходит расширение масштабов загрязнения окружающей среды в местах интенсивного скопления объектов нефтяного комплекса. Примером тому является г. Грозный, где нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия, нефтепроводы и нефтехранилища, эксплуатирующиеся в течение длительного периода, привели к сильному загрязнению урболандшафтов и образованию крупных скоплений техногенных залежей углеводородов [4, 6].

События, связанные с политической нестабильностью полностью разрушили инфраструктуру нефтяного комплекса, создали экологическую катастрофу на отдельных участках республики. С 1999 г. по 2003 г. в открытом фонтанировании находилось 148 скважин, большая часть из которых фонтанировала с возгоранием нефти. В 2000 г. от открытого фонтанирования скважин ежесуточно сгорало более 8 тыс. т нефти и 2,5 млн. м³ газа [13]. Количество разлитой нефти за этот период составило 3752 т, сгоревшей – 4399056 т, потери и хищение превысило 10 млн. т [18].

По результатам инвентаризации в 2007 г. общая площадь нефтезагрязненных земель на территории Чеченской Республики составила 1406 га. Из них в результате деятельности предприятий ОАО «Грознефтегаз» – 290 га; минизаводов по кустарной переработке нефти – 966 га; кустарной добычи техногенных нефтепродуктов – 150 га [6, 8].

Одной из причин создавшегося положения является низкий уровень экологичности технологических процессов, применяемых при добыче, переработке, хранении и транспортировке нефти, а также аварийные ситуации, приведшие к проникновению в окружающую среду различных загрязнителей. Другая причина состоит в недостаточном теоретико-методологическом обосновании мероприятий по охране природной среды и рациональному использованию природных ресурсов на горных и предгорных территориях, к которым относится Чеченская Республика.

Вопросы геоэкологии ландшафтов Чеченской Республики являются в настоящее время одними из приоритетных (геоэкологическая оценка территорий, подверженных влиянию нефтекомплекса, геоэкологическая оценка

геотермальных источников и др.) [27-29]. Они в той или иной степени пересекаются с вопросами последствий освоения территорий, связанных с месторождениями нефти).

Выводы

Освоение нефтяных месторождений, на протяжении длительного периода, стало причиной образования обширного ареала воздействия нефтедобывающего производства на компоненты природной среды Чеченской Республики.

Природные особенности добычи нефти на территории Чеченской Республики проявляются в концентрации в узких определенных ландшафтных единицах объектов нефтедобычи, с которыми связаны основные техногенные нагрузки на ландшафтную среду.

Приуроченность нефтяных месторождений к предгорно-горной зоне республики определяет необходимость разработки особых методологических подходов к анализу и оценке воздействия объектов нефтедобывающего производства на хрупкие и динамичные горные ландшафты.

Литература

1. Айрапетян М.А. Результаты испытания плунжерного лифта «ЮЗА» на промыслах Октябрьского района «Грознефть» // Грозненский нефтяник. 1936. № 1.
2. Булатов А.И., Рябченко В.И., Шеметов В.Ю. Актуальные проблемы охраны окружающей среды при бурении скважин // Нефтяное хозяйство, 1988. № 6. С. 5-8.
3. Виноградов Е.И., Губерман Ш.А., Дмитриевский А.Н. и др. Локальный прогноз крупнейших скоплений нефти и газа по морфоструктурным данным // Докл. АН СССР. 1989. Т. 305. № 3. С. 669-672.
4. Гайрабеков У.Т. Геоэкологические проблемы воздействия нефтяного хозяйства на природные комплексы чеченской республики // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-1. С. 185-186.
5. Гайрабеков, У.Т. Геоэкологические проблемы г. Грозный в связи с функционированием нефтекомплекса. Экология урбанизированных территорий, 2006. №3. С.56-60.
6. Гайрабеков, У.Т. Основные этапы развития и воздействия нефтепромышленного производства на ландшафтную среду Чеченской Республики. Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С 738.
7. Гайрабеков У.Т., Бачаева Т.Х. Морфоструктурные особенности и геодинамические условия формирования нефтяных месторождений на территории Чеченской Республики // Грозненский естественно-научный бюллетень. 2016. № 3 (3). С. 40-43
8. Гайрабеков У.Т., Усманов А.Х. Воздействие нефти и нефтепродуктов на геологическую среду и рекомендации по минимизации техногенеза // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2021. Том 6, № 1 (23). С. 5-9.
9. Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование СССР. М., 1968. 576 с.
10. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 324 с.
11. Грозненский нефтяник. Грозный: ЦНТБ ПО «Грознефть». 1930. № 1.
12. Даукаев А.А. История и перспективы развития геологоразведочных и научно-исследовательских работ на нефть и газ на Северном Кавказе (XIX-XX вв.) Москва, 2018. 224 с.
13. Зумаев Д.Д. Ставка на повышение нефтеотдачи // Нефть, газ & СРП, 2003. № 5. С. 11.

14. *Ибрагимов Л.Х., Бабуков В.Г., Дорогочинский А.З. и др.* Нефть и газ Чечни и Ингушетии. К 100-летию Грозненской нефтяной промышленности. 1893-1993 гг. / Под ред. Л.Х. Ибрагимова. М.: Недра. 1993. 272 с.
15. *Ибрагимов Л.Х.* Этапы большого пути // Нефть и газ & СПС. 2003. № 5. С. 48-53.
16. *Истратов И.В.* Горная геометрия и газонефтяная геология Северного Кавказа. М.: ООО Издательский дом Грааль, 2003. 378 с.
17. *Камышов С.Ф., Галихин В.Д., Ларин В.И. и др.* Грозненская нефтяная промышленность. М.: Гостоптехиздат. 1957. 57 с.
18. *Керимов И.А., Уздиева Н.С.* Геоэкология нефтяного комплекса Чеченской Республики. Назрань: Пилигрим, 2008. 252 с.
19. Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. I. Суша / Под ред. *Ю. С. Каджояна, Н.С. Касимова*. М. Калининград: Янтарный сказ, 2008. 360 с.
20. *Одинцов А.Б.* Неиссякаемый источник прогресса. Грозный: Чечено-Ингушское кн. изд-во, 1981. 128 с.
21. *Пиковский Ю.И.* Возраст нефтегазонакопления и нефтегазопроисходные технологии. Киев. 2000. С. 116-135.
22. *Пиковский Ю.И.* Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: МГУ. 1993. 207 с.
23. *Пиковский Ю.И.* Проблема происхождения нефти и газа – планетарный аспект // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука. 1999. С. 253. 264.
24. *Солнцева Н.П.* Закономерности формирования и эволюции битуминозных ореолов загрязнения и деградация природной среды в нефтедобывающих районах // География, общество, окружающая среда. Том IV: Природно-антропогенные процессы и экологический риск. М.: Городец, 2004. С. 416-427.
25. *Солнцева Н.П.* Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти (формы проявления, основные процессы, модели) // Восстановление нефтезагрязнённых экосистем. М.: Наука, 1988. С. 23-42.
26. *Gairabekov Umar, Gunja A.N., Bachaeva T.Kh.* Physic-Geographic Factors of oil development in the Chechen Republic // American Journal of Environmental Sciences. 2014. 10 (6). P. 575-580.
27. Современные проблемы природопользования на Северном Кавказе и пути их решения / *Б.И. Кочуров, Х.Ш. Забураева, И.А. Керимов и др.* // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Том 3. № 3 (11). С. 29-35. DOI: 10.25744/genb.2018.11.3.004.
28. *Гацаева Л.С., Гуля А.Н., Керимов И.А.* Геоэкологическая оценка влияния геотермальных скважин на ландшафт (на примере месторождения Гунюшки Чеченской Республики) // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Том 7, №2 (28). С. 18-31. DOI: 10.25744/genb.2022.94.48.003.
29. Минерально-сырьевая база нефтяной отрасли ЧР: состояние и перспективы развития / *Керимов И.А., Даукаев А.А., Бачаева Т.Х., Висмурадов А.В.* // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2016. № 1 (1). С. 13-24.

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

© А.Н. Гуня

Институт географии РАН, Москва

Аннотация. Работа продолжает дискуссию о проведении границы горных и не горных территорий, начатую в связи с уточнением статуса горных территорий в России. Для этого предлагаются общепринятые критерии, которые рекомендуется разделить на две группы. Первую группу образуют такие критерии, как высота над уровнем моря, расчлененность рельефа и крутизна склонов. Вторую – продолжительность вегетационного периода, неустойчивость погодных условий и повышенная динамичность климата, а также повышенная опасность проявления стихийно-разрушительных процессов. Отмечается, что механическое введение формальных критериев отнесения к горам не отражает всего разнообразия гор, необходим многоуровневый порядок выработки критериев горных территорий.

Ключевые слова: Горные территории, критерии, расчлененность рельефа, освоение, горный муниципалитет

Работа продолжает дискуссию о проведении границы горных и не горных территорий, начатую в связи с уточнением статуса горных территорий в России и базирующуюся на опыте предыдущих работ [1, 2]. Общепринятыми научно-обоснованными критериями, использующимися для определения горных территорий (горных населенных пунктов) являются:

- высота над уровнем моря (абсолютная и относительная – превышение над окружающими территориями);
- расчлененность рельефа;
- крутизна склонов.

Это основная группа критериев, сочетание которых используется для разграничения гор от равнин, что принято в ряде законов. Так, закон о горных территориях Дагестана (в редакции Закона Республики Дагестан от 16.03.2020 N 17) гласит: «горная территория – местность с пересеченным рельефом и относительными превышениями 500 м и более в радиусе 25 км, а также местность с абсолютной высотой рельефа 1000 м и более». Следует принимать во внимание разнообразие горных территорий. Так, прибрежные горы Большого Сочи, Крыма, Дальнего Востока начинаются практически с высоты прибрежной местности, т.е. с нулевой отметки. Многие местности на относительно небольшой высоте, но с крутыми склонами считаются горами в ряде национальных законодательств (например, в Польше местный муниципалитет считается горным, если более половины сельскохозяйственных полей имеют склоны круче 12°).

Вторая группа критериев является дополнительной и в известной мере зависит от основных:

- продолжительность вегетационного периода;
- неустойчивость погодных условий и повышенная динамичность климата;
- повышенная опасность проявления стихийно-разрушительных процессов (землетрясения и др.).

Приведенные формальные критерии первой и второй групп отражаются в особых экономических и социальных условиях, ограничивающих или предъявляющих особые требования для отраслей хозяйства и жизнедеятельности, которые можно интерпретировать как «горные» (табл. 1).

Таблица 1.

Особенности горных территорий, которые накладывают социально-экономические ограничения для развития и могут выступать критериями «горности»

Формальные критерии определения горных территорий	Социально-экономические ограничения и проблемы
Высота над уровнем моря	Физиологические условия жизнедеятельности населения (радиационное облучение, низкое давление, доступность и усвояемость витаминов и др.) требуют специальное медицинское обеспечение, затраты на экстренную помощь и др. Повышенные затраты на энергообеспечение
Расчлененность рельефа	Ограничения для строительства и эксплуатации капитальных объектов и ЖКХ (мелкоконтурность, сложности в проектировании инфраструктуры, дороговизна эксплуатации), повышенный расход на строительство инфраструктуры и транспортные услуги, повышенная дороговизна строительства и эксплуатации дорог, ограниченный доступ к сельхозугодьям, ограничения для применения техники, повышенный расход топлива и др.
Крутизна склонов	Пониженная устойчивость грунтов для дорог и объектов капитального строительства требуют особых технологий (например, серпантины для дорог), повышенного расхода топлива, особых технологий для земледелия (террасирование)
Продолжительность вегетационного периода	Ограниченность земледелия (невозможность земледелия при сумме положительных температур за вегетационный период менее 1600°), высотнo-зональная специализация, сезонные перегоны скота и др.
Неустойчивость погодных условий и повышенная динамичность климата	Особые условия адаптации для населения, особенно для переселенцев с равнин, особые риски, связанные с изменением глобального климата
Повышенная опасность проявления стихийно-разрушительных процессов	Ограничения в мобильности, особые условия техники безопасности, затраты на экстренную помощь, потребность в дорогостоящих инженерных защитных сооружений и мониторинге

Механическое введение формальных критериев отнесения к горам не отражает всего разнообразия гор, необходим многоуровневый порядок выработки критериев горных территорий (горных населенных пунктов): на уровне РФ в качестве наиболее общих рекомендаций и ориентировок; на уровне субъектов РФ должен быть составлен перечень муниципальных образований (МО) и разработана классификация МО по формальным критериям и степени проявления в пределах МО горных проблем.

Применимость критериев на федеральном уровне

Международный и российский опыт показывает, что в зависимости от особенностей географического положения и природных условий той или иной страны или региона набор критериев для выделения горных территорий может быть разным. Для России с ее огромными территориальными различиями следует выделить два типа горных регионов: освоенные (с постоянным населением и традиционными видами природопользования) и слабо освоенные (как правило, с отсутствием постоянного населения в горах). Для относительно освоенных территорий (регионы Северного Кавказа, Крым, горные регионы Южной Сибири – Алтай, Кемеровская область, Тыва и др.) затраты на поддержку развития и освоения требуют особого внимания со стороны государства, в том числе и правового обеспечения. В слабо освоенных горных регионах Дальнего Востока и Восточной Сибири необходимость обособления горной составляющей от развития всего региона является не столь очевидной, поскольку в этих горах почти нет населения.

Тем не менее, природно-экологическое значение горных территорий на Севере, Дальнем Востоке и Восточной Сибири нельзя недооценивать. Стратегическое и долгосрочное видение значения и роли гор должно быть в центре внимания федеральных органов власти. В список регионов – субъектов РФ, которые имеют в своем составе горы (согласно формальным критериям) попали 39 регионов (табл. 2). Они имеют в своем составе горные территории от нескольких процентов (например, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа) до 100% (Бурятия, Забайкальский край).

Таблица 2

Список субъектов РФ, имеющих в своем составе горные территории, исходя из общепринятых критериев

Округа	Субъекты РФ	Доля территории, расположенной выше 300 м над ур. моря (%)	Основные горные системы	Рекомендуемый нижний высотный предел для выделения горной территории для этого региона	Критерии отнесения к горам, отмеченные в местном законодательстве
Дальневосточный	Бурятия	100,0	Прибайкальские горы	выше 300 м	Нет
Дальневосточный	Забайкальский край	100,0	Прибайкальские горы	выше 300 м	Нет
Дальневосточный	Магаданская область	82,3	Горы Восточной Сибири	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
Дальневосточный	Хабаровский край	72,8	Горы Восточной Сибири	выше 300 м	Нет
Дальневосточный	Амурская область	71,6	Горы Восточной Сибири	выше 300 м	Нет
Дальневосточный	Приморский край	57,8	Сихотэ-Алинь	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет

Дальневосточный	Чукотка	51,7	Горы Восточной Сибири	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
Дальневосточный	Камчатский край	49,9	Горы Камчатки	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
Дальневосточный	Якутия	49,1	Горы Восточной Сибири	выше 200 м для северных районов	Нет
Дальневосточный	Еврейская АО	28,9	Горы Восточной Сибири	выше 300 м	Нет
Дальневосточный	Сахалин	24,3	Горы Сахалина	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
Приволжский	Башкортостан	45,8	Урал	выше 300 м	Нет
Приволжский	Оренбургская область	19,8	Урал	выше 300 м	Нет
Приволжский	Пермский край	17,3	Урал	выше 300 м	Нет
Северо-Западный	Архангельская область	11,8	Горы Новой Земли	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
Северо-Западный	Мурманская область	8,7	Хибины	выше 200	Нет
Северо-Западный	Коми	7,0	Урал	выше 200	Нет
СКФО	КЧР	100,0	Кавказ	выше 500 м	Нет
СКФО	Ингушетия	90,8	Кавказ	Подножье Черных гор (около 400 м)	выше 500
СКФО	СО-А	90,8	Кавказ	Подножье Черных гор (около 400 м)	выше 800 м
СКФО	КБР	80,9	Кавказ	Подножье Черных гор (около 400 м)	Нет
СКФО	Дагестан	50,9	Кавказ	выше 500 м	выше 500 м
СКФО	Чеченская Республика	43,5	Кавказ	Подножье Черных гор (около 400 м)	Нет
СКФО	Ставропольский край	22,2	Кавказ	Особые критерии для Пятигорья (от подножья лакколитов)	Нет
Сибирский	Тыва	100,0	Саяны	выше 300 м	Нет
Сибирский	Алтай	99,8	Алтай	выше 300 м	Нет
Сибирский	Хакасия	97,0	Саяны	выше 300 м	Нет
Сибирский	Иркутская область	95,2	Саяны, Прибайкальские горы,	выше 300 м	Нет

			Среднесибирское плоскогорье		
Сибирский	Кемеровская область	47,1	Саяны	выше 300 м	Нет
Сибирский	Красноярский край	45,4	Бырранга, Пutorана, Енисейский кряж	выше 200 м для северных районов края	Нет
Сибирский	Алтайский край	21,3	Алтай	выше 300 м	Нет
Уральский	Челябинская область	56,3	Урал	выше 300 м	Нет
Уральский	Свердловская область	16,7	Урал	выше 300 м	Нет
Уральский	ХМАО	2,1	Урал	выше 200 м	Нет
Уральский	ЯНАО	1,4	Урал	выше 200 м	Нет
ЮФО	Севастополь	24,4	Крымские	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
ЮФО	Крым	13,1	Крымские	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет
ЮФО	Адыгея	44,8	Кавказ	выше 300 м	Нет
ЮФО	Краснодарский край	21,4	Кавказ	Включить в горы прибрежные участки, сразу переходящие в горы	Нет

Особенности использования критериев на муниципальном уровне

Опыт северокавказских муниципалитетов можно взять за основу при классификации МО по формальным критериям и степени проявления горных проблем для последующего определения эффективных путей по поддержке сохранения и развития горных территорий, в частности, при оценке соотношения территориального и отраслевого подходов поддержки муниципалитетов или конкретных предпринимателей и др.

Горными считаются МО, населенные пункты которых, равно как и земли, вовлеченные в использование, расположены в границах горных территорий. Чтобы считаться «горным», муниципалитет должен иметь не менее 50% своей площади в пределах территории, обозначенной как «горная». Включение населения равнин в муниципалитеты с площадью горной местности более 50% является оправданным, поскольку их экономическая деятельность и условия жизни, вероятно, будут в значительной степени зависеть от их близости к горным районам. Перечень горных МО определяется субъектами РФ, исходя из исторически сложившейся системы расселения. Так, исходя из исторической системы расселения и общих рекомендаций по проведению гор по подножью так называемых Черных гор, в Северной Осетии 41 МО можно считать горными, в Кабардино-Балкарии – 26.

Для уточнения критериев отнесения МО к горным и определения направлений поддержки необходимы дополнительные оценки, для чего важным является анкетирование горных МО СКФО с выявлением основных проблем, связанных с освоением горных территорий, а также предложений по эффективным подходам по решению выделенных проблем.

Вопросы научного обоснования государственной поддержки горных территорий требуют реализации специальных научных проектов и программ с соответствующим финансированием. Одним из них мог бы стать проект: «Горные регионы России. Инвентаризация и анализ горных муниципальных образований в субъектах Российской Федерации». Целью проекта может стать получение полномасштабной информации о горных муниципальных образованиях России на основе географо-картографических, природно-ресурсных, социально-экономических и статистических данных, собранных в горных субъектах РФ. Результатами проекта может стать оценка роли и места горных территорий в стратегии пространственного развития, научно обоснованные критерии выделения горных территорий (муниципалитетов и населенных пунктов) в разных регионах и федеральных округах России, оценка потребностей в правовом обеспечении и поддержке горных территорий.

Исследование выполнено по теме государственного задания ИГ РАН «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования» FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).

Литература

1. Гуня А.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т. Картографо-геоинформационное обеспечение устойчивого развития горных регионов. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Т. 25. Ч. 1. М.: Издательство Московского университета, 2019. С. 47-65. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-47-65.
2. Колбовский Е.Ю., Гуня А.Н., Петров Л.А. Моделирование горных систем на глобальном и макрорегиональном (общероссийском) уровне // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XII / Под ред. И.А. Керимова, В.А. Широковой. М.: ИИЕТ РАН, 2022. С 463-470.

РОЗЕЛЛИНИОЗНАЯ КОРНЕВАЯ ГНИЛЬ СЛИВОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЗЕРБАЙДЖАНА

© Л.А. Гусейнова

НИИ Защиты растений и технических культур, Гянджа, Азербайджан

Аннотация. Розеллиниозная корневая гниль – вызывает гриб *Rosellinia necatrix* ex Prill., которая развивается на корневой системе и корневой шейке. Наиболее опасная болезнь сливы в условиях западной части Азербайджана. Возбудитель болезни попадает в растение через различные механические ранки. Ослабленные растения легче заражаются. В статье представлены результаты исследований по изучению розеллиниозной корневой гнили сливы (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) в условиях западной части Азербайджана. Определены биологические и патогенные свойства гриба *Rosellinia necatrix* ex Prill., изолированных из корневой системы сливы. Впервые в республике разработана и предложена производству система защиты сливовых садов от розеллиниоза (*Rosellinia necatrix* ex Prill.), включавшая агротехнические и химические методы борьбы.

Ключевые слова: слива, гриб, распространение, интенсивность, вредоносность

Введение

Слива (*Prunus* L.) род растений семейства розоцветные (*Rosaceae* Juss.). Включает около 250 видов, распространенных, главным образом, в северных умеренных областях земного шара. Многие представители рода – широко известные плодовые культуры (рис. 1, 2).



1



2

Рис. 1, 2. Созревшие плоды сливы (сорт «Июльская» и «Черная крупная»)

Слива домашняя (*Prunus domestica* L.) встречается только в культуре, если не считать одичалых отдельных насаждений ее в лесах Кавказа и Средней Азии. Сорта ее делятся на четыре группы: венгерки, ренклоды, мирабели и яичные; остальные – относятся к сливе уссурийской (*Prunus ussuriensis* L.), китайской (*Prunus salicina* Lindl.), канадской (*Prunus nigra* Aiton.) и американской (*Prunus americana* Marsh.), тоже сгруппированной [4, 5].

Слива (*Prunus* L.) лучше растет на глубоких, пронизываемых и плодородных, достаточно влажных или орошаемых дренированных почвах, но может расти и на осушенных торфяниках.

Слива (*Prunus* L.) также требовательна и к питанию, недостаток элементов которого сказывается на росте и развитии [8].

Слива (*Prunus* L.) очень чувствительно к влаге, ей необходим полив в течение всего периода вегетации во всех зонах выращивания. Особенно опасна для нее засуха. В период формирования косточки, то есть через полмесяца после окончания цветения, недостаток влаги приводит к массовому опадению завязей, а оставшиеся плоды не достигают положенных размеров и не приобретают обычной формы.

В условиях западной части Азербайджана на сливе (*Prunus* L.) наиболее вредоносны розеллиниозная корневая гниль (*Rosellinia necatrix* ex Prill.), бактериальный корневой рак или бактериальная зобоватость корневой системы (*Agrobacterium tumefaciens* Conn.), серая плодовая гниль или монилиоз (*Monilia cinerea* Bonord.), полистигмоз или красная пятнистость листьев (*Polystigma rubrum* D.C.), кармашки слив или дутые сливы (*Taphrina pruni* Fuck.), ржавчина (*Tranzschelia pruni-spinosae* Diet.) и т.д.

У представителей семейства *Xylariaceae* плодовые тела обычно погружены в строму. Правда, иногда последняя может быть развита очень слабо. Сумки, как правило, с апикальным кольцом, от йода часто окрашиваются в синий цвет. Темно-бурые аскоспоры имеют проростковую щель. Из разных частей света известно около 100 видов рода *Rosellinia*, встречающихся преимущественно на древесине и коре. Крупные, диаметром более 0,5 мм перитеции развиваются на сплетении гиф или имеют двойную стенку, внешний слой которой по своей природе соответствует строме. Плодовые тела могут быть также тесно скупенными. Подавляющее большинство этих грибов – сапрофиты, но есть несколько опасных паразитов.

Цель и задача исследований

Основной целью наших исследований было изучение розеллиниозной корневой гнили (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) в крупных промышленно значимых сливовых садах, расположенных в Гянджа-Казахской географической зоне Азербайджана в 2021-2023 гг. Для достижения цели, поставленной в исследовании, планировалось следующие задачи;

- Изучение распространенности, интенсивности развития и вредоносности розеллиниоза сливы (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) в условиях западной части Азербайджана.
- Определение факторов внешней среды, стимулирующих рост, развитие возбудителя болезни.
- Изучение биологических особенностей гриба *Rosellinia necatrix* ex Prill.
- Разработка агротехнических и химических приемов борьбы с болезнью.

Материалы и методы исследований

Для правильного планирования и организации по защите растений от болезней необходимо иметь сведения о видовом составе болезней, их распространенности, вредоносности, прогнозе их появления и развития.

Для выявления фитосанитарного состояния сливового сада проводили так называемые маршрутные обследования. Для более детальной характеристики болезни, когда необходимы сведения, например о ее динамике в зависимости от сорта, агротехнических, погодных или других условий проводят наблюдения за болезнью на стационарных участках [6,7].

Маршрутные обследования проводили 3 раза за вегетационный период: сразу после цветения, спустя один месяц, перед уборкой урожая [2].

Вредоносность розеллиниозной корневой гнили сливы (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) изучалась на восприимчивых к болезни сортах «Июльская» и «Черная крупная». Каждый сорт оценивали отдельно, так как разные сорта могут иметь различную поражаемость.

Интенсивность поражения сливы розеллиниозной корневой гнилью (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) оценивали по шкале:

0 балл – отсутствие поражения;

1 балл – поражено до 10% поверхности (листа, плода, растения);

2 балла – поражено от 11 до 25% поверхности;

3 балла – поражено от 26 до 50% поверхности;

4 балла – поражено свыше 50% поверхности (листа, плода, растения).

На основании полученных данных рассчитывали распространенность и развитие болезни по общепринятым в фитопатологии формулам. Для идентификации возбудителя болезни использовали определитель Хохрякова М.К. (1966) [9]. Статистический анализ полученных результатов проведен в соответствии с рекомендациями Б.А.Доспехова [3].

Результаты и их обсуждение

Розеллиниозная корневая гниль сливы (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) наносит значительный экономический ущерб, поскольку приводит к усыханию деревьев.

Мицелий возбудителя имеет важное значение в определении гриба. Гифы сегментированы, сегменты обычно вздуты, как груши. С течением времени на мицелии образуются склероции.

При прорастании склероций образуются конидиеносцы, а на их кончиках образуются бесцветные конидиеспоры. Перитеций гриба поверхностный, шаровидный, темного цвета, с устьями. Мицелий возбудителя обнаруживается в почве, особенно у больных деревьев (рис. 3). Перитеций и аскоспоры не имеют практического значения в распространении болезни. Перитеции часто не образуются.



Рис. 3. Розеллиниозная корневая гниль сливы

В распространении болезни важную роль играют мицелий возбудителя, оросительная вода, дождевая вода и т.д. А также розеллиниоз (*Rosellinia necatrix* ex Prill.) распространяется путем обработки почвы. Первым симптомом больных деревьев является пожелтение листьев. Пожелтение листьев может возникнуть из-за заражения всего дерева или корней. Это может быть в одном направлении дерева.

Пожелтение и увядание, а также усыхание листьев может быть в одном направлении дерева. Со временем, когда листья сохнут и опадают, на дереве появляется меньше, чем обычно, листьев. Урожайность и качество плодов снижаются до того, как плоды станут крупными и созревшими. При удалении коровой части корня под корой виден белый мицелий в виде сетки.

Заключение

- В защите сливы (*Prunus* L.) от болезней важное место занимают высокая агротехника в питомниках и взрослых насаждениях, а также своевременное и тщательное проведение специальных мероприятий, направленных на подавление возбудителей и ограничение их распространения [1,10].
- Основное внимание уделяется тщательному выполнению всех фитосанитарных мероприятий, сбалансированному режиму питания, света, тепла, влажности;
- Большое значение имеет устойчивость сорта. Следует выращивать иммунные и устойчивые к болезни сорта и гибриды сливы;
- Ранней весной также проводят «голубое опрыскивание» 3-4%-ным рабочим раствором бордоской смеси в фазе набухания или начала распускания почек (но не позднее);
- Своевременное уничтожение деревьев с признаками заражения розеллиниозом (*Rosellinia necatrix* ex Prill.);
- Предохранение деревьев от механических повреждений – зачистка ран до здоровой ткани и дезинфекция мест срезов 3% раствором медного купороса

или 5% раствором железного купороса с последующим покрытием садовой замазкой;

- Весенняя и осенняя побелка стволов и скелетных сучьев известью с добавлением 1% медного купороса. Создание лесополос из различных видов древесно-кустарниковых пород.
- В ходе исследований, проведенных нами в 2021-2023 гг., изучалось влияние химических мероприятий на распространение и интенсивность развития розеллиниозной корневой гнили сливы (*Rosellinia necatrix* ex Prill.). С этой целью, мы в основном использовали 1%-ную бордоскую жидкость, а также Хорус, Скор, Топаз.

Литература

1. Гулиев Ф.А., Гусейнова Л.А. Целесообразность применения фунгицидов на гранатовых кустах в условиях западной части Азербайджана // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. №3. 68-77 с.
2. Дементьева М.И. Фитопатология. М.: Колос, 1985. 69 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 122 с.
4. Еремин Г.В., Витковская В.Л. Слива. М.: Колос, 1980. 142 с.
5. Михеев А.М., Евстратов А.И. Слива. М.: Агропромиздат, 1981, 26 с.
6. Степанов К.М., Чумаков А.Е. Прогноз болезней сельскохозяйственных растений. Л.: Колос, 1972. 122 с.
7. Тарр С. Основы патологии растений / Перевод с англ. М.: Мир, 1975, 63 с.
8. Фатьянов В.И., Менафов Б.М. Вишня и слива. М.: Россельхозиздат, 1981. 29 с.
9. Хохряков М.К., Добзракова Т.Л., Степанов К.М., Летова М.Ф. Определитель болезней растений. Л.: Колос, 1966. 438 с.
10. Huseynova, L.A. The main disease of pomegranate in chestnut (gray-brown) of Azerbaijan/Kherson State Agrarian University, «The impact of climate change on spatial development of Earth's territories: implications and solutions», 2020, 89-94 p.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ КУБАНИ НА ТЕРРИТОРИИ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ

© Н.С. Дега

КЧГУ имени У.Д. Алиева, Карачаевск

Аннотация. В статье дается эколого-географическая оценка современного состояния водосборного бассейна реки Кубани на территории Карачаево-Черкесской Республики. С 2009 по 2021 гг. качество воды в трех створах, которые расположены в «сглаженных» формах рельефа понизилось на один класс. Удельному комбинаторному индексу загрязнения воды изменялся от 2 класса "слабо загрязненная" до 4 класса "грязная". Поверхностные воды среднегорий характеризовались как "слабо загрязненные", низкогорных как "загрязненные", на равнинных участках качество воды понизилось до "очень загрязненной" и "грязной". На территории республики наблюдается снижение годового стока реки Кубани, по причине глобального потепления климата и региональной хозяйственной деятельности, которые способствуют регенерации водосборных бассейнов горных рек. Повышенная нагрузка на водосборный бассейн реки и его трансформация требуют сбалансированного управления водопользованием и разработки природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: река Кубань, поверхностная вода, гидрохимия, комплексная загрязненность воды, антропогенная деятельность, водосборные бассейны

Наиболее динамичная и сравнительно небольшая по протяженности часть р. Кубани расположена у истока, на территории Карачаево-Черкесской Республики (КЧР), в сложной дифференциации рельефа, геологии и природно-климатических зон. Река Кубань образуется при слиянии рр. Учкулан и Уллу-Кам [7]. Поверхностные воды реки используются для водоснабжения многочисленных населенных пунктов республики, в сельском хозяйстве, в промышленности и рекреации.

Глобальное потепление климата и региональная хозяйственная деятельность являются основными факторами современной трансформации водных объектов горных территорий.

На территории КЧР отмечается потепление климата, которое в первую очередь связано с глобальными процессами [9]. За 45 летний период увеличение среднегодовой температуры воздуха составило 1.7 °С, количество жидких атмосферных осадков увеличилось на 33.9 мм/год. Тем не менее, количество твердых осадков в горных районах республики имеет тенденцию к сокращению, особенно в холодный период. Все сезоны года характеризуются повышением температуры, особенно зимой и летом, что привело к определенной трансформации нивально-гляциальной зоны в высокогорьях республики [5].

С 1967 по 2015 гг. площадь оледенения в регионе уменьшилась на 54.1 км², или 26.3 %, скорость отступания ледников увеличилась на 9% по состоянию на 2000 г. и на 19% в 2015 г. (рис. 1) [10, 11]. Весьма существенное сокращение размеров современного оледенения привело к сокращению ледникового стока [11, 12].

В контексте потепления климата периодически отмечаются некоторое увеличение водности рек, в целом для Кавказа - повышенных и пониженных расходов воды, на этапах циклических изменений климата [1]. На Западном

сегменте Северного Кавказа наблюдается обратная тенденция - уменьшение водности рек [2, 9]. Наиболее существенное снижение годового расхода воды за сорокалетний период зарегистрировано в р. Кубани и ее притоке р. Уруп. В среднем на территории Карачаево-Черкесской республики отмечается снижение годового стока до 20%.

Кроме потепления климата на водность рек оказывает значительное воздействие антропогенная деятельность - орошение, аграрное и лесное хозяйство, осушение болот, водопотребление, строительство и функционирование ирригационных объектов и др. Сокращение лесистости гидрографических площадей в республике отрицательно отражаются на водоохраной и водорегулирующей роли прибрежных территорий. Не контролируемые рубки, неуправляемые пожары, пойменные и русловые разработки усиливают эрозионные процессы и приводят к существенным нарушениям природного баланса в водосборных бассейнах.



Рис. 1. Отступление отдельных ледников Карачаево-Черкесии в связи с изменением климата

Для комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод р. Кубани проводился гидрохимический мониторинг. В 2008 и 2009 гг. гидрохимический мониторинг проводился ФГУ "Кубаньмониторингвод", в 2013-2015, 2020-2021 гг. – научно-исследовательской лабораторией геоэкологического мониторинга Карачаево-Черкесского государственного университета имени У.Д. Алиева. Ежеквартально в основные гидрологические фазы отбирались разовые пробы воды из 11 контрольных створов (рис. 2). В каждом створе определялось не менее 15 химических ингредиентов.



Рис. 2. Схема размещения контрольных створов р. Кубань

Гидрохимическая оценка качества поверхностных вод включала:

- расчет индекса загрязнения воды (ИЗВ) и ИЗВ с поправкой на водность [3];
- расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) [6];
- используя рН водной среды и насыщение воды кислородом рассчитывались индексы трофического состояния (ITS) [8].

В 2008-2009 гг. нами были выделены 15 загрязняющих веществ, в соответствии с обязательным перечнем. В течение 2008-2009 гг. поверхностная вода 2-го класса "слабо загрязненная" зарегистрирована в Створах 1, 3, 4, 5 - это верхние участки реки (от 850 до 1400 м н.у.м.). В предгорной зоне течения реки качество воды характеризовалось 3 классом разряда "а", на равнинно-холмистой территории, в Створах 10 и 11 установлена "очень загрязненная" вода 3 класса разряда "б" [4].

Спустя 12 лет, в 2021 г. отбор проб проводился из 9 створов, в каждой пробе воды определялось 17 химических ингредиентов. Качество поверхностных вод в реке по удельному комбинаторному индексу загрязнения воды изменялось от 2 класса "слабо загрязненная" до 4 класса "грязная". Поверхностные воды среднегорий характеризовались как "слабо загрязненные", низкогорных как "загрязненные", на равнинных участках качество воды

понижилось до "очень загрязненной" и "грязной". За двенадцатилетний период (2009-2021 гг.) в трех створах, которые расположены в «сглаженных» формах рельефа качество воды понизилось на один класс. Увеличение концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах реки, указывает на их антропогенное происхождение (рис. 3).

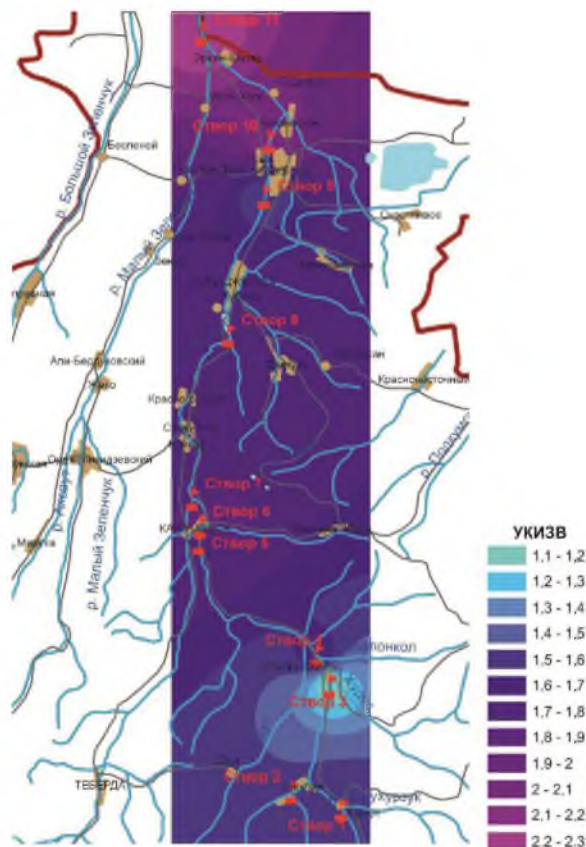


Рис. 3. Геоинформационная модель распределения УКИЗВ на реке Кубани

Условно чистой воды не зарегистрировано ни в одном створе. С 1 по 5 створы (высокогорья и среднегорья) поверхностная вода имела характер слабо загрязненной 2 класса, а УКИЗВ изменялся от 1,1 до 1,7. Единичное загрязнение в приведенных выше створах отмечено нефтепродуктами, биологическим потреблением кислорода (БПК) и цинком. Устойчивое загрязнение реки наблюдалось железом, общими фенолами, марганцем и медью. В районе г. Карачаевска (створ 6) качество воды понизилось до загрязненной 3 класса разряда "а". Основными загрязнителями этого створа были шесть ингредиентов. Марганец и общие фенолы были типичными представителями. Присутствие общего железа носило устойчивый характер, а нефтепродукты и медь зарегистрированы единично. В районе п. Коста-Хетагурова (створ 7), г. Усть-Джегута (створ 8) и выше по течению реки до г. Черкесска (створ 9) качество воды сравнительно улучшилось, УКИЗВ снизился в среднем до 1,7 и вода характеризовалась 2 классом, как слабо загрязненная. Превышение ПДК в этих створах наблюдалось по четырем ингредиентам – общему железу, биологическому потреблению кислорода, соединениями марганца и меди. По

средним многолетним данным, наибольших значений УКИЗВ достиг в створах 10 и 11 (равнинные территории) и составил 2,1 и 2,3 соответственно, что классифицирует поверхностную воду реки как загрязненную 3 класса разряда "а". Превышения ПДК в этих створах наблюдалось по 5 ингредиентам. Содержание железа, марганца и меди характерно для этих створов. Нормативные превышения концентраций химического потребления кислорода, БПК и нитритного азота носили устойчивый характер, а соединения марганца критическую концентрацию.

Для Створа 6 (п. Коста-Хетагурова), Створа 2 (а. Учкулан) и Створа 5 (г. Карачаевск) были рассчитаны индексы загрязненности воды, с поправками на водность. Качество воды в створах ухудшалось в годы понижения стока поверхностных вод. Таким образом, априори можно отметить, что снижение годового стока на реке Кубани за сорокалетний период можно рассматривать сдерживающим фактором ухудшения качества поверхностных вод.

При исследовании качества поверхностных вод реки Кубани возникла необходимость установления связи загрязнения воды горной реки с динамикой геоэкологической ситуации. В рамках экспедиционных исследований проведены визуальные наблюдения водосборного бассейна реки Кубани. В высокогорьях и среднегорьях гидрографических участков наблюдаются оголенные лесные территории после сплошных вырубок, которые привели к сокращению лесистости, увеличению количества оползней и селей. В низкогорных и равнинных районах прибрежные леса в значительной мере трансформированы и используются в эксплуатационных целях - строительство жилых и хозяйственных построек, рекреационных объектов и животноводческих ферм. Выпас скота осуществляется без контроля. Ежегодно растет количество несанкционированных свалок по берегам рек. Осуществляется сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод из очистных сооружений, не соответствующих технологическим требованиям.

Динамика загрязнения поверхностных вод, по профилю русла верхнего сегмента р. Кубани в Карачаево-Черкесской Республике требует принятия неотлагательных мер по контролю за качеством, с акцентом на геоэкологическую ситуацию прилегающих к створам участков. Повышенная нагрузка на водосборный бассейн реки и его трансформация требуют сбалансированного управления водопользованием и разработки природоохранных мероприятий.

Литература

1. *Виноградова Н.Н., Виноградова О.В.* Неоднозначность изменения водности небольших горных рек Кавказа на современном этапе // Актуальные вопросы гидрологии и геоэкологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Пермского государственного национального исследовательского университета. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2016. С. 13-17.
2. *Виноградова О.В., Виноградова Н.Н.* Реакция горных рек Кавказа на изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 4. С. 44-48.
3. *Гагарина О.В.* Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». 2012. 199 с.

4. Дега Н.С., Онищенко В.В., Узденова Х.И., Шидаков А.К. Динамика гидрохимической структуры реки Кубани в антропогенной зоне ледникового питания Карачаево-Черкесской республики // Проблемы региональной экологии. 2015. № 3. С. 92-99
5. Дега Н.С., Узденова Х.И. Тенденции динамики климата на территории Карачаево-Черкесской Республики // Успехи современного естествознания. 2018. № 12. С. 124-129.
6. Емельянова В.П., Лобченко Е.Е. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. М.: Дефон., 2004. 20 с.
7. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. Гидрометеиздат. Санкт-Петербург, 2005. 498с.
8. Неверова-Дзюпак Е., Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
9. Онищенко В.В., Дега Н.С. Экосистемный мониторинг горных районов Карачаево-Черкесии в условиях усиления техногенного прессинга и изменения климата // Безопасность в техносфере. 2009. № 6. С. 14-18.
10. Онищенко В.В., Дега Н.С., Тохчуков Ш.Ю. Геоэкологические особенности трансформации современного оледенения Карачаево-Черкесии // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Серия «Естественные и точные науки». 2016. № 1 (34). С. 97-102.
11. Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Салтагаров А.Д. Колебания ледников Северного Кавказа за XIX-XX столетия. Кисловодск: Северокавказское издательство МИЛ, 2008. Вып. 47. 331 с.
12. Рыбак О.О., Рыбак Е.А., Корнева И.А. Ожидаемое изменение поверхностного баланса массы ледникового комплекса Эльбруса в условиях глобального потепления // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-1 (90). С. 135-141.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНАХ ПРОХОЖДЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

© И.В. Иванусь
КубГУ, Краснодар

Аннотация. В данной статье делается попытка обратить внимание специалистов на такой фактор интенсификации опасных геологических процессов, как лесной пожар, ведущий за собой уничтожение одного из сдерживающих факторов при оползне и селеобразовании — удерживающей силы корневой системы деревьев, а также на неравномерность проявления интенсификации процесса на разных участках для различных ботанических, ландшафтных и климатических условий.

Ключевые слова: температура, залповые осадки, лесной пожар, оползень, сель, интенсивность ОГП, интервал до ОГП, мониторинг, вид растительности

В результате изменения климатических условий наблюдается постепенное повышение средней температуры воздуха по летним месяцам и устойчивое протяженное значительное повышение температуры на поверхности горных пород. Кроме того, наблюдается постоянное увеличение количества залповых ливней, в результате которых за очень короткий срок происходит выпадение месячной нормы осадков. В тоже самое время растет количество лесных пожаров, которое связано как с повышением температуры воздуха и горных пород, так и с человеческим фактором. Последние пять лет (2018-2023) показали рост ЧС, вызванных опасными геологическими процессами, более чем на 17%. В большинстве случаев механизм разворачивается следующим образом: повышение температуры при небольшой интенсивности осадков влечет за собой появление локальных очагов лесных пожаров, которые возникают в том числе и по вине человека. Это, в свою очередь, запускает механизм уничтожения огромного количества лесных насаждений, в том числе и в сложно доступных высокогорных районах, где происходят дополнительно разрушение горных пород под действием выветривания, сейсмического воздействия.

Результатом всех этих изменений является увеличение количества селевых потоков и оползневых явлений, для интенсификации которых складываются все необходимые условия.

Увеличением дневного перепада температуры горных пород с одновременным увеличением количества выпадающих осадков на склонах, сложенных известняками или аргиллитами, в случае района Б.Сочи запускают процесс физического выветривания, а пожары убирают единственный естественный сдерживающий фактор — крепление корневищами деревьев. В сложившейся ситуации, при возникновении осадков даже в стандартном, привычном объеме возможно возникновение селевых потоков, которые на своем пути подхватывают все новый и новый осыпной материал и сносит его вниз по склону, разрушая при этом инженерные сооружения и нанося вред гражданским зданиям.

Большее распространение оползни отмечается в районах, где на склонах имеется чередование водопроницаемых и водоупорных пород. Проведенный анализ временных рядов активности проявления оползней на территории горной и предгорной частей Южного округа показывает полное совпадение периодов

активизации оползневых процессов с экстремумами годовых сумм осадков. Влияние увлажненности территории на активность проявления оползней прослеживается и в внутригодовом и в многолетнем разрезах. Установлено, что преобладающая часть оползневых подвижек на юге России происходит в наиболее влажный весенний период. Исключением является территория Черноморского побережья Краснодарского края, где наиболее значительная активизация оползневых процессов наблюдается в осенне-зимне-весенний период, чаще в январе – феврале [1].

За последние два десятилетия (2000-2021 гг.), в лесах по всей территории РФ, отмечается увеличение скорости распространения, частоты, тяжести и интенсивности лесных пожаров. Этому есть целый ряд причин. Одна из главных — преобладание, обладающих повышенной горимостью, хвойных лесов. Вторая причина — повышение риска пожаров, вызванных грозowymi разрядами, особенно на малонаселенных отдаленных территориях. Также необходимо отметить, безусловно, неудовлетворительную защиту лесов от пожаров и человеческий фактор безалаберности и безответственности, который приводят к возникновению очагов пожара в самых отдаленных частях, куда затруднено быстрое прибытие средств МЧС [2].

Согласно прогнозам, российский ученых, продолжительность сезона пожарной опасности в период с 2041 до 2060 гг. увеличится на 10–20 дней по всей стране по сравнению с 1980–2000 гг., а в конце века (2080–2090 гг.) как минимум еще на 20 дней пожарной опасности (и локально до 50 дней) для Европейской части России, Западной Сибири, а также юга и средних широт Восточной Сибири. Недавнее исследование с помощью набора региональных климатических моделей подтвердило общее увеличение риска пожаров в условиях изменения климата, но показало, что, особенно в рамках РТК4.5, климатический риск пожаров может частично снизиться на региональном уровне в Центральной Сибири из-за увеличения количества осадков.

В некоторых западных странах с проблемой поэтапного течения процесса: интенсивный пожар — залповый ливень — сход селя (оползень), укладываемого в один год встретились впервые в конце 2016 г. Обширное распределение этих процессов по нескольким странам позволило собрать достаточно большую базу данных для установки марок для мониторинга количества осадков, скорости накопления материала и скорости и времени схода селевого потока. Результатом стало создание математической геологической модели, где исходными данными служили площадь распространения пожара; показатель степени пораженности растительности, рассчитанный для данных, полученных сравнением спутниковых снимков до и после пожара, а также рекогносцировочными данными, полученными при исследовании непосредственно на земле; видовой состав пород, количество атмосферных осадком и интенсивность их выпадения по месяцам.

Результаты моделирования селевых процессов были сопоставлены с натурными испытаниями и выполнены некоторые корректировки.

В результате наблюдений было выяснена возможность разворачивания двух сценариев развития событий.

Первый вариант — во время пожара (а леса в основном хвойные) летом 2017 г. было зафиксировано образование восковых соединений, которые покрывали листья и хвою, часть из которых затем конденсировались на поверхности земли. Так образовывался водоотталкивающий слой, который не позволял почве впитывать воду. Если дождь имеет большую интенсивность, скорость впитывания свободной от пленки поверхности земли очень мала и

образуется ручейки, стекающие вниз по склону. Эти потоки подхватывают грунт и камни, которые набирают скорость и устремляются вниз по склону, создавая селевой поток.

Второй вариант развития событий — пожар, произошедший в сентябре 2017 г. сжег всю растительность на площади более 20000 га. Но, несмотря на несколько сильных ливней, в последующие три года, никаких опасных геологических процессов выявлено не было. Только в январе 2021 г., проливные дожди спровоцировали смертельный оползень. Явно наблюдается отсрочивание селя или оползня. После пожара водоотталкивающий слой на поверхности грунта фрагментирован и не такой сплошной, как покрытия, образовавшиеся на южных территориях, которые исследовались в первом варианте. Таким образом, вода может просочиться в грунт во время сильных дождей, даже после пожара и постепенно проникать вглубь и накапливаться долгое время. Но образование пленки на поверхности исключает нормальный цикл увлажнения – испарения и поэтому влага, по-видимому, накапливается внутри и при достижении критической массы является отличным «трамплином» для соскальзывания оползневой массы [3].

Если обратить внимание на статистику прохождения лесных пожаров по Черноморскому побережью за 2020-2022 гг. и оползневых процессов на это же территории, то можно заметить, что на некоторых участках разворачивался сценарий первого варианта, а на отдельных — второго. Также есть участки, на которых интенсивность проявления опасных геологических процессов осталась без изменений.

Следовательно, требуется индивидуальный подход к созданию модели для областей с разными геологическими, геоботаническими и ландшафтными особенностями. К сожалению, самой большой проблемой для построения более четкой картины является нехватка ресурсов. Как говорится «у нас нет проблем с большими данными, у нас проблема с небольшим объемом данных».

Исследователи оползней во всем мире обсуждают общий набор факторов, которые можно включить в универсальную модель прогнозирования, но до такой модели еще далеко, потому что ландшафт, климат и характеристики грунтов различаются очень сильно. Единое мнение звучит так: «существует такая высокая изменчивость риска от места к месту, что мы до сих пор не знаем, что делать».

Для построения единой региональной модели прогнозирования необходимо обработать большой объем данных, которые позволят сделать вывод, в первую очередь о типе процесса, первый или второй принцип развития ОГП ждать на этой территории. А далее будет появляться ясность о мероприятиях, которые возможно и необходимо провести для недопущения или уменьшения последствий развития оползня или селя.

Литература

1. Глушко А.Я. Опасности проявления оползневых процессов в ЮФО // Юг России: экология, развитие. 2009. № 4. С. 162-169.
2. Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука / П. Лескинен, М. Линднер, П.Й. Веркерк, Е. Куликова. Хельсинки: Европейский институт леса, 2020.
3. Jane Palmer The one-two punch of fires and mudslides / J.Palmer // Nature – 2022. Vol 601. С. 185-186.

СНИЖЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ТЕРИОФАУНЫ В ПРЕДКАВКАЗЬЕ – СВИДЕТЕЛЬСТВО ПЕРМАНЕНТНОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ

© Н.П. Калмыков¹, И.Н. Белоцерковская²

¹ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону

²НМ КБР, Нальчик

Аннотация. В статье приводится состав териофауны, существовавшей в Предкавказье в течение длительного по геологическим меркам отрезка времени: от среднего миоцена и до голоцена. Изменения в его составе связаны с наступлением так называемого «ледникового периода», начавшегося еще в конце мезозоя. Перманентное похолодание привело к выпадению теплолюбивых субтропических форм. В связи с освобождением от моря участков суши возникшие новые ниши осваивались млекопитающими из сопредельных территорий. Позже их заместили бореальные формы, но они уже не могли восполнить былое разнообразие в Предкавказье. Пищевые цепи становились все короче, геоэкосистемы – менее устойчивыми.

Ключевые слова: миоцен, плиоцен, плейстоцен, фауна, млекопитающие, Предкавказье

Выявление направленности коэволюции природной среды и наземной биоты – одна из наиболее важных задач исследований геологического прошлого, позволяющих проследить посредством анализа палеогеографической обстановки и таксономического состава териофауны трансформацию разнообразия млекопитающих со среднего миоцена до настоящего времени. Сопоставление ареалов млекопитающих, смещавшихся в результате вариации климата и ландшафтов, изучение истории и особенностей модификации наземной биоты, сопровождавшейся вымиранием отдельных видов или изменением областей их распространения, дают возможность показать тенденцию в преображении биологического разнообразия. Для рассмотрения формирования ядра рецентной териофауны, на наш взгляд, следует слегка углубиться в историю ее развития, начиная с миоцена, потому что самые древние окаменелости наземных позвоночных на рассматриваемой территории известны только этого времени. Некоторые черты современной природы начинают проследиваться с раннего миоцена, когда почти завершилось формирование природных зон. Их становление происходило в ходе значительных и неоднократных трансгрессий и регрессий морских водоемов, перестроек рельефа, почвенного покрова, фауны и флоры. Неогеновый и антропогеновый периоды – это эпохи усиления тектонических движений, ставших причиной изменений в рельефе и атмосферной циркуляции, приведшей, в свою очередь, к перестройке климата, связанной с похолоданием, начавшегося еще в мезозое [17].

Одно из расширений площади суши, вызванного поднятием Большого Кавказа, приходится на тарханский и чокракский века среднего миоцена [14]. Чокракские отложения в Предкавказье часто содержат остатки ископаемых растений [13], в том числе *Salix varians*, *Cystoseira foliiformes*. Особенности морфологии листа ивы предполагают существование в это время довольно влажного и теплого климата [11]. Присутствие *C. foliiformes* говорит о тесной связи чокракского бассейна со Средиземным морем, где эти бурные водоросли

живут и ныне. Сообщество *Laurus primigenius* и *Populus mutabilis*, представителя тугайных лесов, указывает на субтропический климат и влаголюбивость флоры, присутствие *C. foliformes* – на наличие теплых и слабосоленых морских бассейнов, а *Phragmites oenirodela*, *Salvinia sunshade* и *Spiridela mironovi* – на заболоченность береговой линии чокракского моря [13]. Не исключено, что *Platybelodon danovi*, *P. jumandzhalgensis*, *Caucasotherium efremovi* и другие представители анхитериевой фауны, окаменелости которых были найдены в долине р. Кубань (Беломечётская) [5], обитали в сходных биотопах. Мозаичные ландшафты населяли *Cricetodon caucasicus*, *Amphicyon caucasicus*, *Laphyctis* sp., *Crocota abessalomi*, *Orycteropus* sp., *Gomphotherium* sp., *Anchitherium* sp., *Paranchitherium karpinskyi*, *Aceratherium* sp., *Dicerorhinus caucasicum*, *Phyllotillon* sp., *Kubanochoerus robustus*, *Dorcatherium* sp., *Micromerix* sp., *Dicrocerus belometschetskense*, *Heteroprox* sp., *Paradicrocerus flerovi*, *Lagomerix* sp., *Palaeotragus* sp., *Cubanotragus sokolovi*, *Paratragocerus caucasicus*, *Hypsodontus miocenicus* (рис. 1 А). О том, что климат был довольно теплым и влажным, говорит присутствие в составе этой фауны *Platybelodon*, *Kubanochoerus*, *Dorcatherium*, *Caucasotherium*. О близости открытых пространств типа саван свидетельствуют окаменелости *Amphicyon*, *Crocota*, *Anchitherium*, *Paranchitherium*, *Cubanotragus*, *Paratragocerus* и других элементов анхитериевой фауны.

В позднем миоцене эту фауну начинает замещать гиппарионовая фауна, состав которой был образован различными формами Insectivora, Primates, Rodentia, Lagomorpha, Carnivora, Proboscidea, Perissodactyla, Artiodactyla, основным ее отличием было присутствие трехпалых лошадей – гиппарионов (*Hipparion*), определивших название этой фауны (рис. 1, Б; 2, А). Редко встречались последние *Anchitherium*. В связи с появлением новых сухопутных мостов на первые роли стали выходить трехпалые лошади, которые осваивали новые территории не только в Евразии, но и в Африке. Они расселись по многим континентам, где обособились в отдельные трудноразличимые виды и роды. Эта фауна представляла фаунистический комплекс вымерших наземных млекопитающих, населявших не только Евразию (примерно до 52 с. ш.), но и Северную Америку, и Африку со второй половины миоцена до среднего плейстоцена. В Европе и Азии появление этой фауны связывают с начавшимся в середине миоцена формированием лесостепей и степей, схожих с африканскими саваннами. Существование как лесных, так и открытых ландшафтов значительно увеличило число ниш, которые могли занимать фитофаги, консументы первого порядка, к которым относились трехпалые лошади и многие их спутники. С ними, в свою очередь, были связаны не менее разнообразные консументы второго порядка (хищные млекопитающие), стоявшие на более высоких трофических уровнях в пищевых пирамидах и входящие в те или иные звенья пищевых цепей геоэкосистем. Геоэкологическая обстановка на той или иной территории обуславливала на каком-либо временном срезе эволюции биоценотического покрова ее таксономический состав, который был присущ только ей, и только ей.



Рис. 1. Основные представители крупной териофауны Предкавказья в среднем (А) и позднем (Б) миоцене:

А: 1 – *Dicerorhinus caucasicus*, 2 – *Palaeotragus* sp., 3 – *Crocota abessalomi*, 4 – *Chilotherium* sp., 5 – *Orycteropus* sp., 6 – *Kubanochoerus robustus*, 7 – *Amphicyon caucasicus*, 8 – *Phyllotillon* sp., 9 – *Anchitherium* sp., 10 – *Platybelodon danovi*, 11 – *Lagomeryx* sp., 12 – *Aceratherium* sp., 13 – *Gomphotherium* sp.

Б: 1 – *Hipparion* cf. *Cremohipparion* sp., 2 – *Deinotherium* sp., 3 – *Procapyrocolus* sp., 4 – *Trogontherium* sp., 5 – *Microstonyx* sp., 6 – *Gazella* cf. *pilgrim*, 7 – *Samotherium* sp., 8 – *Chilotherium* cf. *schlosseri*

Эволюция гиппарионовой фауны в Предкавказье, как и в других частях своего ареала, протекала под воздействием изменений в окружающей ее среде, в значительной мере растительного покрова. Он, в свою очередь, был связан с историей морских бассейнов – реликтов Восточного Паратетиса, и дальнейшим похолоданием. Териофауна, несомненно, зависела от направленности в развитии флоры, в которой отмечалось увеличение доли бореальных форм, которые, в свою очередь, обуславливали новое разнообразие растительных млекопитающих. Имеющиеся данные говорят о том [8], что в позднем миоцене век от века геоэкологическая обстановка постепенно преобразовалась, площади, занятые морем, сокращались, а суша увеличивалась, открытые пространства расширялись, климат становился суше и прохладнее.

В Западном Предкавказье, где накопление молассовых толщ, как уже отмечалось, определялось геологическим строением и было напрямую связано с тектоническими структурами, чем интенсивнее поднятия в горной части, тем более грубые и мощные отложения накапливались в смежных с ними предгорных областях [4]. Считается, что в них «изредка встречаются фаунистические остатки», позволяющие определять условия образования, а иногда и возраст. Континентальный, преимущественно аллювиальный, генезис отложений указывает на то, что все местонахождения гиппарионовой фауны на юге Азово-Кубанского прогиба не являются автохтонными ориктоценозами, окаменелости переотложены в результате глубинной и боковой эрозии реки, что подтверждают фоссилии китообразных, залегающие в тех же самых осадках [16]. Как отмечал в свое время Е.В. Белуженко [4], отслеживание и картирование реальных геологических тел проводилось по литологическим признакам и стратиграфическому положению отложений в разрезах, так как находки фауны в них редки и неоднозначны, обоснование их возраста в этой связи остается одной из главных проблем.

Анализ имеющихся представлений о гиппарионовой фауне и спорово-пыльцевых комплексах [1, 6], особенностях накоплений свит, содержащих окаменелости гиппарионов и их спутников, позволяет обрисовать только в общем плане геоэкологическую обстановку Предкавказья в позднем миоцене.

Она обитала в период медленного понижения Большого Кавказа, имевшего разнонаправленный характер, что нашло отражение в ритмичности осадконакопления и литологическом составе свит, содержащих их остатки. Они связаны в основном с аллювиальными отложениями, которые образуют, как правило, аллохтонные ориктоценозы. Изменения в природной среде, сопровождающиеся дальнейшим похолоданием климата, не носили катастрофического характера, однако привели к распаду тургайской флоры и вымиранию трехпалых лошадей, точное время этого события невозможно определить. Постепенная трансформация лесов, их отступление к югу, продолжающееся выпадение из флоры широколиственных форм, типичных для более ранних эпох, расширение открытых пространств за счет отступления морских бассейнов, сокращавших промежуточный экотон – лесостепи, оказывали непосредственное влияние на состав гиппарионовой

фауны. Последние ее представители продолжали обитать в Азово-Кубанском прогибе в плиоценовой эпохе (рис. 2, А), где их находки чрезвычайно редки, а окаменелости не информативны и зачастую не стратифицированы. Степень геологической изученности региона пока не позволяет, как уже говорилось, не только установить время вымирания гиппарионовой фауны, но и обозначить очевидные причины, приведшие к этому событию.

Состав плейстоценовой фауны млекопитающих Предкавказья показывает (рис. 2, Б; 3, А), что изменение её разнообразия происходило на фоне продолжающегося постепенного похолодания и сопровождалось вымиранием не только видов и родов, но и целых семейств и отрядов. Оно было обусловлено как неоднократными трансгрессиями и регрессиями морских водоемов, изменением рельефа, почвенного покрова, фауны и флоры в целом, так и снижением теплообеспеченности экосистем, дренажа, способствующего распространению открытых биотопов, и не носило катастрофического характера. Для териофауны второй половины раннего плейстоцена («псекупский фаунистический комплекс», который считается невалидным [7, 12]), общими родами и видами были *Citellus*, *Mimomys*, *Anancus*, *Archidiskodon*, *Equus*, *Stephanorhinus etruscus*, *Sus* cf. *strozzi*, *Paracamelus alutensis*. Таксономический состав таманского фаунистического комплекса был отличен от фауны начала раннего плейстоцена, их сближают общие являются родовые и видовые таксоны – *Archidiskodon*, *Equus major*, *Eucladoceros orientalis*, *Bison*. Фауну конца раннего плейстоцена сближают с фауной его начала только *Ursus*, *Trogontherium cuvieri*, *Mimomys*, *Lutra*, *Homotherium crenatidens*, *Anancus arvernensis*, с фауной раннего плиоцена – *Trogontherium*, *Ursus* и *Anancus*, с фауной позднего миоцена – *Trogontherium*.

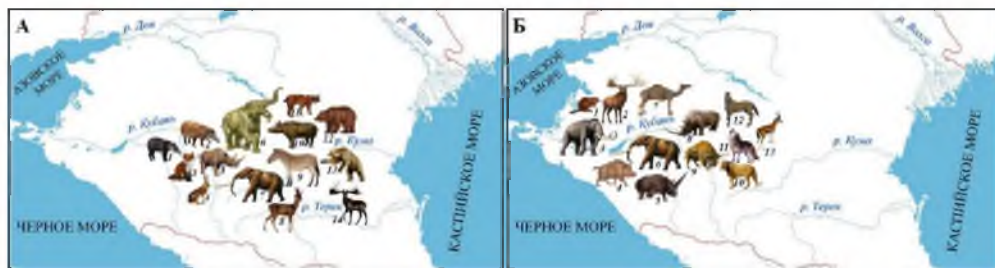


Рис. 2. Основные представители крупной териофауны Предкавказья в раннем плиоцене (А) и раннем плейстоцене (Б):

А: 1 – *Tapirus* cf. *arvernensis*, 2 – *Propotamochoerus* *provincialis*, 3 – *Vulpes* *odessana*, 4 – *Lepus* sp., 5 – *Dicerorhinus* aff. *ringstroemi*, 6 – *Deinotherium* sp., 7 – *Anancus* *arvernensis*, 8 – *Procacpreolus* *cusanus* 9 – *Hipparion* *stavropolensis*, 10 – *Aceratherium* cf. *incisivum*, 11 – *Lynx* cf. *issiodorensis*, 12 – *Ursus* cf. *arvernensis*, 13 – *Dinocyon* cf. *teilhardi*, 14 – *Pseudalces* *mirandus*.

Б: 1 – *Castor* *tamanensis*, 2 – *Megaloceros* sp., 3 – *Archidiskodon* *meridionalis* *tamanensis*, 4 – *Sus* *tamanensis*, 5 – *Elasmotherium* *caucasicum*, 6 – *Anancus* *arvernensis*, 7 – *Paracamelus* *kujalnensis*, 8 – *Dicerorhinus* cf. *etruscus*, 9 – *Bison* cf. *schoetensacki*, 10 – *Panthera* sp., 11 – *Canis* *tamanensis*, 12 – *Equus* af. *stussenbornensis*, 13 – *Gazella* sp.

В среднем плейстоцене общими с фауной второй половины раннего плейстоцена стали роды (виды) – *Ursus*, *Equus*, *Bison*, первой половины раннего плейстоцена – *Equus*, *Stephanorhinus* *etruscus*, *Bison*, позднеплиоценовой фауной – *Canis*, *Ursus*, *Equus*, *Stephanorhinus* *etruscus*, *Cervus*, раннеплиоценовой – *Vulpes*, *Ursus*, позднемиоценовой – *Felis*, среднемиоценовой – *Stephanorhinus*. Фауну млекопитающих позднего плейстоцена с фауной среднего сближали общие роды (виды) – *Canis*, *Vulpes* *vulpes*, *Ursus* *deningeri*, *Cervus* *elaphus*, *Bison*, второй половины раннего плейстоцена – *Clethrionomys*, *Microtus*, *Ursus*, *Equus*, *Bison*, первой половины раннего плейстоцена – *Citellus*, *Apodemus*, *Clethrionomys*, *Equus*, *Bison*, позднего плиоцена – *Citellus*, *Cricetulus*, *Cricetus*, *Sicista*, *Canis*, *Ursus*, *Equus*, *Cervus*, раннего плиоцена – *Cricetus*, *Apodemus*, *Vulpes*, *Ursus*, позднего миоцена – *Apodemus*. С териофауной среднего миоцена у нее не было общих таксонов ниже семейств. Современная фауна сходна с фауной позднего плейстоцена по присутствию в ней родовых (видовых) таксонов – *Citellus*, *Sicista*, *Apodemus*, *Cricetulus*, *Cricetus*, *Canis*. *lupus*, *Vulpes* *vulpes*, *Mustela* *nivalis*, среднего плейстоцена – *Canis*, *Ursus*, *Mustela* *nivalis*, *Meles*. С фауной второй половины раннего плейстоцена нет общих таксонов, первой половины раннего плейстоцена сближают *Citellus*, *Apodemus*, позднего плиоцена – *Cricetulus*, *Cricetus*, *Sicista*, раннего плиоцена – *Erinaceus*, *Lepus*, *Apodemus*, *Vulpes*, позднего миоцена – *Apodemus*. С фауной среднего миоцена у нее нет общих таксонов ниже семейства.

В конце плейстоцена, судя по составу териофауны из мустьерских стоянок в пещерах (Матузка, Даховская, Баракаевская, Монашеская), обитали *Marmota* *paleocaucasica*, *Spermophilus* cf. *musicus*, *Dryomys* *nitedula*, *Sicista* sp., *Spalax* *microphthalmus*, *Apodemus* *sylvaticus*, *Cricetulus* *migratorius*, *Cricetus* *cricetus*, *Clethrionomys* *glareolus*, *Arvicola* cf. *chosaricus*, *A. terrestris*, *Chionomys* *nivalis*, *Ch. gud*, *Ch. roberti*, *Pitymys* *majori*, *P. daghestanicus*, *Microtus* *arvalis*, *Canis* *lupus*, *Vulpes* *vulpes*, *Cuon* *alpinus*, *Ursus* *deningeri*, *U. cf. spelaeus*, *Martes*

sp., *Mustela peregusna*, *M. erminea*, *M. boccamela*, *M. nivalis*, *Cervus elaphus*, *Bison* sp., *Capra caucasica* [2, 3].



Рис. 3. Основные представители крупной териофауны Предкавказья в позднем плейстоцене (А) плейстоцене и современной (Б)

А: 1 – *Mustela* (*M. peregusna*, *M. erminea*, *M. boccamela*, *M. nivalis*), 2 – *Marmota paleocaucaasica*, 3 – *Cuon alpinus*, 4 – *Cervus elaphus*, 5 – *Ursus* (*U. deningeri*, *U. cf. spelaeus*), 6 – *Bison* sp., 7 – *Capra caucasica*, 8 – *Canis lupus*, 9 – *Vulpes vulpes*.

Б: 1 – *Bison bonasus*, 2 – *Mustela* (*M. nivalis*, *M. eversmanni*), 3 – *Equus gmelini*, 4 – *Bos primigenius*, 5 – *Meles meles*, 6 – *Canis lupus*, 7 – *Vulpes* (*V. vulpes*, *V. corsac*), 8 – *Lepus* sp., 9 – *Saiga tatarica*, 10 – *Crocota crocota*

В голоцене широкое распространение получают *Equus gmelini*, *Bos primigenius*, *Bison bonasus* (рис. 3, Б). В настоящее время северная окраина Предкавказья (Прикаспийская низменность, Ставропольская возвышенность, Манычский прогиб) в основном была населена мелкими млекопитающими: *Erinaceus europaeus*, *Sorex minutus*, *Lepus europaeus*?, *Citellus pygmaeus*, *Sicista subtilis*, *Allactaga jaculus*, *A. elater*, *Allactagulus pygmaeus*, *Scirtopoda telum*, *Apodemus sylvaticus*, *Apodemus agracicus*, *Rattus norvegicus*, *Ellobius talpinus*, *Cricetulus migratorius*, *Cricetus cricetus*, *Meriones meridianus*, *Lagurus lagurus* [15]. Из крупных млекопитающих встречаются *C. lupus*, *V. vulpes*, *V. corsac*, *Mustela nivalis*, *M. eversmanni*, *Vormela peregusna*, *Meles meles*, *Saiga tatarica*.

«Белые пятна» в палеонтологической летописи Предкавказья связаны с неполнотой исследования биоты, условиями её захоронения, геологической изученностью, однако имеющаяся база данных свидетельствует о медленном (брадителическом) эволюционном процессе, который привел не к полному исчезновению, а к упрощению биоты и большей неустойчивости геосистем в связи с похолоданием, имевшего место, как уже упоминалось [17], в позднем кайнозое и начавшегося в мезозое. При этом не все млекопитающие, образывавшие фауну на том или ином временном срезе эволюции биосферы, вымирали сразу же после перехода на другой этап развития, не имевших ясных хронологических границ. Из всего многообразия млекопитающих, обитавших в Предкавказье, наиболее древние корни имеют род *Apodemus* и род *Felis*, известные из верхнемиоценовых отложений и сохранившиеся в составе современной фауны Северного Кавказа. Наряду с лесной мышью и крупной кошкой в фауне региона в течение всего плейстоцена присутствовал представитель семейства Нyaenidae: *Crocota abessalomi* (средний миоцен), *Нyaenictitherium* sp. (поздний миоцен), *Pliocrocota perreiri* (поздний плиоцен), *Pachycrocota cf. brevirostris* (ранний плейстоцен), *Crocota crocota* (средний плейстоцен – голоцен). Вполне возможно, что все родовые таксоны гиен (и не только их) являются результатом систематических экзерсисов палеозоологов,

так как средняя продолжительность вида составляет около 2.5 млн. лет, а рода – значительно больше.

Анализ крупной териофауны Предкавказья наглядно показывает, что в плейстоцене постепенно вымирали не только представители родов *Homotherium*, *Panthera*, *Anancus*, *Archidiskodon*, *Phanagoroloxodon*, *Stephanorhinus*, *Coelodonta*, *Elasmotherium*, но и целые семейства Elephantidae, Rhinocerotidae, Camelidae и отряды (Proboscidea). К голоцену завершилась почти полная смена родового её состава, начинают доминировать грызуны, снижается разнообразие крупных хищных зверей и парнокопытных животных. Господствующее положение стали занимать менее К-ориентированные млекопитающие (зайцеобразные, грызуны), чем более К-ориентированные (хоботные, непарнокопытные и парнокопытные), менее приспособленные к изменениям природной обстановки (рельефа, почвенного покрова, климата, флоры и фауны).

Из изложенного вытекает, что в раннем миоцене продолжилось выпадение термофильных элементов из состава флоры, а из фауны млекопитающих – с раннего плиоцена, в результате последовательного общего варьирующего похолодания. Оно сопровождалось появлением бореальных, аллохтонных родов, которые не могли компенсировать биологическое разнообразие предыдущих эпох, и только впоследствии они заняли господствующее положение в обедненной биоте. Трансформация состава в большой степени представляла плавный переход от одного состояния к другому, она не отражала каких-либо кардинальных перестроек в ее структуре, об этом говорят все имеющиеся материалы. Природные условия менялись не так внезапно, чтобы те или иные виды исчезли тотчас же после таких изменений и вследствие именно их. Поэтому не имеется возможности указать демаркационную линию, на которой произошло замещение «полтавской» (вечнозеленой) флоры тургайской, последней – современной. Это касается и млекопитающих, на сегодняшний день также нет ясных рубежей смены анхитериевой фауны гиппарионовой, ее – мамонтовой, последней – рецентной. Фауна от этапа к этапу без определенных границ являла собой картину многовекового взаимодействия различных таксонов, которые можно датировать и датировать вполне разными эпохами. Все климатические колебания в позднем плейстоцене, и не только в нем, носили естественный характер и варьировали в рамках общего похолодания. На постепенное, не катастрофическое, снижение тепло- и влагообеспеченности геосистем указывают и реликты третичной флоры: *Pterocarya*, *Zelkova*, *Parrotia*, но и *Fagus orientalis*, *Cornus mas*, *Cotinus coggygria*, *Ligustrum vulgare*, *Ulmus glabra*, *Quercus petraea*, *Tilia caucasica* [6].

Известно, что в ходе эволюции геосистем некоторые их составляющие становились более переменными, другие – менее переменными, так как на всех уровнях действовали гомеостатические механизмы, которые корректировали и балансировали действующие силы. В этой связи становится очевидным, что для изучения геосистем, как целого, не совсем обязательно знать все ее составляющие, это подтверждает направленность эволюции, записанной в палеонтологической летописи, она подтверждает уменьшение амплитуды изменчивости у видов, как более мелких подсистем, существующих внутри целого (фаун). Об этом говорит и систематическое положение тех или иных окаменелостей, относимых в силу вышесказанного то к одному, то к другому таксону. В настоящее время многие естествоиспытатели, претендуя на бесспорную объективность, максимальную полноту описания, создают

различные модели эволюции экосистем в четвертичном периоде и прочие безжизненные конструкции. По мере разочарования на фоне полуизживших моделей постепенно приходит понимание, что изучение природных систем, геосистем, требует новой парадигмы, признаки которой уже вполне различимы.

Анализ имеющихся данных о биоценотическом покрове показывает, что в четвертичном периоде Предкавказье находилось и находится вне области влияния мифических покровных оледенений Восточно-Европейской равнины и Большого Кавказа [9], оледенения последнего не выходили за пределы контура современного горного оледенения [10]. Отсутствие сведений о подлинном стратиграфическом распространении и таксономической принадлежности окаменелостей млекопитающих не позволяет выделять отдельные этапы с четкими хронологическими границами в последовательном развитии териофауны. Спорово-пыльцевые спектры из датированных отложений, бесспорно, говорят о том, что лесная составляющая в растительном покрове постоянно присутствовала независимо от надуманных ритмов: похолодание – потепление, генезис которых неизвестен. На границе плейстоцена и голоцена из териофауны Предкавказья, как и других регионов, постепенно исчезали таксоны самых крупных млекопитающих (*Mammuthus*, *Elasmotherium*, *Coelodonta*), а в историческую эпоху – еще и другие роды (*Equus*, *Bison*, *Bos*), за которыми последовали хищные животные – *Crocota*, *Panthera*. Крупные растительноядные животные с стадным образом жизни, по всей видимости, вымерли в результате непрерывного воздействия человека.

Литература

1. Алексеева Л.И. Значение фауны млекопитающих армавирской свиты для стратиграфии континентальных толщ Северного Кавказа // Труды ГИН АН СССР. 1959. Вып. 32. С. 185-191.
2. Барышников Г.Ф. Крупные млекопитающие ашельской стоянки в пещере Треугольная на Северном Кавказе // Материалы по мезозойской и кайнозойской истории наземных позвоночных. СПб., 1993. С. 3-65.
3. Барышников Г.Ф., Голованова Л.В. Млекопитающие мустьерской стоянки Матузка на Кубанском Кавказе // Материалы по мамонтовой фауне Северной Евразии. Л., 1989. С. 3-55.
4. Белуженко Е.В. Верхнемиоцен-эоплейстоценовые грубообломочные отложения Западного и Центрального Предкавказья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 5. С. 78-95.
5. Габуня Л.К. Беломечетская фауна ископаемых позвоночных. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 138 с.
6. Иванов А.Л. Флора Предкавказья и её генезис. Ставрополь: Изд-во СГУ, 1998. 290 с.
7. Калмыков Н.П. Таманский полуостров: фауна и стратиграфия плейстоцена // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Апатиты, Санкт-Петербург, 2011. Т. 1 (А-К). С. 246-249.
8. Калмыков Н.П. Геоэкологическая обстановка Западного Предкавказья в период обитания гиппарионовой фауны // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XI. / Под ред. И.А. Керимова, В.А. Широковой, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 74-80. DOI:10.34708/GSTOU.2021.13.67.013.
9. Калмыков Н.П., Белоцерковская И.Н. От изменений в природной обстановке четвертичного периода к сохранению разнообразия биоты Восточного Предкавказья // Вестник КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН. 2021. № 3 (7). С. 89-98.

10. Магомедова М.З. Биоэкологическое обоснование пересмотра оледенения Кавказа: дисс. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2009. 206 с.
11. Мchedlishvili П.А. К палеогеографии Кавказа в чокракском веке в связи с данными палеоботаники // Доклады АН СССР. 1951. Т. 78, № 5. С. 1013-1016.
12. Никифорова К.В. Что такое псекупский фаунистический комплекс // Бюлл. Комис. по изуч. четвертичн. периода РАН, 1991. № 1. С. 59-60.
13. Палибин И.В. Этапы развития флоры прикаспийских стран со времени мелового периода // Доклады АН СССР. 1936. С. 3-60.
14. Сафронов И.Н. Палеогеоморфология Северного Кавказа. М.: Недра, 1972. 160 с.
15. Темботов А.К. Основные виды наземных позвоночных. Млекопитающие // Ресурсы живой фауны. Часть 2. Позвоночные животные. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1982. С. 103-168.
16. Тарасенко К.К., Лопатин А.В., Зеленков Н.В., Сычевская Е.К., Сердюк Н.В., Дмитриева Е.Л., Мащенко Е.Н. Новые местонахождения наземных и морских позвоночных позднего миоцена в Адыгее (Россия, Северный Кавказ) // Доклады академии наук. 2014. Т. 459. № 6. С. 726-729. DOI: 10.7868/S0869565214360225.
17. Donn W.L., Shaw D.M. Model of climatic evolution based of continental drift and polar wandering // Bull. of the Geological Society of America. 1977. № 88. P. 390-396.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

© А.С. Кануков, К.В. Корбесова

Геофизический институт ВНЦ РАН, Владикавказ

Аннотация. В статье рассматриваются основные источники вредных выбросов и методы моделирования качества атмосферного воздуха. Глобальная индустриализация и техническое развитие привели к значительному ухудшению экологического состояния природной среды. Основными источниками её загрязнения являются стационарные источники и транспорт. На территории Республики Северная Осетия – Алания наибольший вклад в загрязнение природной среды вносит деятельность предприятий цветной металлургии и автотранспорта. Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказа, их деятельность в той или иной мере связана с загрязнением атмосферного воздуха., при этом основным источником загрязнения является автомобильный транспорт, число которого увеличивается год за годом, на фоне уменьшения суммарных выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников. При этом выбросы от автотранспорта на порядок превосходят выбросы от стационарных источников, что, в свою очередь, связано с тем, что количество автотранспорта в г. Владикавказ за последние 20 лет увеличилось более чем в 2 раза на фоне сокращения деятельности промышленных предприятий.

Ключевые слова: экология, автомобильный транспорт, загрязнение окружающей среды, вредные выбросы.

Глобальная индустриализация и техническое развитие привели к значительному ухудшению экологического состояния природной среды. Основными источниками её загрязнения являются стационарные источники [1-2] и транспорт [3-4]. Основной объем загрязняющих веществ от автомобильного транспорта в природную среду формируется в результате работы двигателя внутреннего сгорания. В то же время, данные выбросы не являются единственным источником загрязнения природной среды, заметный вклад вносят автомобильные шины. В результате износа частицы шин рассеиваются в природной среде и могут заметно загрязнять ее. Вклад в загрязнение природной среды от автомобильных шин будет зависеть от скорости износа и концентрации потенциальных загрязнителей в них. В целом ряде работ [5-7] были исследованы концентрации различных металлов в разных марках автомобильных шин и содержание металлов в почве. В работе [8] исследованы физические и химические свойства частиц, образующихся при взаимодействии шин и дорожных покрытий. Морфологию, распределение по размерам и химический состав сравнивали между частицами, полученными с использованием различных методов, включая сбор образцов на дорогах, лабораторное моделирование и криогенное разрушение резины протектора. Высвобождение продуктов износа шин происходит в результате контакта между поверхностью дороги и шиной. Количество и размер выделяемых частиц зависят от таких факторов, как климат (температура), состав и структура шины, дорожное покрытие, скорость и стиль вождения, а также характер контакта (например, качение или проскальзывание) [9]. Контакт между шиной и поверхностью дороги вызывает сдвиг и нагревание шины; оба эти процесса

приводят к образованию частиц износа. Силы сдвига приводят к выбросу сравнительно крупных частиц шин. Тепло аккумулируется, создавая горячие точки на поверхности шины, достигая температуры, при которой летучие компоненты испаряются, что приводит к последующему высвобождению относительно мелких субмикронных частиц. В дополнение к износу шин силы сдвига и тепло в резине также вызывают прилипание частиц дорожного износа к износу резины. Некоторые исследователи сообщают, что большая часть износа шин связана с износом дорог [10]. В этой связи необходимо отметить, что требования к отечественным покрытиям упрощены, что значительно повышает износ шин и выброс их частиц.

Уровень загрязнения воздуха варьируется во времени и пространстве, в зависимости от различных особенностей, таких как близость к дорогам, состав автопарка, транспортного потока и наличия других источников загрязнения. В современных работах исследуется пространственное распределение загрязнения на основе геоинформационных технологий, проводится факторный анализ [11]. Для оценки и моделирования загрязнения воздуха используется видеофиксация транспортных потоков [12]. Содержание тяжелых металлов исследуется не только в грунтах, но и в различных растениях [13-15]. В силу особенностей корневой системы для оценки загрязнения воздуха может быть использован анализ содержания металлов во мхах и лишайниках [16]. Загрязнение природной среды твердыми частицами в отработанных газах может быть самой большой потенциальной угрозой здоровью населения [17]. Многочисленные исследования указывают на то, что некоторые заболевания прямо связаны с уровнем загрязнения воздуха, вызванным влиянием большого числа автомобильного транспорта [18]. Эффекты от воздействия вредных веществ на организм человека могут иметь различные последствия: от краткосрочного ухудшения и появления респираторных симптомов до сокращения продолжительности жизни.

Для моделирования качества воздуха были разработаны многочисленные модели, учитывающие весь спектр источников выбросов: дорожное движение, промышленные, коммерческие, бытовые и других менее четко определенных источники. При соответствующей калибровке эти модели могут служить полезным инструментом для косвенной оценки уровней загрязнения воздуха и, следовательно, их влияния на население. Примерами моделей, учитывающих выбросы от автомобильного транспорта, являются STREET [19], CPBM [20], OSPM [21], CAR [22], PANACHE [23], и модели статистического распределения [24]. Поскольку рассеивание уличного загрязнения сильно зависит от многих факторов, таких как топология улицы (ориентация улицы, ширина улицы, высота зданий, и т. д.) и местных турбулентностей ветра, калибровка этих моделей для достижения точной оценки требует много времени и является весьма трудоемкой задачей. Географические информационные системы (ГИС) при использовании данных моделей становятся все более полезным инструментом для автоматической интерпретации карт и представления конфигурации улиц при оценке воздействия загрязнения воздуха [25].

Традиционно моделирование рассеяния выхлопных газов транспортных средств можно разделить на эмпирическую модель Гаусса, статистическую модель и численную модель. Модель Гаусса, основанная на аналитическом решении переноса загрязняющих веществ, широко используется для прогнозирования рассеивания загрязняющих веществ от транспортных средств. Типичная гауссовская модель включает HIWAY [26] и ее обновленную версию HIWAY-2 [27], GM [28] и серию моделей CALINE [29]. Хотя модель Гаусса

можно легко использовать, коэффициенты диффузии необходимо эмпирически сопоставлять с различными местными атмосферными условиями. Кроме того, точность гауссовской модели вызывает сомнения в области ближнего следа за транспортным средством, поскольку постоянная рециркуляция и вихри в этой конкретной области приводят к тому, что дисперсия загрязняющих веществ больше не соответствует гауссовскому распределению. С другой стороны, большинство статистических моделей, повидимому, связаны с краткосрочными прогнозами загрязняющих веществ в городских районах в режиме реального времени [30]. Различные подходы к моделированию, такие как моделирование Монте-Карло [31], стохастический метод [32] и метод регрессии [33], использовались для описания изменчивости свойств загрязняющих веществ в процессе диспергирования загрязнителя. Однако применение статистических моделей для рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых транспортными средствами, особенно в ближней зоне движения транспортных средств, имеет относительно ограниченное применение. Численная модель, которая численно интегрирует уравнения сохранения массы, импульса и энергии потока жидкости, недавно была использована для процесса рассеивания загрязняющих веществ от дорожных транспортных средств вблизи дороги, уличного каньона и городских масштабов. Эскридж и Хант [34] разработали теорию следа транспортного средства, основанную на подходе пограничного слоя, для изучения дефицита скорости и масштаба длины следа.

Крайне важно, что структура потока не только оказывает непосредственное влияние на здоровье человека, особенно на водителей, велосипедистов, пешеходов, людей, работающих поблизости, и пассажиров транспортных средств [35], но также составляет основную часть общего рассеивания загрязняющих веществ [36]. Длительное присутствие загрязняющих веществ в городской среде, особенно в дорожной пыли, значительно увеличивает подверженность городского населения воздействию металлов через вдыхание, проглатывание и попадание на кожу, вызывая аллергические реакции, бронхиальную гиперчувствительность и респираторный симптом [37-40].

Одним из методов по снижению объема выбросов автомобильным транспортом являются мероприятия по управлению дорожным движением. В частности, координированные светофоры, создающие «зеленые волны» вдоль основных магистралей, все чаще используются для сокращения времени в пути. Хотя обычно предполагается, что улучшение транспортного потока приведет к снижению выбросов транспортных средств, было проведено мало научных исследований влияния синхронизированных светофоров на выбросы. Путем моделирования ряда сценариев организации дорожного движения изучается влияние интенсивности движения, схем координации сигналов и параметров сигналов на шум [41], выбросы двуокси углерода, оксидов азота и твердых частиц вдоль автомобильных дорог.

Большинство методов оптимизации используют среднюю задержку транспортного средства или количество остановок в качестве меры эффективности. Тем не менее, есть некоторые конфликты интересов при выборе целей для оптимизации синхронизации сигналов [42-43]. Например, сведение к минимуму задержки транспортных средств на магистральной дороге может привести к увеличению времени ожидания для встречного движения и пешеходов, пересекающих дорогу; приоритет общественного транспорта может снизить производительность частного транспорта; оптимизация потоков может

повлиять на безопасность водителей и пешеходов [44-45] и т.д. Таким образом, оптимизация синхронизации сигнала считается многоцелевой задачей. Потенциальное положительное влияние «зеленых волн» на выбросы (шум и загрязнители воздуха) часто называют дополнительным аргументом в пользу их внедрения. Обоснование заявления о снижении выбросов (загрязнителей воздуха) заключается в том, что из-за заторов транспортные средства работают на субоптимальных скоростях и ускорениях, что приводит к неполному сгоранию и дополнительным выбросам NO_x, CO и т. д. Хотя потенциал «зеленых волн» для сокращения поездок задержки широко распространены, однако побочные эффекты на выбросы транспортных средств (как шум, так и загрязнители воздуха) гораздо менее очевидны.

Основная причина относительного отсутствия научных данных о выбросах на перекрестках заключается в том, что хорошо контролируемые полевые эксперименты, в ходе которых измеряются выбросы, довольно сложны и дороги в проведении и, следовательно, не всегда осуществимы. С другой стороны, вычислительные модели для оценки выбросов, которые дают реалистичные результаты для поведения транспортных средств с частыми остановками вблизи перекрестков, стали доступны недавно для шума [46], а также для загрязнителей воздуха [47-48], и эти модели будут приобретать все большее значение для оценки экологической политики и развития инфраструктуры.

В рамках проекта SILENCE было проведено моделирование дороги с тремя сигнальными перекрестками с расстоянием между ними 200 м и 500 м [49]. Сравнивались две ситуации с согласованными светофорами: зеленая волна (автомобили должны останавливаться только на первом светофоре) и красная волна (все автомобили должны останавливаться на всех светофорах). Учитывался только один набор параметров светофора и одна интенсивность движения (1440 авт./ч). Результаты показали, что зеленая волна может снизить уровни шума до 4 дБ(А) на перекрестках, но может увеличить уровни на целых 3 дБ(А) между перекрестками из-за более высоких средних скоростей.

Что касается выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, была выполнена ранняя работа [50], в которой использовали имитационную модель дорожного движения в сочетании с моделью мгновенных выбросов (CO и NO_x) для оценки влияния внедрения зеленой волны вдоль магистральной дороги с тремя равноудаленными (350 м друг от друга) светофорами. Авторы рассмотрели крайние случаи, когда все транспортные средства должны останавливаться на всех сигналах, и идеальную «зеленую волну», и обнаружили сокращение выбросов в диапазоне 50% для последнего. Модель выбросов (мгновенные выбросы в зависимости от скорости и ускорения) была получена с помощью нелинейной регрессии на основе данных измерений, собранных для 8 легковых автомобилей в стабильных условиях высокой температуры, и не учитывала холодный запуск или высокие выбросы.

Нойнхойзерер и Дигманн [51] использовали имитационную модель дорожного движения (VISSIM) для определения средней скорости за 1 мин. вдоль магистрали в Кельн-Мюльхайм, Германия, содержащей несколько регулируемых перекрестков на протяжении 1 км. Были рассмотрены два сценария, без и с согласованными светофорами. Затем были оценены средние выбросы NO_x для каждого участка улицы с использованием линейной

комбинации режимов вождения, подогнанных к смоделированным распределениям средней скорости.

Также [52] использовали модель моделирования дорожного движения VISSIM в сочетании с моделью мгновенного излучения (PHEM) для изучения эффекта координации сигналов вдоль существующей магистрали с 12 сигнальными перекрестками в Граце, Австрия. Моделирование показало, что оптимизированные настройки сигнала могут снизить расход топлива, выбросы NO_x и твердых частиц соответственно. 14%, 19% и 17%. Результаты сравнивались с бортовыми измерениями вдоль реальной магистрали с использованием 2 автомобилей, и в целом было обнаружено хорошее совпадение. Концепция оптимизирования зеленых волн [53] была предложена в целях безопасности, а не для минимизации задержки в пути. В этом случае координация сигналов настроена таким образом, чтобы побудить водителей использовать более медленную и безопасную, но более постоянную скорость, избегая чрезмерного ускорения водителей, чтобы успеть за один сигнальный цикл между двумя перекрестками. Исходя из снижения средней скорости на 10–15 км/ч, можно ожидать снижения уровня шума примерно на 3 дБ(А) [54]. Однако один из недостатков этого типа сигналов светофором заключается в том, что они останавливают не только трафик, превышающий ограничение скорости, но и трафик, который не превышает установленного ограничения; экспериментальные данные показывают, что доля несправедливо остановленных транспортных средств может достигать 30%, что приводит к увеличению содержания загрязнителей воздуха (CO, NO, HC) на 10-40% [55]. С другой стороны, если сигналы светофора, регулирующие скорость, изменяют поведение водителей, вызывая снижение скорости, они также приведут к уменьшению относительных выбросов загрязняющих веществ [56].

Таким образом, к настоящему времени проводится большое количество исследований, связанных с методами оценки загрязнения природной среды автомобильным транспортом, а также методами снижения его негативного воздействия.

Выводы

Основной объем загрязняющих веществ от автомобильного транспорта в природную среду формируется в результате работы двигателя внутреннего сгорания. В то же время, данные выбросы не являются единственным источником загрязнения природной среды, заметный вклад вносят автомобильные шины.

Уровень загрязнения воздуха варьируется во времени и пространстве, в зависимости от различных особенностей, таких как близость к дорогам, состав автопарка, транспортного потока и наличия других источников загрязнения. Многочисленные исследования указывают на то, что некоторые заболевания прямо связаны с уровнем загрязнения воздуха, вызванным влиянием большого числа автомобильного транспорта.

Для моделирования качества воздуха были разработаны многочисленные модели, учитывающие весь спектр источников выбросов: дорожное движение, промышленные, коммерческие, бытовые и других менее четко определенные источники.

Одним из методов по снижению объёма выбросов автомобильным транспортом являются мероприятия по управлению дорожным движением.

Литература

1. Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б., Бериев О.Г. и др. Влияние горнодобывающей деятельности на загрязнение окружающей среды / Геология и геофизика Юга России. 2014. № 4-2. С. 8-13.
2. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory / International Journal of GEOMATE. 2016. Т. 10. № 1. pp. 1693-1697.
3. Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. Оценка влияния автомобильного движения транспорта на загрязнение урбанизированных территорий / Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11. № 4. С. 135-146
4. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Korbesova K.V. Pollution of urbanized territories by motor transport using the example of the republic of North Ossetia – Alania / E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020a. P. 07024.
5. Suryawanshi P. V., Rajaram B. S., Bhanarkar A. D., Rao C. V. C. Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India. / Atmosfera. 2016. 29(3). 221-234.
6. Rivas I., Kumar P., Hagen-Zanker A., Andrade M. D., Slovic A. D., Pritchard J. P., Geurs K. T. Determinants of black carbon, particle mass and number concentrations in London transport microenvironments. / Atmospheric Environment. 2017. 161. 247-262.
7. Roy S., Gupta S. K., Prakash J., Habib G., Baudh K., & Nasr M. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in road dust in the national capital territory (nct) of Delhi, India. / Environmental Science and Pollution Research. 2019. 26(29). 30413-30425.
8. Kreider M. L., Panko J. M., McAtee B. L., Sweet L. I., & Finley B. L. Physical and chemical characterization of tire-related particles: comparison of particles generated using different methodologies. / Science of the Total Environment. 2010. 408(3). 652-659.
9. Alexandrova O., Kaloush K., Allen J. Impact of asphalt rubber friction course overlays on tire wear emissions and air quality models for Phoenix, Arizona, airshed. / Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 2007. 2011. 98–106.
10. Grigoratos T.; Martini G. Non-Exhaust Traffic Related Emissions. Brake and Tyre Wear PM. / European Commission, Joint Research Centre, Institute of Energy and Transport: Ispra, Italy, 2014.
11. Zalakeviciute R., Rybarczyk Y., Granda-Albuja M. G., Suarez M. V. D., Alexandrino K. Chemical characterization of urban pm10 in the tropical Andes. / Atmospheric Pollution Research. 2020. 11(2). 343-356.
12. Ситников А.И., Толстых А.А., Власов В.А. Анализ моделей загрязнения воздуха для построения вычислительной системы мониторинга выбросов автотранспорта / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: Сб. ст. по матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., ВИ ГПС МЧС России. Воронеж. 2017. С. 467-468.
13. Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin, M., & Saleh, E. A. A. Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants. / Polish Journal of Environmental Studies. 2018. 27(5). 2277-2284.
14. Степанова Л.П., Писарева А.В., Яковлева Е.В., Раскатов В.А. Оценка изменения почвенной биоты в условиях воздействия различных уровней поллютантов / Труды Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН. 2019. № 2 (10). С. 30-41.
15. Zaalishvili V.B., Bekuzarova S.A., Burdzieva O.G., Korbesova K.V. Monitoring the auto-road air and reducing its toxicity / В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" (CATPID-2020). 2020. С. 052051.
16. Kosta H., & Liiv S. Spatial and temporal trends of heavy metal accumulation in mosses in Estonia [Proceedings Paper]. / Ecosystems and Sustainable Development Viii. 2011. 133.

17. Hoek G. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. / *Lancet*. 2002. 360(9341):1203–1209.
18. Künzli N et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. / *Lancet*. 2000. 356(9232):795–801.
19. Johnson W.B., Ludwig F.L., Dabbert W.F., Allen R.J. An urban diffusion simulation model for carbon monoxide. / *JAPCA*. 1973. 23, 490e498.
20. Yamartino R.J., Wiegand G. Development and evaluation of simple models for flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. / *Atmospheric Environment*. 1986. 20. 2137e2156
21. Berkowicz R., Winther M., Ketzel M., Traffic pollution modelling and emission data. / *Environmental Modelling & Software*. 2006. 21 (4), 454e460.
22. Den Boeft J., Eerens H.C., den Tonkelaar W.A.M., Zandveld P.Y.J. CAR International: a simple model to determine city street quality. / *The Science of the Total Environment* 1996. 189/190. 321e326.
23. Tripathi S. Near-field Dispersion of Pollutants on a Complex Urban Terrain of Heavy Gases by Fluidyn-PANACHE. / 4th Workshop on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes in Oostende, Belgium. 1996.
24. Gokhale S., Khare M. Statistical behavior of carbon monoxide from vehicular exhausts in urban environments. / *Environmental Modelling & Software* 2007. 22 (4). 526e535.
25. Jensen S.S., Berkowicz R., Hansen H.S., Hertel O. A Decisionsupport GIS tool for Management of Urban Air Quality and Human Exposures. / *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2001. 6 (4), 229e241.
26. Zimmerman J.R., Thompson R.S. User's guide for HIWAY, a highway air pollutant model. 1975. EPA-650/4-74-008.
27. Petersen W.B. User's guide for HIWAY-2, highway air pollutant model. / EPA-600/8-80-018. 1980.
28. Chock D.P. A simple line-source model for dispersion near roadways. / *Atmospheric Environment*. 1978. 12. 823–829.
29. Benson P.E., A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models. / *Atmospheric Environment*. 1992.26B, 379–390.
30. Sharma P., Khare M. Modelling of vehicular exhausts—a review. / *Transportation Research* 2001. Part D 6. 179–198.
31. Liu J.J., Chan C.C., Jeng F.T. Predicting personal exposure levels to carbon monoxide (CO) in Taipei, based on the actual CO measurements in microenvironments and a Monte Carlo simulation methods. / *Atmospheric Environment* 1994. 28. 2361–2368.
32. Karim M.M., Mastsui H., Guensler R. A mathematical model of wind flow, vehicle wake, and pollution concentration in urban road microenvironments. Part II: Model results. / *Transportation Research*. 1998. Part D 3, 171–191.
33. Fomunung I., Washington S., Guensler R. A statistical model for estimating oxides of nitrogen emissions from light duty motor vehicles. / *Transportation Research Part* 1999. D 4. 333–352.
34. Eskridge R.E., Hunt J.C.R. Highway modeling. Part I: prediction of velocity and turbulence fields in the wake of vehicles. / *Journal of Applied Meteorology*. 1979. 18, 387–400.
35. Chan T.L., Dong G., Cheung C.S., Leung C.W., Wong C.P., Hung W.T. Monte Carlo simulation of nitrogen oxides dispersion from a vehicular exhaust plume and its sensitivity studies. / *Atmospheric Environment*. 2001. 35, 6117–6127.
36. Venkatram A., Fitz D., Bumiller K., Du S., Boeck M., Ganguly C. Using a dispersion model to estimate emission rates of particulate matter from paved road. / *Atmospheric Environment*. 1999. 33. 1093–1102.
37. Wjst M., Reitmeir P., Dold S., Wulff A., Nicolai T. Vonloeffelholzcolberg E. F., Vonmutius E. Road traffic and adverse-effects on respiratory health in children. / *British Medical Journal*. 1993. 307(6904). 596-600.
38. Janssen N. A. H., Brunekreef B., van Vliet P., Aarts F., Meliefste K., Harssema H., Fischer P. The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization,

- bronchial hyperresponsiveness, and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren. / *Environmental Health Perspectives*. 2003. 111(12). 1512-1518.
39. Панасенкова Е.В., Косенкова Т.В., Легонькова Т.И. Влияние антропогенной нагрузки на течение и формирование бронхиальной астмы у детей / *Профилактическая и клиническая медицина*. 2013. № 4 (49). С. 13-19.
 40. Дементьев А.А., Ляпало А.А., Цурган А.М. Влияние основных компонентов выхлопных газов автотранспорта на состояние здоровья детского населения центра субъекта Федерации / *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2018. Т. 6. № 1. С. 19-27.
 41. Zaks T. V., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. Impact of noise, gamma radiation and other geophysical factors on population health / *Akustika*. 2019. Vol. 32. P. 206-210.
 42. Li X., Li G., Pang S.S., Yang X., Tian J. Signal timing of intersections using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption: a note. / *Transport. Res.* 2004. D 9. 401e407
 43. Warberg A., Larsen J., Jorgensen R.M. Green Wave Traffic Optimization A Survey. Technical Report. / Department of Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark. 2008.
 44. Tindale S.A., Hsu P.P. Crash data and signal coordination: a one-way pair case study. / *J. Saf. Res.* 2005. 36. 481e482.
 45. Shinar D., Bourla M., Kaufman L. Synchronization of traffic signals as a means of reducing red-light running. / *Hum. Factors*. 2004. 46. 367e372.
 46. Can A., Leclercq L., Lelong J., Dynamic estimation of urban traffic noise: influence of traffic and noise source representations. / *Appl. Acoust.* 2008. 69, 858e867
 47. Mensink C., Cosemans G. From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards. / *Environ. Modell. Softw.* 2008. 23. 288e295.
 48. Smit R., Brown A.L., Chan Y.C. Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow? / *Environ. Modell. Softw.* 2008. 23. 1262e1270.
 49. Bérengier M.C., Emission, propagation and control of road traffic noise: some solutions for the future. / In: *Proc. Inter\$noise*, Ottawa, Canada. 2009.
 50. Rakha H., Van Aerde M., Ahn K., Trani A.A. Requirements for evaluating traffic signal control impacts on energy and emissions based on instantaneous speed and acceleration measurements. / *Proceedings of the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., USA. 2000.
 51. Neunhäuserer L., Diegmann V. Analysis of the impacts of an environmental traffic management system on vehicle emissions and air quality. / *Proceedings of the 18th International Symposium Transport and Air Pollution (TAP'10)*, Dübendorf, Switzerland. 2010.
 52. Zallinger M., Luz R., Hausberger S., Hirschmann K., Fellendorf M. Coupling of microscale traffic and emission models to minimize emissions by traffic control systems. / *Proceedings of the 18th International Symposium Transport and Air Pollution (TAP'10)*, Dübendorf, Switzerland. 2010.
 53. Ellenberg M., Bedeaux J.F. April/May Calming waves for safety: a time to rethink green waves? / *Traffic Technol. Int.* 1999. 55e58.
 54. Bérengier M.C., Emission, propagation and control of road traffic noise: some solutions for the future. / In: *Proc. Inter\$noise*, Ottawa, Canada. 2009.
 55. Coelho M.C., Farias T.L., Roupail N.M. A methodology for modelling and measuring traffic and emission performance of speed control traffic signals. / *Atmos. Environ.* 2005b. 39. 2367e2376.
 56. Barkenbus J.N., Eco-driving: an overlooked climate change initiative. / *Energy Policy*. 2010. 38, 762e769.

ОХРАНА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ

© Ю.И. Караев, Т.С. Валиева

СКГМИ (ГТУ), Владикавказ

Аннотация. Одним из важнейших элементов устойчивого развития любого общества является сохранность и отношение к памятникам природы и культуры. Объекты горно-геологического наследия являются "комбинированными" памятниками, т.к. конкретные производства по добыче и переработке ресурсов недр и объекты этого производства базируются на необычных и уникальных геологических объектах, коими являются месторождения полезных ископаемых. Сохранение и дальнейшее использование объектов прежней добычи и переработки сырья в последние годы стало приобретать важное значение для научных и образовательных целей, а также для развития туризма и, в частности, геотуризма. Использование зарубежного и отечественного опыта в этих направлениях деятельности является сегодня для Северного Кавказа весьма актуальной.

Ключевые слова: устойчивое развитие, памятники природы и культуры, добыча полезных ископаемых, завершённые и заброшенные горные производства, объекты горно-геологического наследия, образование, наука, геотуризм

Введение

Всякое сообщество, знающее и ценящее свою историю и традиции своего народа и желающее иметь устойчивое и процветающее будущее, должно постоянно заниматься, как возрождением, так и сохранением своего природного и культурного (в т.ч. промышленного, ремесленного, аграрного и др.) наследия, т.к. именно они есть основа для развития и нормального будущего любого народа.

Природные ресурсы и природные условия во все времена истории человечества были неотъемлемой частью жизнедеятельности человечества, а их поиски и добыча составляли и до сих пор составляют большую часть его жизни. Если на заре становления и развития человечества эти процессы имели незаметное и незначительное влияние на окружающую среду, то с дальнейшим развитием влияние становилось всё более ощутимым и значительными, а начиная с изобретения паровой машины и других более сложных и мощных двигателей, это влияние стало нарастать в геометрической прогрессии и к середине XX в. стало столь значительным, что перед человечеством стал вопрос о дальнейшем существовании [5].

Вода, дерево, камень, другие ресурсы недр, такие как уголь, серебряная, свинцовая, железная и медная руды, бокситы, драгоценные и поделочные камни, барит, бентонит и многое другое, а в последнее время ещё нефть и природный газ, — вот далеко не полный перечень извлекаемых из природы ресурсов во всё возрастающих объёмах. Как сам процесс извлечения из естественного природного оборота этих ресурсов, так и их первичная переработка и дальнейшее производство конечных товаров, всегда было сопряжено с мощным и негативным влиянием на окружающую природную среду. И это процесс продолжается по сегодняшний день несмотря на то, что повсеместно и постоянно внедряются новые, более совершенные и природосберегающие

технологии, но их вклад пока ещё в большинстве отраслей уступает всё более возрастающим объёмам извлечения ресурсов из их естественного состояния и дальнейшей переработки.

С другой стороны, есть большая неопределённость с той частью завершённых и заброшенных горнодобывающих и горно-перерабатывающих производств, которые в нашем и многих других регионах страны и в других странах постсоветского пространства преобладают над действующими. Если последние как-то справляются с указанными выше проблемами, то заброшенные и оставшиеся бесхозными объекты прежнего производства требуют пристального внимания со стороны властных органов для определения их окончательного статуса (сейчас они, как правило, на балансе муниципальных образований, которые сами впадают в жалкое существование) и дальнейшего функционирования в том или ином виде. Авторы настоящей работы рассматривают примеры охраны и дальнейшего использования подобных объектов, как у нас в стране, так и за рубежом.

Состояние добывающих и перерабатывающих производств на Северном Кавказе

Уже более тридцати лет в условиях новых экономических и социально-политических условиях в стране и, конкретно, в нашем регионе крупные добывающие и перерабатывающие предприятия в большей своей части перестали функционировать и существовать. В условиях рыночной экономики и возросших экологических требованиях ко всем этапам горного и перерабатывающих производств – расширение решаемых экологических задач, повышение требований к рекультивации отходов производства и т.д. – невозможно было выдержать конкуренцию с аналогичными зарубежными производствами и большинство предприятий стали нерентабельными. Этот процесс негативно отразился и на населении и системах природопользования.

Горнодобывающие и горно-перерабатывающие предприятия, в прежних условиях рентабельные (или условно рентабельные, был и такой термин – планово убыточные производства), в одночасье стали убыточными и прекратили своё существование.

Накопившиеся отходы производства продолжали и до сих пор во многих местах продолжают негативно влиять на окружающую среду. Эти отходы, кроме того, занимают большие площади, в том числе и плодородных земель, ранее выведенные из хозяйственного оборота и до сих пор пребывающие в этом "статусе". На загрязнении атмосферы, гидросферы и литосферы и от этого – ухудшении окружающей природной среды – нет необходимости повторяться. Проблема эта непросто решается во время эксплуатации месторождений, а вот как её решать в ситуации, когда предприятия "вымерли" и уже никак не могут решить комплекс природоохранных проблем – вопрос до сих пор не решённый. Реальное его решение возможно при использовании техногенных отвалов предприятий в качестве источников сырья. В некоторых из отходов содержания металлов нередко превышает их содержание в извлекаемых сегодня рудах. Безрудная часть этих отходов возможно использовать в качестве сырья для изготовления строительных материалов и конструкций.

Кроме использования прежних производств для извлечения полезных компонентов, решения экологических проблем и т.п., в мире и в нашей стране есть примеры и иных форм их использования [1-3].

Использование объектов завершённых и заброшенных горных производств

Как известно, места извлечения ресурсов используются до их полного исчерпания, либо до снижения рентабельности процесса конкретного производства до неприемлемого уровня, либо по другим объективным причинам, например причинам природоохранного толка или по причинам безопасности.

В процессе эксплуатации ресурсов недр за многие столетия человек в разных частях света забросил многочисленные территории с прежними горнодобывающими и перерабатывающими производствами с многочисленными элементами, составлявшими эти производства – здания и сооружения, различные технологии, объекты инфраструктуры и т.д.

Пост производственная история как целых производств, так и их отдельных составляющих после завершения деятельности на них может складываться по-разному: одни из них закрываются, а земли, на которых они располагались – рекультивируются, некоторые могут в дальнейшем восстанавливаться из-за смены конъюнктуры на рынках сырья и/или продуктов производства из него, а также изменения промышленных кондиций добываемого сырья, в т.ч. и за счёт совершенствования технологии добычи и переработки полезных ископаемых [7]. Но, надо особо отметить, к сожалению, и то, что большинство завершённых и закрытых производств остаются фактически заброшенными без какой-либо рекультивации, вариантов дальнейшей эксплуатации и даже обязательной консервации, особенно объектов производств, представляющих ту или иную опасность, как для природы, так и для проживающих поблизости людей.

Проанализировав мировые и отечественные тенденции по развитию дальнейшей после завершения эксплуатации судьбы заброшенных добывающих и перерабатывающих ресурсы недр предприятий, можно сделать и такой вывод: «... земли старых шахт, заброшенных карьеров или прежних нефтяных месторождений могут быть восстановлены и превращены в новые примечательности и использованы для других целей» [4]. В первую очередь авторы настоящего исследования считают возможным и необходимым использовать указанные объекты в качестве полигонов и/или естественных лабораторий для научных и образовательных целей, а также для развития туризма горно-геологической направленности или геотуризма. Кроме того, исходя из имеющегося в разных странах и регионах РФ опыта использования завершённых эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, объекты заброшенных горных производств могут использоваться и для развития специфических отраслей аграрного производства, например для выращивания грибов в горных выработках (штольни и др.).

Подобные и аналогичные им подходы, как показывает опыт, часто приводят не только к удовлетворению праздного любопытства и повышению интереса к подобным объектам, но и к осознанию необходимости сбережения, как природных объектов (как правило любое месторождение полезного ископаемого является уникальным природным геологическим объектом), так и

заброшенных производств на них, которые представляют собой не менее интересные памятники культуры [6].

Есть и другая, не менее ценная, сторона у такого подхода – территории заброшенных горнодобывающих производств нередко имеют очень хороший потенциал для социально-экономического развития района их расположения. При правильном подходе «перерождение» прежних производств в современные формы экономической деятельности дадут и новые рабочие места, увеличат налогооблагаемый ресурс района и позволят повысить благосостояние проживающих здесь людей. Хотя этот процесс и не прост, т.к. требует от всех включённых в него акторов определённых усилий, это и от представителей местной муниципальной власти, и местного бизнеса, и населения района и т.д., но он имеет очень хорошие перспективы, основываясь, как правило, на развитии тех отраслей экономики, которые основаны на традиционных ремёслах и производствах, в меньшей мере наносят вред природе, вовлекают в процессы производства местное население и т.д.

Как показал, прежде всего, зарубежный, так, особенно в последнее время, и отечественный опыт, в решение указанной выше проблемы, очень большой вклад может внести развитие туризма и, прежде всего, новой его разновидности – геотуризма, специализирующийся как раз на природных и культурных объектах, связанных с геологическими памятниками природы и горно-геологическими производствами, как действующими, так и заброшенными и «возрождёнными» – памятниками культуры. А уже развитие туризма способствует развитию аграрного сектора, переработке сельскохозяйственной продукции, традиционных ремёсел и местных форм природопользования, изготовление сувенирной и рекламной продукции и т.д.

Может быть, при первом приближении, покажутся менее эффективными развитие научного и образовательного туризма на объектах прежних производств сопряжённые с научными исследованиями и учебными занятиями, но их развитие в среднесрочном и долгосрочном периодах дают не меньший, а иногда и больший эффект, в т.ч. и экономический. Связано последнее с тем, что они сопряжены с различного вида инновациями, такими как обнаружение новых, ранее неизвестных фактов, с новыми открытиями, а также такой полезной вещью как воспитание патриотизма у обучающейся молодёжи, их возможным, в большей степени, участием в дальнейшем развитии района.

Научные исследования, образовательный процесс и геотуризм позволяют ближе познакомиться различным категориям людей с объектами горно-геологического производства, а такое знакомство приводит посетителей этих объектов к пониманию и даже участию в решении вопросов охраны и дальнейшего их развития. При этом, не вникая в тонкости геологические и горного производства, но понимая сущности этих отраслей, приходит понимание важности грамотного сочетания природных и культурных ландшафтов, их важной роли в развитии общества, как во время интенсивной эксплуатации, так, в особенности, и в последующие времена. Всё это способствует и социально-экономическому развитию, сохранению георазнообразия и, в общем, пониманию наук о Земле.

Чем больше современных людей, в основном проживающих в урбанизированных условиях, вовлекается в процессы сближения с природными и техногенно-природными объектами по любому из указанных направлений деятельности, то ли это научные исследования или образовательный процесс, то

ли это туризм или геотуризм, тем более всесторонне развивается каждый отдельный человек и всё общество, в целом. А это всё больше способствует сохранению и развитию памятников природы и культуры, т.е. происходит взаимодополнение и взаиморазвитие человека, общества и природы.

Использование объектов завершённых и заброшенных горных производств за рубежом.

В мире достаточно много примеров грамотного подхода к вовлечению людей в процессы сохранения и дальнейшего использования объектов прежней добычи и переработки ресурсов недр.

Нельзя не упомянуть в этой связи такие важные документы как «Список всемирного наследия ЮНЕСКО» или «Европейский маршрут промышленного наследия», проект «Наследие шахт: историческая добыча полезных ископаемых – поиски и изучение старых материалов и технологий добычи полезных ископаемых». Проект финансируется Европейским институтом инноваций и технологий, который не только контролирует этот важный процесс, но регулярно пополняет базу данных о закрытых и/или заброшенных объектах добычи и переработки полезных ископаемых в более чем десяти странах Европы.

Из наиболее интересных примеров использования подобных прежних месторождений добычи полезных ископаемых можно привести следующие: шахты Величка Зальцман в Польше и Лусал в Португалии, золотой рудник Злоты Сток в Польше, Парк Минеро-де-Риотинто в Испании и Технологический и культурный парк Лаврион в Греции. Помимо шахт и парков, есть очень удачные проекты по организации музеев, например, первый Национальный музей нефтяной промышленности, открытый в г. Плоешти, Румынии в 1957 г. Опыт этих и подобных им примеров необходимо изучать и всё самое интересное надо использовать на территории как Северного Кавказа, так и в других регионах страны.

Использование объектов завершённых и заброшенных горных производств в Республике Северная Осетия-Алания (РСО-Алания). Семь лет назад на очередном совещании ректоров горных вузов в Санкт-Петербургском горном университете (СПГУ) рассматривались проекты организации полигонов для проведения практик. Свой проект «Международный учебный полигон коллективного пользования» представлял и Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) (СКГМИ (ГТУ)). Базовыми объектами этого полигона являются сам СКГМИ (ГТУ), а также месторождения и рудопроявления Садонского рудного района и комплексы зданий и производственных сооружений (в том числе: Джимидонское свинцово-цинковое и др. месторождения, горные выработки, Мизурская обогатительная фабрика, инфраструктурные объекты и т.д.) Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК). Кроме СКГМИ (ГТУ), всё остальное расположено в живописном Алагирском ущелье РСО-Алания, который является идеальным местом для организации «... международного научно-образовательного Полигона коллективного пользования с функциями проектно-инновационного центра сетевого взаимодействия вузов минерально-сырьевой направленности и интегрированного в систему связей с крупными

рудодобывающими и металлургическими компаниями, а также с химической отраслью» [4].

Первые шаги по организации Полигона были сделаны, но затем работы были приостановлены. Пока неясно будущее этого замечательного проекта, но к реализации проекта ещё можно вернуться.

Другой пример, похожего на предыдущий, использования аналогичного района начал реализовываться в 2023г. на базе Гостевого дома и одноимённого ООО "Каматахостел", который расположен вблизи полиметаллического месторождения Фаснал. Это месторождение разрабатывалось в конце XIX - начале XX вв. Русской горной компанией, а затем Бельгийской горной компанией. Многочисленные горные выработки, жилые и производственные здания и сооружения, среди которых выделяется остов-каркас Фаснальской обогатительной фабрики, объекты Фаснальской ГЭС (место головного сооружения ГЭС, фрагменты канала, деривационный тоннель, здание ГЭС) и другие производственные корпуса, здания администрации, санатория и др. Руководитель ООО "Каматахостел" Селезнёв Сергей Александрович предложил ещё в июле 2022 г. участникам проходившего здесь же научно-практического семинара по туризму, членам Секретариата Северо-Кавказского научного сотрудничества (СКНС) и, одновременно, являвшимся участниками VIII Северо-Кавказской комплексной экспедиции (СККЭ), проводить научные исследования, научные и научно-практические форумы, а также студенческие учебные практики географов и геологов на базе "Каматахостел", одновременно и совместно разрабатывать маршруты для развития здесь геотуризма. Всё это поможет не только проведению научных исследований и учебных процессов, но и будет способствовать развитию туризма и других отраслей экономики, а также сохранению и развитию заброшенных объектов горнорудного производства.

Первыми на это предложение откликнулись преподаватели и студенты географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), которые в текущем году провели уже две практики – зимнюю и летнюю. Следующими отозвались на это предложение преподаватели и студенты-геологи 2 курса СКГМИ (ГТУ), у которых в июне-июле 2023 г. здесь была проведена практика по геологическому картированию. Представитель третьего вуза – Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ), г. Ставрополь – заведующий кафедрой физической географии и кадастров, доктор географических наук А. В. Лысенко планирует в июле 2024 г. провести первую из предстоящих практик студентов.

Как видно и из этого и предыдущих примеров, потенциал на территориях завершённых и заброшенных когда-то горнодобывающих и перерабатывающих производств имеется достаточно хороший для того, чтобы решать одновременно вопросы, касающиеся научных исследований, учебно-образовательного процесса, охранных мероприятий и дальнейшего развития территории.

Настоящая работа сделана на основе доклада авторов, который был озвучен на Международном форуме «Природопользование и сохранение всемирного природного наследия». Форум прошёл в Санкт-Петербургском горном университете 1-4 декабря 2022 г.

Литература

1. Бухонова Г.А. Особенности использования меловых карьеров в туристско-рекреационной деятельности / Сборник трудов МНПК «Современные особенности развития внутреннего туризма в регионах Российской Федерации» (25 ноября 2020 г., Воронеж). Воронеж: Истоки, 2020. 208 с.
2. Гракова Л.К., Шитов А.В. Результаты горно-геологических работ на месторождениях ртути Горного Алтая как геологических памятниках природы / Геологические памятники природы: характеристика, состояние, использование [Электронный ресурс]: сборник материалов ВНПК с международным участием. Электрон. дан. и прогр. (9,18 Мб). Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2021. 179 с.
3. Гутак Я.М., Гутак О.Я. Туристическое значение геологических памятников природы на примере объектов истории горного дела / Геологические памятники природы: характеристика, состояние, использование [Электронный ресурс]: сборник материалов ВНПК с международным участием. Электрон. дан. и прогр. (9,18 Мб). Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2021. 179 с.
4. Караев Ю.И., Васьков И.М., Кусова Ж.Г. Об использовании земель и территорий после завершения на них добычи полезных ископаемых // Климатические изменения и «зеленые» технологии в ландшафтной среде: Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Грозный, 28–29 октября 2022 г.). Грозный: ЧГУ им. А.А. Кадырова, 2022. С. 65-72.
5. Briševac, Z., Maričić, A. & Brkić, V. Croatian Geoheritage Sites with the Best-Case Study Analyses Regarding Former Mining and Petroleum Activities. *Geoheritage* 13, 95 (2021).
6. Dowling R.K. Geotourism's global growth. *Geoheritage* 3(1): 1–13. (2011).
7. Laurence D. Establishing a sustainable mining operation: an overview. *J Clean Prod* 19: 278–284. (2011).

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН – ОСНОВА ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ КЫРГЫЗСТАНА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

© Дж.Ж. Кендирбаева

Институт сейсмологии Национальной Академии наук КР

Аннотация. В качестве основных показателей принят единичный расход подземных вод, показывающий модуль подземного стока и величины водопроницаемости пород. Обеспеченность подземным стоком представляет собой четко увязывающуюся схему с основными геоморфологическими подразделениями, по которым выделяются четыре гидродинамических зоны. Водоносные горизонты представлены галечниками, гравийниками, песками. Фильтрационные показатели уменьшаются по направлению от периферии предгорного шлейфа. Коэффициенты фильтрации изменяются от 10-15 м/сут в зоне выклинивания до 1-4 м/сут в зоне вторичного погружения подземных вод.

Ключевые слова: водный сток, геоморфологические признаки, расчлененность рельефа, режим рек, условия формирования и циркуляции, устойчивое водопользование

Актуальность проблемы

Территория Кыргызской Республики расположена в глубине Евразийского материка, что в совокупности с горным рельефом определяет основные черты речной сети, являющейся индикатором не только территориального распределения, но и внутреннего перераспределения динамики и качества водного стока. На ней имеются около 50 артезианских бассейнов, которые разделяются на внешние, преимущественно мезозойско-кайнозойские, которые в течение новейшего этапа развивались на фоне складчато-глыбовых прогибаний, и внутренние- кайнозойские, которые в течение четверичного периоде претерпели поднятие вместе с гидрогеологическими массивами.

Наибольшие запасы водных ресурсов сосредоточены во внешних артезианских, т.е. в Чуйском, Иссык-Кульском, Таласском и Ферганском бассейнах, тогда как их во внутренних намного меньше. К ним можно отнести Алабуга-Нарынский, Тогуз-Тороузский, Арпинский, Ат-Башинский, Кочкорский, Джумгалский артезианские бассейны. Основные ресурсы, выступающие одним из существенных участников в пополнении запасов подземных вод, обязаны снежным вершинам Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая, на долю которых приходится основная часть стока Аральского бассейна. Они, вследствие глубокой расчлененности рельефа (от 500 до 2000м), проникая на глубины от 30-50 до 200 м и выходя на поверхность земли в виде родников с расходом от 1 до 10 л/сек, служат накопителями огромного гидроэнергетического потенциала. Например, использование их мощности в малой энергетике позволяет ежегодно, с одной стороны, получать около 350 млн. кВт/часов электроэнергии, эквивалентной замещению 45-50 тыс. т условного топлива, а с другой – повышает уровень развития сельского хозяйства [1].

Известно, что любое государство в условиях рыночной экономики стремится максимально использовать собственные ресурсы. В данном случае

именно горный рельеф Кыргызстана очерчивает направленность развития хозяйственной деятельности человека и специализации ее отраслей. Так, равнинная часть, низко- и среднегорные бассейны рек хорошо освоены, тогда как высокогорные (выше 3000 м) территории, где доминируют суровые климатические условия, например, на сыртах Иссык-Кульской и Нарынской областей, а также в долинах рр. Сары-Жаз, Кичи - и Чон-Нарын таковое сопряжено с большими трудностями [2].

Некоторые специалисты- водохозяйственники считают, что со строительством плотин и водохранилищ режим рек и подземных вод изменится, в результате чего сократится водообеспеченность территорий. Но за 40-50 лет построено не более 10 водохранилищ. При этом в межгорных впадинах поверхностные воды, направленные из них на бытовые нужды, большей частью просачиваясь через каналы и поля орошения, снова участвуют в формировании подземных вод.

На этом фоне, как видно из рис. 1, бассейн р. Сырдарья представлен р. Нарын, образующейся слиянием Большого и Малого Нарына, и р. Карадарья, которая за пределами Кыргызстана с р. Нарын образует р. Сыр-Дарья. Большая часть территории Северного Кыргызстана занята бассейном р. Чу, образованным слиянием рр. Кочкор и Джуанарык в Кочкорской долине, что при выходе из Боомского ущелья принимает крупный приток – р. Чон-Кемин. С северо-запада к нему примыкает бассейн р. Талас, ограниченный Кыргызским и Таласским хребтами. При этом их наибольший объем (%) находится в бассейнах рр. Сырдарья (58), Тарим (13), Чу (11) и оз. Иссык-Куль (10), а суммарный водный сток, питающийся подземными водами, оценивается в 1911млн. м³/год. Поскольку основные запасы водных ресурсов формируются в Чуйском, Иссык-Кульском и Таласском межгорных впадинах, то в социально-экономическом отношении эти территории наиболее развиты.. Они при постоянной эксплуатации составляют (тыс. м³/сут.) 10545,2, из которых 2946,65 оценены по категории «А», 3116, 17- по «В», а 1689, 58 и 2792,8 - по С1 и С2 соответственно. На этом фоне из 8239, 09 м³/сут., находящихся на севере региона, утверждены по «А»-2135,98, «В»-2425,33, С1- 1334, 98 и С2- 2442,8.



Рис. 1. Водные ресурсы и речные бассейны Центральной Азии

В Кыргызстане одним из основных факторов, от которых зависят условия формирования и циркуляции, а также закономерности изменения качества подземных вод, являются типы гидрогеологических структур. Гидрогеологическая система представлена массивами трещинных и бассейнами поровых подземных вод [3].

К этому необходимо добавить, что на глобальном уровне прогнозируется рост спроса на воду ближайшие десятилетия, т.к. помимо сельского хозяйства, на которое приходится 70% мирового потребления, ожидается на нее увеличение в промышленности и энергетике. Свой вклад в осложнение этого вопроса также вносят ускоренные темпы урбанизации и расширение коммунальных систем водоснабжения и канализации. Поэтому поддержание водных объектов в надлежащем состоянии создает реальные перспективы социально-экономического развития регионов, обеспечивая достойными условиями проживания нынешнего и грядущих поколений. Для этого представляют интерес подземные воды межгорных впадин 95 % обеспеченности в маловодные годы [3], т. к. опасность истощения их запасов в процессе эксплуатации реальна, в связи с чем актуальность данной проблемы не вызывает сомнений.

Методика и задачи исследований

Использован обширный материал различных научных и производственных организаций и ведомств, которые позволили получать достоверные характеристики исследуемых объектов. В качестве источников легли также труды, освещающие вопросы целостности природных систем и проблем использования природных вод, хотя оценка их условий циркуляции, сопряженных выявлением взаимосвязи с качеством биосферы и оптимизацией технического состояния скважин, разработаны недостаточно.

Для достижения объективных данных анализированы лабораторно-натурные испытания поверхностных и подземных вод, совмещая естественные условия с геоэкологическими элементами в зонах горно-добывающих

предприятий, считая, что они представляют собой результат взаимосвязи геолого-геохимических событий, происходящих в течение длительного геологического времени и техногенной нагрузки разной интенсивности [4].

Обсуждение полученных результатов

В гидрогеологических массивах регулирующую роль в перераспределении поверхностного и подземного стока выполняют также гляциальные, делювиальные, коллювиальные, аллювиальные и пролювиальные отложения (рис. 1).

Накопленные к настоящему времени данные дают возможность получить количественную характеристику формирования и распределения подземного стока верхнего структурно-гидрогеологического этажа. В качестве основных показателей принят единичный расход подземных вод, показывающий модуль подземного стока и величины водопроницаемости ($\text{м}^2/\text{сут}$). Нами анализировано пространственно-временное распределение речного стока и ежегодно вырабатываемые энергии разделены на следующие классы (кВт): реки в бассейне оз. Иссык-Куль относятся в основном к V-VI классам, из которых рр. Тюп и Джергалан с $\mathcal{E}=0,75$ и $\mathcal{E}=0,64$ млрд. соответственно – к V-му, а рр. Турген-Аксу, Арашан, Каракол, Джетыогуз, Чон-Кызылсу, Джууку, Барскаун, Тон, Чон-Аксу – к V-му классам. Лишь рр. Джергез, Чон-Джаргылчак, Турасу, Ак-Терек, Тору-Айгыр, Ак-Су объединены в VII, тогда как мелкие притоки – Шаты, Курменты, Кутурга, Ойтал, Чон-Койсу, Чолпон-Ата, Чон-Урюкты, у которых не превышает 0,125 млрд. – к IV; в бассейне р. Чу р. Чон-Кемин с $\mathcal{E}=2,2$ млрд. – VII-ый класс, рр. Карабалта, Аксу, Аларча, Иссык-Ата, Сокулук и Джарды-Каинды с $\mathcal{E} = 0,25-0,125$ млрд. – VI-ый, а рр. Чон-Каинды, Джеламыш, Кичи-Кемин, Коморчек, Каракол (Восточный), Кызылсу, а также егет и Каинды – V-ый; большинство притоков р. Талас имеют низкий потенциал выработки электроэнергии, но рр. Куркуресу, Карабура, Урмарал, Беш-Таш, Уч-Кошой – от 0,25 до 0,5 млрд., что соответствует VI-му классу; несколько иная картина в бассейне р. Тарим: высокой энергией водного потока обладает ее приток – р. Сарыджаз с $\mathcal{E} = 15,0$ млрд., что позволяет отнести к I-му, а рр. Чон-Узенгикууш, Аксай и Кызылсу (Восточная) к VI-му классу; среди притоков р. Нарын р. Кокомерен занимает высокий класс, благодаря чему суммарный гидропотенциал бассейна, превышая 11 млрд., позволяет ее отнести к I классу. Остальные ее притоки Чон-Нарын, Кичи – Нарын, Атбаши, Алабуга, Чичкан, Джумгал занимают III класс, а рр. Кекирим, Карасуу (Правая), Узунахмат – IV, тогда как рр. Онарча, Кокджерты, Ковоксу, Карасу (Левая) – к V-му классу; реки Ферганской долины, включенные в IV-ый класс, многочисленны. Это притоки р. Нарын – Кульджа, Куршаб, Кугарт, Майлису, Акбура, Аравансай, Исфара и Ходжабакирган, а рр. Яссы, Тентексай, Исфайрамсай и Сох относятся к V-му и лишь р. Тар с притоками относится ко II-му с $\mathcal{E}=5,3$ млрд, а I-ый класс занимает р. Чаткал с $\mathcal{E}=10,8$ млрд.; в бассейне Амударья р. Кызылсу (Алайская или Западная) энергией более 4 млрд. относится к довольно высокому – III классу [5].

Подземные воды рассматриваемого региона, участвующие для 95% водообеспеченности, представляет собой мощный поток с горизонтальной гидрогеологической зональностью, образующийся за счет фациальной изменчивости литологического разреза (рис. 1). Их естественные региональные ресурсы, в среднем составляют 71 $\text{м}^3/\text{сек}$, из которых основная часть (85%)

формируется в подгорном шлейфе путем инфильтрации из русел рек, каналов и ирригационной сети. В то же время, таковое, т.е. приуроченность подземных вод к мощной толще валунно-галечников служат благоприятными условиями их оттока в нижние зоны [6].

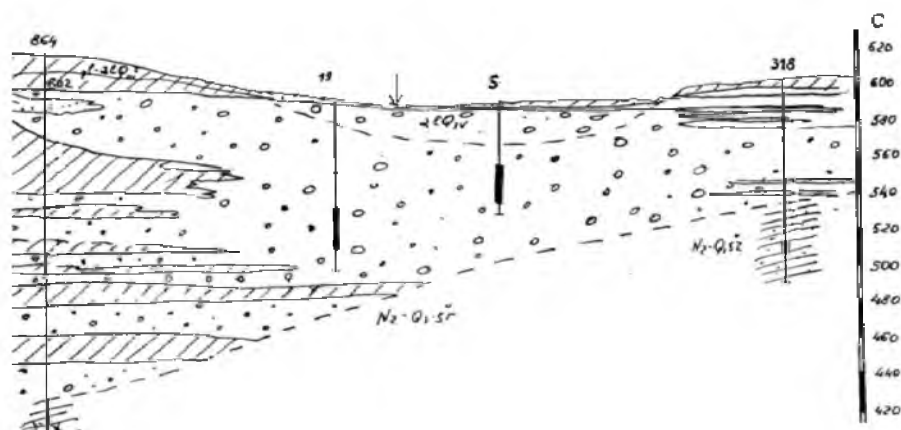


Рис.1. Схематический геолого-гидрогеологический разрез межгорной впадины Кыргызстана

Водообильность пород с грунтовым потоком разная. Так, на предгорном шлейфе она наибольшая, т.е. коэффициент фильтрации колеблется от 10-50 до 100 м/сут, тогда как на аллювиально-пролювиальной равнине составляет 0,5-1 м/сут.

Водоносные горизонты представлены галечниками, гравийниками и песками, фильтрационные показатели которых уменьшаются от периферии предгорного шлейфа, т.е. коэффициенты фильтрации изменяются от 10-15 м/сут в зоне выклинивания до 1-4 м/сут в зоне вторичного погружения подземных вод.

Напорные воды распространены в пределах аллювиально-пролювиальной равнины и увалисто-долинного рельефа. Напор водоносных горизонтов создается за счет гидростатического давления. Здесь уровни напорных вод устанавливаются ниже поверхности земли без самоизлива на поверхность земли.

Водоносные горизонты сверху перекрываются аллювиальными и аллювиально-пролювиальными отложениями, фильтрационные свойства которых изменяются от нескольких десятков до сотен метров в сутки. Здесь в неглубоко залегающих грунтовых водах процессы испарения преобладают над фильтрацией. Они расходуются, главным образом на выклинивание в виде одиночных и групповых родников (60%), а также на испарение (30%).

Приведенная ниже степень обеспеченности подземным стоком представляет собой схему, четко увязанную с основными геоморфологическими подразделениями, например, отчетливо выделяется четыре гидродинамических зоны:

- формирования и безнапорного движения подземных вод;
- выклинивания и напорно-безнапорного движения подземных вод;
- вторичного погружения (транзита) и напорно-безнапорного движения, подземных вод;

- разгрузки подземных вод в аллювиальных отложениях в современной долине.

Для каждой зоны характерны свои специфические условия питания, движения и разгрузки подземных вод. На периферии предгорного шлейфа наблюдается резкое фациальное изменение литологического состава отложений. Так, в полосе шириной 2-3 км появляются до 5% суглинистых прослоев в разрезе, которые служат границей между предгорным шлейфом и аллювиально-пролювиальной равниной.

В целом глубина залегания зеркала грунтового потока изменяется от 0-10 м до 150-200 м, а на аллювиально-пролювиальной равнине не превышает 5-10 м, о чем показано в табл. 1.

Таблица 1

Геолого-геоморфологические характеристики водоносных горизонтов

Геоморфологический комплекс	Морфометрические признаки рельефа			Типы рельефа	Геологические формации	
	Абсолютная высота местности, м	Глубина эрозионных врезов, м	Уклон поверхности и рельефа		Разрез литологического состава	Типы разрезов на глубину 5м
Подгорно-равнинный	750 – 1000	от 3 – 5 до 10 – 20, реже до 30	0,01 – 0,03, реже до 0,05	Подгорный шлейф	Валунно-галечники, галечники, суглинисто-галечники	Валунно-галечниковый, суглинисто-галечниковый и суглинистый
	600 – 700	от 1 до 3 – 5, реже до 10 – 15	0,004 – 0,01	Слабонаклонная аллювиально-пролювиальная равнина	Пестрый суглинисто-галечниково-гравийный и гравийно-песчано-суглинистый	Суглинистый, суглинисто-песчано-супесчаный и песчаный
	500 – 600	от 10 – 15 до 30 – 50, реже 80-100	0,002 – 0,004	Слабоволнистая и увалисто-долинная форма	Суглинистый	Суглинистый, суглинисто-песчано-супесчаный
	500-800	5 – 10, реже до 15 – 20	0,001 – 0,006	Аллювиальная террасированная долина	Валунно-галечники, гравийно-галечниково-песчаный	Суглинисто-супесчано-песчаный

В целом глубина залегания подземных вод, изменяясь от 0-2 до 150-200 и более метров, увеличивается от периферии предгорного шлейфа к предгорьям, причем в этом решающую роль играют климатические показатели и представленность почвенного покрова (табл. 2). Коэффициенты фильтрации при мощности обводнённой толщи 300-450 м составляют 40-50 м/сут, а величины водопроницаемости изменяются в пределах 10000-15000 и более м²/сут.

Уровни вод в зоне выклинивания при мощности обводненных отложений, достигающей 280-350 м, устанавливаются выше поверхности земли, причем максимальные их значения (до +25 м) приурочены к полосе шириной 5-10 км, непосредственно примыкающей к предгорному шлейфу. С глубиной напоры отдельных водоносных слоев возрастают, а уровни грунтовых вод, находящиеся на глубинах от 0 до 2-5 м, реже до 10 м, определяются эрозийными врезами. Главное, здесь грунтовые воды подпитываются напорными водами, идущими снизу-вверх.

Таблица 2

Почвенно-климатические параметры подземных вод в межгорных впадинах

Климатические показатели		Гидрологический район	Почвы	Тип гидрогеологической структуры		Гидрогеологическая зона
Т °С воздуха	Осадки, мм					
9-9,5	450 – 500	Зоны рассеивания поверхностного стока	Сероземы, реже светло-каштановые	Артезианский бассейн	Верхний структурно-гидрогеологический этаж	Зона формирования подземных вод

Пьезометрические уровни напорных вод в зоне вторичного погружения, устанавливаясь ниже поверхности земли, не превышают уровней грунтовых вод. Суммарная мощность водоносных горизонтов (280-300 м), представленных песчаными образованиями, реже гравием и галькой, обычно не превышает 20-25% разреза.

Через зону вторичного погружения проходит весь естественный поток подземных вод.

Для зоны разгрузки подземных вод характерно наличие грунтовых и напорных вод при неглубоком залегании (0-2, реже до 5 м) и широком развитии процессов руслового и площадного выклинивания движутся в соответствии с общим уклоном местности. Питание его происходит за счет притока из гипсометрически выше расположенных водоносных горизонтов,

Выводы

На рассмотренной территории по величине водопроницаемости водовмещающих пород выделены три зоны со следующими значениями: < 1000 м²/сут, 1000-5000 м²/сут и > 5000 м²/сут, что соответствует слабой, умеренной и хорошей циркуляционной способности подземных вод, позволяющей для устойчивого практического использования. Их расположение достаточно отчетливо согласуется с геоморфологическими элементами межгорных впадин региона.

Литература

1. Кендирбаева Дж.Ж., Жунусакунова А.Р., Сарыгулова К.А., Суранова К. Перспективы использования энергии природных вод в малой гидроэнергетике и агротрекреации // Вестник Кыргызского Национального Аграрного университета им. К.И. Скрябина. Бишкек. 2018. № 4 (49). С. 128-133.
2. Иманкулов Б., Кендирбаева Дж.Ж.К проблеме охраны и рационального использования водных ресурсов Кыргызстана // Гидрометеорология и экология. № 1. Алматы, 2006. С. 98-103.
3. Гидрогеология СССР (Киргизская ССР). Т. 40. М.: Недра. -1971. Т. 25. 488 с.
4. Иманкулов Б., Кендирбаева Дж. Ж. К методике оценки геоэкологического состояния гидрографической и долинной сети в зонах горно-добывающей промышленности Кыргызстана // Геополитика и экогеодинамика регионов. Т. 10. Вып. 2. Симферополь, 2014. С. 332-336.
5. Кендирбаева Дж. Ж. Особенности формирования и изменения стока рек Кыргызстана в природно-техногенных условиях / Сб. докладов Четвертые Виноградовские чтения: гидрология от познания к мировоззрению. СПбУ., СПб, 2020. С. 669-674.
6. Иманкулов Б., Кендирбаева Дж.Ж., Другалева Е.Э., Аскаралиев Б.О. и др. Анализ и оценка современного состояния водопользования Центральной Азии // Вестник КНАУ им. К. И. Скрябина. № 1. 2018. С. 298-303.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ О СЕЛЕВОЙ И ПАВОДКОВОЙ ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ С.П. ВЕРХНЯЯ БАЛКАРИЯ (КБР)

© А.М. Керимов¹, З.Т. Акшаяков², О.А. Курашева³, А.Б. Ашабоков⁴

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. Статистика потерь от природных и стихийных бедствий обнаруживает их быстрый рост по всему миру в последние десятилетия. В связи с этим расширяются исследования проблем оценки управления риском. Основное внимание традиционно уделяется геофизической сути опасных природных явлений, методы и технологии их прогноза, а также защитным мероприятиям. В последние десятилетия активно развивается направление исследований проблем оценки, анализа и управления риском. Управление риском – это заблаговременное предвидение риска и принятие мер по его снижению. В работе предложен метод автоматизации предупреждения схода селевых потоков для с.п. Верхняя Балкария (Черекский район, КБР), которая подвержена воздействию селевых потоков из 12 селевых бассейнов. Данная методика привлекательна тем, что из одного пульта управления можно проводить мониторинг большого количества селевых бассейнов. Следует отметить, что данная работа соответствует «Распоряжению правительство РФ от 25 декабря 2019 г. №3183-р Об утверждении Национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г.», а также второго этапа национального плана мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г. Предполагается разработать порядок и условия использования территорий, расположенных в зоне возможного возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера. Среди различных процессов, вызывающих чрезвычайные ситуации, упоминаются и селевые потоки, особенно характерные для горных территорий. Одним из условий адаптации к возникающим рискам от селевых потоков является своевременное предупреждение о возникновении селевых потоков. В этом заключается актуальность данной работы.

Ключевые слова: бассейн реки Черек; селевая опасность; селевой поток; система оповещения

Введение

Селевые явления на Центральном Кавказе исследованы достаточно подробно. Имеются фундаментальные работы: Флейшмана С. М., Перова В. Ф [5, 10–15]. Составлены кадастры селевой опасности [1, 3, 4]. Пребывание людей и хозяйственная деятельность на селеопасных территориях всегда сопряжены с определённым риском. Если селевая опасность в горах существует независимо от деятельности людей, то селевой риск возникает только в том случае, когда человек использует селеопасные территории. Чем больше людей присутствует в горах и чем больше там расположено хозяйственных объектов, тем больше величина селевого риска при одних и тех же показателях селевой опасности. Количественно риск определяется произведением вероятности события на его последствия и выражается в виде числа жертв или суммы ущерба на данной территории за определённый период времени (обычно за год) [7, 8].

В данной работе представлена систем оповещения селевой и паводковой опасности для с.п. Верхняя Балкария (Черекский р-н, КБР), которая находится под ударом селевых потоков, формируемых левыми и правыми притоками р.

Черек Балкарский. На рис. 1 представлена электронная карта-схема селевых бассейнов угрожающих с.п. Верхняя Балкария, полученная с использованием картографической программы «Google Earth Pro».



Рис. 1. Электронная карта-схема селевых бассейнов, угрожающих с.п. Верхняя Балкария

На рис. 1 красной линией выделены бассейны селеносных водотоков, синей заливкой показаны зоны денудации. Площадь, ограниченная желтой линией, – селеопасная территория селевого бассейна. Как видно из рис. 1 с.п. Верхняя Балкария находится под вероятным воздействием селей из 12 селевых бассейнов. Ранее была составлена электронная карта-схема 82 селевых бассейнов реки Черек (КБР) и кадастр к ней, состоящий из 21 параметра, характеризующих селевые бассейны и основные параметры селевых потоков [2, 6]. Кадастр зарегистрирован в системе [9]. Для уменьшения селевого риска для данного населенного пункта необходимо использование подходящих для данного случая противоселевых мероприятий, в том числе и автоматизированное оповещение о селевой опасности.

В связи с выше изложенным, весьма актуальна выработка и внедрение автоматизированных систем оповещения селевой и паводковой опасности в бассейнах горных рек. Эти системы позволят осуществлять контроль изменения параметров, а именно уровень горных рек, представляющих угрозу селевой и паводковой опасности, которые должны функционировать при любых погодных условиях. На рис. 2 предложен один из таких вариантов автоматизированной системы оповещения о селевой опасности.

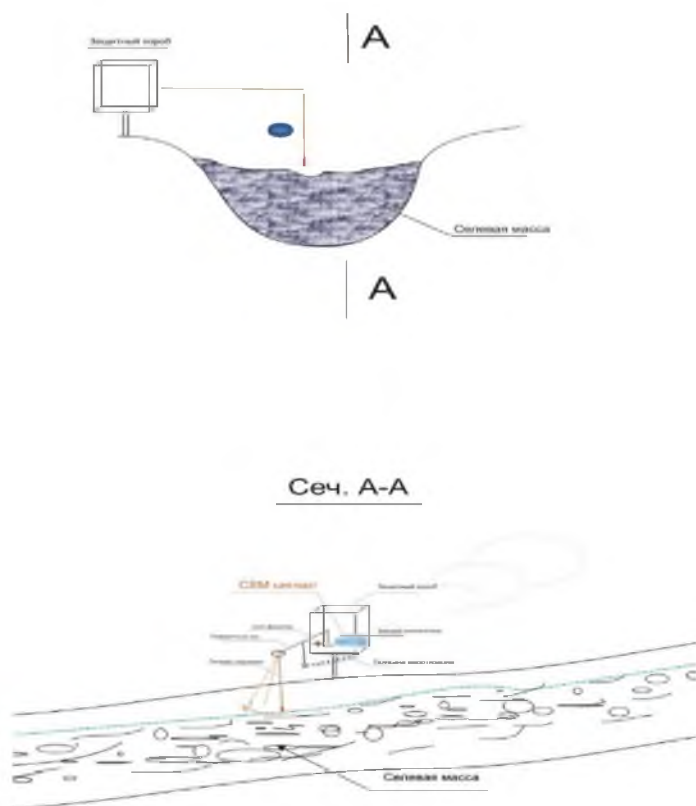


Рис. 2. Автоматизированное оповещение селевой опасности

Предлагаемая система проста в установке, надежна в эксплуатации. Поскольку предполагается мониторинг двенадцати селевых бассейнов, угрожающих одному населенному пункту с одной базовой станции с использованием недорогого GSM элемента имеет свои материальные преимущества. На рис. 2, представлен механизм фиксации GSM блока, при повышении уровня селевой и водной массы для дальнейших передач частотных сигналов.

На рис. 3 и 4 представлена система передачи информации из селевых бассейнов, и принцип работы всего механизма GSM оповещения и мониторинга.

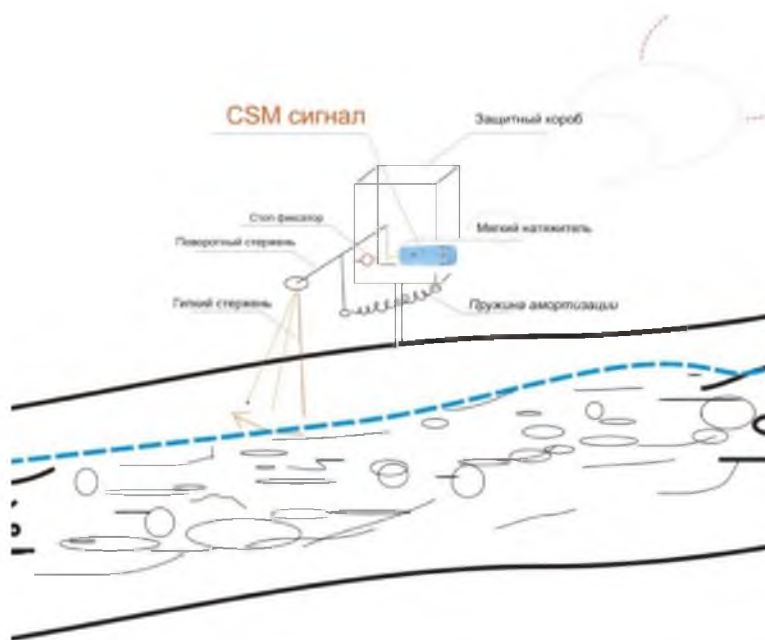


Рис. 3. Система передачи информации из селевых бассейнов

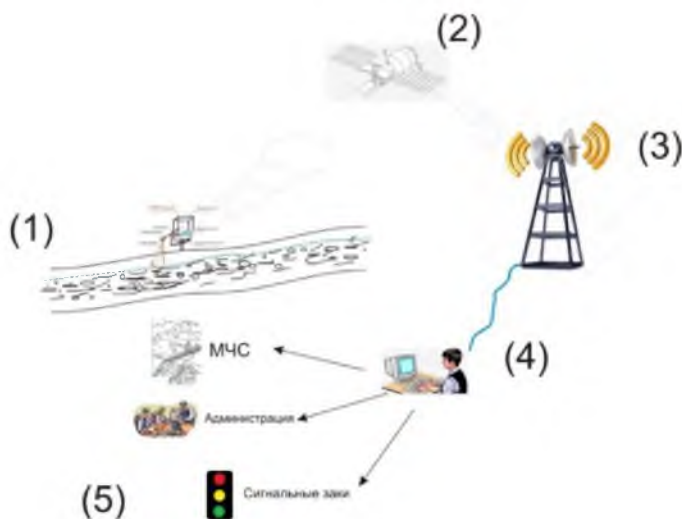


Рис. 4. Принцип работы всего механизма GSM оповещения и мониторинга:

1. GSM блок- фиксация сигнала, при сходе движущейся (селевой, водной) массы. 2. Спутниковый прием для передачи частоты сигнала (спутник – для меньшей потери сигнала с учетом топонимических неровностей территории). 3. БС для приема сигнала. 4. Пульт управления и обработки полученных GSM сигналов. 5. Уведомление об опасности схода селевой и водной массы: для заинтересованных организаций: администрации сельского поселения и Черекского района, МЧС и т.д. Аварийные знаки (установленные на 100–150 м до зоны выноса селевых масс).

Выводы

Составлена электронная карта-схема двенадцати селевых бассейнов, селевые потоки из которых угрожают с.п. Верхняя Балкария (Черекский р-н, КБР) с использованием картографической программы «Google Earth Pro». Селевые потоки из трёх селевых бассейнов не угрожают населению. Селевые потоки из остальных бассейнов в разной степени угрожают жизни людей и хозяйственных объектов. Представлен принцип работы автоматизированной системы оповещения о селевой опасности. На рисунках приведены как условия работы отдельных блоков системы, так и вся система в сборе, включающая получение информации заинтересованными организациями.

Литература

1. *Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Гедуева (Гяургиева) М.М., Перов В.Ф., Разумов В.В., Сейнова И.Б., Хучунаева Л.В.*, 2015. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России, под ред. Н.В. Кондратьевой. Изд-во Феория. Москва, Нальчик.
2. *Акиаяков З.Т., Керимов А.М., Курашева О.А.* / Оценка селевого риска для сельского поселения Верхняя Балкария (Черекский Район, Кабардино-Балкарская Республика) // Геориск. 2021. Том XV. №4. С. 48-55. <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2021-15-4-48-55>
3. Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа / *Залиханов М.Ч.* (ред.). Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001.
4. Кадастр лавинно-селевой опасности Кабардино-Балкарской Республики / *Залиханов М.Ч.* (ред.). Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001.
5. *Запорожченко Э.В.* Сели бассейна р. Герхожан-Су: история проявления, условия формирования, энергетические характеристики. Сб. науч. трудов ОАО «Севкавгипроводхоз», № 15. Пятигорск, 2002. С. 80-148.
6. *Керимов А.М., Акиаяков З.Т., Анахаев Х.А.* Селевой риск в Кабардино-Балкарской республике (Центральный Кавказ) на примере долин рек Черек и Баксан // Евразийский научный журнал «Eurasian science journal», 2020. Том. 6, № 9 (78). С. 27–32.
7. *Керимов А.М., Акиаяков З.Т., Курашева О.А.* Картографирование селевого риска в бассейне реки Баксан (Кабардино-Балкарская республика) // Методы моделирования динамических процессов в различных средах: сб. науч. трудов. Нальчик: Каб.-Бал. ун-т, 2023. С. 115-118.
8. *Керимов А.М., Акиаяков З.Т., Курашева О.А.* Оценка и картографирование селевого риска в бассейне реки Баксан (Кабардино-Балкарская Республика) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XII. М.: ИИЕТ РАН, 2022. С. 455-462.
9. *Керимов А.М., Акиаяков З.Т., Курашева О.А.* Электронная карта-схема и каталог селевых бассейнов КБР // База данных РФ № 2022621007, 05.05. 2022.
10. *Перов В.Ф.*, Северный Кавказ. Селеопасные районы Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 42-51.
11. *Сейнова И.Б., Золотарёв Е.А.*, Ледники и сели Приэльбрусья (эволюция оледенения и селевой активности). Москва: Изд-во Научный мир, 2001.
12. *Тушинский Г.К., Попов А.И., Голубев Г.Н. и др.* Опыт изучения гляциальных селей Большого Кавказа (на примере реки Герхожан-Су бассейна реки Баксан). Информационный сборник о работах по Международному геофизическому году. 1966. № 13. С. 5-106.
13. *Флейшман С.М.* Сели. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978.
14. *Черноморец С.С.* Селевые очаги до и после катастроф. Москва: Научный мир, 2005.
15. Методические рекомендации по обеспечению противоселевой безопасности объектов экономики (часть 1) / под ред. Анахаева К.Н. Нальчик: ВГИ, 2016. 60 с.

НЕСАНКЦИОНИРОВАННАЯ СВАЛКА КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

© Л.А. Кешева, Н.В. Теунова

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. В статье рассмотрена проблема загрязнения атмосферного воздуха в районе размещения несанкционированной свалки г. Карабулак, Республики Ингушетия. Рассчитаны количественные характеристики выбросов загрязняющих веществ, выделяющихся с территории свалки, и произведен расчет рассеивания. Получено, что выбросы с полигона, эксплуатируемого в течение длительного времени (с 2002 г.), превышают гигиенические нормативы, как на границе свалки, так и на границе жилой зоны. Снижение антропогенной нагрузки возможно при проведении рекультивации. Произведен расчет выбросов при рекультивации, получено, что основным источником негативного воздействия остается выброс биогаза с территории свалки, а выбросы спец. техники не увеличат антропогенную нагрузку. После завершения работ по рекультивации негативное воздействие объекта не будет превышать допустимых значений.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, выбросы загрязняющих веществ, рекультивация, биогаз, предельно-допустимая концентрация, группа суммаций.

Проблема утилизации твердых бытовых отходов остро стоит на всей территории России. Самым распространенным методом их удаления является захоронение на свалках и полигонах, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду [1-4]. Большинство свалок образовывались стихийно в отработанных карьерах и различных котлованах без учета природоохранных требований и технологических решений. Многие полигоны не обеспечивают надлежащей изоляции отходов, что способствует поступлению продуктов разложения в атмосферный воздух, почву и воду [10].

Объектом исследования данной работы является площадка, которая располагается на северной окраине г. Карабулак, Республики Ингушетии. Площадка с неровным рельефом, представляет собой сухую балку с изрытым рельефом и рекультивируемые отвалы ТБО (твердые бытовые отходы) с общим понижением рельефа в юго-западном направлении.

В геоморфологическом отношении территория свалки располагается в пределах балки с сухим руслом временного водотока, в котором организована несанкционированная свалка твёрдых бытовых отходов (рис. 1).

В данное время объект представляет собой несанкционированную свалку отходов площадью 31,3 га. Свалочные тела представляют собой хаотично распространенные насыпи отходов и отвалов из многочисленных отработанных карьеров общераспространенных строительных материалов и мусора – как бытового, так и строительного. Наиболее старые отвалы карьеров песчано-гравийной смеси и кирпичных суглинков и перемещенные грунты (отходы производства), возрастом 45-50 лет, заросли кустарником и местами древесной растительностью. Рельеф свалки очень сложный. Выемки карьеров глубиной от 5 до 15 м и более, полностью или частично завалены как грунтами отвалов, так и мусором. Наряду с открытыми накоплениями мусора, на объекте имеют распространение и захоронения ТБО под насыпными и перемещенными местными грунтами, частично заросшие сорной растительностью.



Рис. 1. Выгрузка отходов на территорию свалки

Под воздействием микрофлоры происходит биотермический анаэробный процесс распада органической составляющей отходов. Конечным продуктом этого процесса является биогаз, основную объёмную массу которого составляют метан и диоксид углерода. Наряду с названными компонентами биогаз содержит пары воды, оксид углерода, оксиды азота, аммиак, углеводороды, сероводород, фенол и в незначительных количествах другие примеси, обладающие вредным для здоровья человека и окружающей среды воздействием.

Количественный и качественный состав биогаза зависит от многих факторов, в том числе, от климатических и геологических условий места расположения свалки, морфологического и химического состава завезённых отходов, условий складирования, влажности отходов, их плотности и т.д.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха в районе расположения свалки была проведена инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с применением расчетного метода [6]. Основным источником загрязнения является тело свалки, от которого в атмосферу выбрасываются 11 загрязняющих веществ и определено 6 групп суммации вредного действия. Общее количество ЗВ, выбрасываемых в атмосферу, составляет 791,398877 т/год. В таблице 1 приведен перечень и количество ЗВ, выбрасываемых с территории свалки.

Наибольшие значения имеют максимально-разовые и валовые выбросы (табл. 1) метана, метилбензола и аммиака, при этом 96% всех выбросов приходится на метан. Доля всех остальных веществ составляет около 1%.

Критерием оценки уровня воздействия на окружающую среду для газообразных выбросов в атмосферу являются максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ, которые сопоставляются с соответствующими значениями ПДК. Концентрации определяются на основании расчетов рассеивания, выполненных в соответствии с методическими указаниями [8].

Детальный расчет приземных концентраций проводился с использованием программного комплекса УПРЗА «ЭКОЛОГ», версия 4.60.2.

Расчет выполнен для летнего периода, как периода с наихудшими условиями рассеивания. Контрольными (расчетными) выбраны точки на границе 500-метровой зоны вокруг свалки, на границе производственной зоны, на границе ближайшей жилой застройки.

Таблица 1

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу
на существующее положение

Загрязняющее вещество		Вид ПДК	Значение ПДК (ОБУВ) мг/м3	Класс опасности	Суммарный выброс загрязняющих веществ	
код	наименование				г/с	т/г
1	2	3	4	5	6	7
0301	Азота диоксид	ПДК м/р	0,20000	3	0,056907	1,276939
0303	Аммиак	ПДК м/р	0,20000	4	0,340287	7,635718
0304	Азота оксид	ПДК м/р	0,40000	3	0,009247	0,207503
0330	Сера диоксид	ПДК м/р	0,50000	3	0,044867	1,006782
0333	Дигидросульфид	ПДК м/р	0,00800	2	0,016659	0,37381
0337	Углерода оксид	ПДК м/р	5,00000	4	0,160868	3,60973
0410	Метан	ОБУВ	50,0000		33,773565	757,847628
0616	Диметилбензол	ПДК м/р	0,20000	3	0,282593	6,34112
0621	Метилбензол	ПДК м/р	0,60000	3	0,461398	10,353342
0627	Этилбензол	ПДК м/р	0,02000	3	0,060862	1,365692
1325	Формальдегид	ПДК м/р	0,05000	2	0,061526	1,380598
Всего веществ: 11					35,268780	791,398877
в том числе твердых: 0					0,000000	0,000000
жидких/газообразных: 11					35,268780	791,398877
Смеси загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия (комбинированным)						
6003	(2) 303 333 Аммиак, сероводород					
6004	(3) 303 333 1325 Аммиак, сероводород, формальдегид					
6005	(2) 303 1325 Аммиак, формальдегид					
6035	(2) 333 1325 Сероводород, формальдегид					
6043	(2) 330 333 Серы диоксид и сероводород					
6204	(2) 301 330 Азота диоксид, серы диоксид					

Для каждого j-го вещества, выбрасываемого источниками предприятия, должно выполняться соотношение:

$$q_j = \frac{c_j}{\text{ПДК}_j} \leq 1 \quad (1)$$

где C_j – расчетная концентрация вредного вещества в приземном слое воздуха.

В таблице 2 приведены концентрации 11 загрязняющих веществ и 6 групп суммации в выбранных контрольных точках. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчётные показатели качества атмосферного воздуха
на существующее положение

Загрязняющее вещество		Наибольшие концентрации загрязняющих веществ дПДК		
		Граница пром-площадки	Ближайшая жилая застройка	Граница СЗЗ 500 м
0301	Азота диоксид	0,45	0,41	0,40
0303	Аммиак	0,43	0,17	0,14
0304	Азота оксид	0,13	0,12	0,12
0330	Сера диоксид	0,06	0,04	0,04
0333	Дигидросульфид	0,90	0,58	0,55
0337	Углерод оксид	0,47	0,46	0,46
0410	Метан	0,17	0,07	0,06
0616	Диметилбензол	0,35	0,14	0,12
0621	Метилбензол	0,19	0,08	0,07
0627	Этилбензол	0,76	0,30	0,26
1325	Формальдегид	0,71	0,52	0,50
6003	Группа суммации: Аммиак, сероводород	0,95	0,38	0,25
6004	Группа суммации: Аммиак, сероводород,	1,26	0,50	0,43
6005	Группа суммации: Аммиак, формальдегид	0,74	0,29	0,25
6035	Группа суммации: Сероводород, формальдегид	1,61	1,11	1,06
6043	Группа суммации: Серы диоксид и	0,96	0,63	0,60
6204	Группа неполной суммации с коэффициентом "1,6":	0,32	0,28	0,28

Выбросы дигидросульфида, незначительны (табл. 1), но уровень концентрации этого вещества на границе промплощадки имеет самое большое значение (0,9 ПДК) (табл. 2) за счет низкого уровня предельно-допустимой концентрации, также и концентрация этилбензола, имеет достаточно высокое значение на границе промплощадки (0,76ПДК) при незначительной максимально-разовой концентрации (0,060862 г/с).

В выбросах содержится смесь разнообразных загрязняющих веществ, которые обладают схожим токсическим воздействием и в таких случаях сумма концентраций этих веществ может превысить предельно допустимую концентрацию. Некоторые соединения имеют синергетический эффект, таким образом, что токсичность одного при наличии другого увеличивается, т.е. проявляется эффект суммации вредного воздействия. Как видно из таблицы 2 загрязняющие вещества, выбрасываемые с территории свалки, образуют 6 групп

суммации, две из которых превышают ПДК (>1), а две имеют значение близкой к 1.

Исходя из вышеописанного, можно заключить, что существующая свалка является источником негативного воздействия на окружающую среду и необходимо проведение рекультивации свалки, направленной на снижение негативных последствий от химических процессов, которые годами происходили в плотной мусорной куче. Этапы рекультивации разделяют на технический и биологический.

На техническом этапе полигон приводят к новому виду. Мусорную свалку разравнивают, устанавливают системы дренажа для сбора фильтрата и сточных вод. Для оценки воздействия процесса рекультивации на атмосферный воздух был проведен расчет выбросов ЗВ.

При рекультивации свалки основными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу остается биогаз, образующийся в толще твёрдых бытовых отходов, захороненных на свалке и выделяющийся из свалочного тела, а также двигатели строительных машин и механизмов, дезинфекция колес автотранспорта, земляные работы и пыление сыпучих материалов. Расчет выполнен на основании методических указаний [5-7].

Расчет выполнен для 24 веществ и 8 групп суммации вредного действия. Общее количество ЗВ, выбрасываемых в атмосферу, составляет 794,38361 т/год. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3
Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу
на техническом этапе

Загрязняющее вещество		Вид ПДК	Значение ПДК (ОБУВ) мг/м³	Класс опасности	Суммарный выброс загрязняющих веществ (за 2022 г.)	
код	наименование				г/с	т/г
1	2	3	4	5	6	7
0301	Азота диоксид	ПДК м/р	0,20000	3	0,253568	1,432448
0303	Аммиак	ПДК м/р	0,20000	4	0,340422	7,639933
0304	Азот оксид	ПДК м/р	0,40000	3	0,041239	0,23384
0328	Углерод (Сажа)	ПДК м/р	0,15000	3	0,026977	0,02284
0330	Сера диоксид	ПДК м/р	0,50000	3	0,102611	1,029750
0333	Дигидросульфид	ПДК м/р	0,00800	2	0,016983	0,382714
0337	Углерода оксид	ПДК м/р	5,00000	4	0,847242	4,274215
0349	Хлор	ПДК м/р	0,10000	2	0,0022	0,33
0410	Метан	ОБУВ	50,00000	0	33,792583	758,44122
0415	Смесь предельных углеводородов C1-C5	ПДК м/р	200,0000	4	0,031193	0,059252
0416	Смесь предельных углеводородов C6-C10	ПДК м/р	50,00000	3	0,001327	0,013939
0602	Бензол	ПДК м/р	0,30000	2	0,000017	0,00018

0616	Диметилбензол	ПДК м/р	0,20000	3	0,282598	6,341178
0621	Метилбензол	ПДК м/р	0,60000	3	0,461409	10,353456
0627	Этилбензол	ПДК м/р	0,02000	3	0,060862	1,365692
0703	Бенз/а/пирен	ПДК с/с	1,00e-06	1	1,43e-07	9,00e-09
1071	Гидроксibenзол	ПДК м/р	0,01000	2	0,000014	0,000438
1317	Ацетальдегид	ПДК м/р	0,01000	3	0,034542	0,14922
1325	Формальдегид	ПДК м/р	0,05000	2	0,111197	1,58961
1555	Этановая кислота	ПДК м/р	0,20000	3	0,036936	0,159563
1728	Этантиол	ПДК м/р	0,00005	3	0,000001	0,00003
2704	Бензин	ПДК м/р	5,00000	4	0,001611	0,000914
2732	Керосин	ОБУВ	1,20000	0	0,098442	0,061524
2754	Алканы C12-19	ПДК м/р	1,00000	4	0,019849	0,214258
2907	Пыль неорганическая >70% SiO2	ПДК м/р	0,15000	3	0,686000	0,617400
Всего веществ : 24					37,247623	794,38361
в том числе твердых : 3					0,712978	0,640240
жидких/газообразных : 21					36,534645	793,74337
	Смеси загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия (комбинированным действием):					
6003	(2) 303 333 Аммиак, сероводород					
6004	(3) 303 333 1325 Аммиак, сероводород, формальдегид					
6005	(2) 303 1325 Аммиак, формальдегид					
6010	(4) 301 330 337 1071 Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол					
6035	(2) 333 1325 Сероводород, формальдегид					
6038	(2) 330 1071 Серы диоксид и фенол					
6043	(2) 330 333 Серы диоксид и сероводород					
6204	(2) 301 330 Азота диоксид, серы диоксид					

Во время рекультивации, как и до нее, наибольшие значения имеют максимально-разовые и валовые выбросы метана, метилбензола и аммиака (табл. 1). Выбросы от работы автотранспорта и земельных работ незначительны.

После того, как ландшафт нового полигона сформирован, почва и окрестности защищены от проникновения фильтрата, а газ выводится, начинается биологический этап рекультивации. Это подготовка плодородного слоя на поверхности полигона, подготовка многолетних трав и растений, их посадка и уход за ними.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются: полив газонов, посев трав, выкашивание трав, внесение удобрений. Общее количество ЗВ, выбрасываемых в атмосферу на биологическом этапе, составит 0,073558 т/год.

Расчет рассеивания был выполнен для 7 веществ и 1 группы суммации вредного действия. Результаты расчета рассеивания на биологический этап представлены в таблице 4.

Таблица 4

Расчётные показатели качества атмосферного воздуха на биологическом этапе работ

Загрязняющее вещество		Наибольшие концентрации загрязняющих веществ дПДК		
		Граница промплощадки	Граница СЗЗ 500 м	Ближайшая жилая застройка
0301	Азота диоксид	0,63	0,49	0,48
0304	Азота оксид	0,14	0,13	0,13
0328	Углерод (Сажа)	0,05	0,02	0,02
0330	Сера диоксид	0,08	0,06	0,05
0337	Углерода оксид	0,50	0,47	0,47
2704	Бензин	<0,01	<0,01	<0,01
2732	Керосин	0,01	<0,01	<0,01
6204	Группа суммации: Азота диоксид,	0,44	0,34	0,33

Выбросы веществ от работы автотранспорта не будут превышать ПДК как на границе рекультивированной свалки, так и на границе ближайшей жилой застройки. Время загрязнения атмосферного воздуха выбросами строительной и транспортной техники непродолжительно и равно времени работы автотранспорта.

Проведенные исследования показали, что несанкционированная свалка, расположенная вблизи г. Карабулак, является источником загрязнения окружающей среды. Несанкционированная свалка формирует повышенный уровень загрязнения воздуха, как на границе свалки, так и в близлежащих населенных пунктах, что может привести к значительному негативному воздействию на состояние окружающей среды и здоровье населения.

Наиболее рациональным подходом к проблеме является рекультивация свалки, во время которой будут задействованы различные дорожные машины и механизмы. При этом, во время рекультивации, основным источником загрязнения атмосферного воздуха будет оставаться биогаз, выделяющийся из тела свалки.

После завершения работ по рекультивации негативное воздействие объекта не будет превышать допустимых значений.

Литература

1. Алёшина Т.А., Чернышев С.Н. Современное геоэкологическое состояние свалок и полигонов твердых бытовых отходов Московской области и пути решения // Вестник МГСУ. 2012. №9. С. 185–190.
2. Афонин К.В., Жилина Т.С., Загорская А.А. Расчет выбросов на полигонах твердых бытовых отходов // Фундаментальные исследования. Технические науки. 2014. №11. С 987–990.
3. Загорская Е.П., Чigareв Р.И. Несанкционированные свалки – стихийный антропогенный фактор на урбанизированных территориях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 20, № 5(4), 2018. С. 593–598.

4. *Иванова Ю.С., Каздым А.А.* Об актуальной опасности стихийных свалок бытового мусора // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2010. № 10. С. 86–89.
5. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом). Минтранспорта РФ. 1999.
6. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (издание дополненное и переработанное) Москва. 2004.
7. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (издание дополненное и переработанное). Москва 2004.
8. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов». Новороссийск, 2001.
9. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. 2017.
10. *Титова А.Г.* Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода // Проблемы региональной экологии. 2019. №2. С. 53–58.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р.ЧЕГЕМ

© И.И. Кучменова

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. В настоящее время речных бассейнов, в которых сохранился бы естественный гидрохимический фон в России практически не осталось. Высокогорная часть водосборного бассейна р.Чегем является практически не затронутой антропогенным воздействием, верхнее течение реки формируется и протекает по территории Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника. Гидролого-гидрохимический режим р.Чегем и притоков исследовался в период с 2008 по 2017 гг. и проводился по таким показателям как: расход воды, минерализация воды, содержание основных ионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Сравнительный анализ, полученных нами данных за 2016-2017 гг. с минерализацией воды р.Чегем за период 1958-1959 гг. показывает, что в настоящее время минерализация воды р.Чегем как в период зимней межени, так и в период весенне-летнего половодья уменьшилась в среднем в 1,5 раз. Среднеголетние расходы воды р. Чегем в период 2000-2022 гг. увеличились на 2,1 м³/с по сравнению с теми же показателями 1927-2013 гг.

Ключевые слова: Чегем, минерализация, межень, половодье

В настоящее время речных бассейнов, в которых сохранился бы естественный гидрохимический фон в России практически не осталось. Подобные речные бассейны встречаются в труднодоступных и малонаселенных местностях, на значительном удалении от источников антропогенного воздействия и, как правило, гидрохимически, не изучены. Таким образом, в качестве исходных данных о качестве воды в таких случаях могут быть использованы природные фоновые значения незагрязненных участков водных объектов, особо охраняемых водных объектов, водных объектов в пределах заповедников.

Высокогорная часть водосборного бассейна р. Чегем является практически не затронутой антропогенным воздействием, верхнее течение реки формируется и протекает по территории Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника. Река Чегем берет начало на северном склоне Бокового хребта в районе вершин Адырсубаши (4342 м), Тихтенген (4613 м) и Салынантау (4514 м) и впадает в р.Баксан на 33 км от его устья. Площадь бассейна 964 км², длина 91 км. Средний уклон реки 36°, средняя высота водосбора 2250 м. Реки Башиль-Аузусу и Гара-Аузусу являются составляющими р.Чегем, охватывают верховья бассейна длиной 14,6 км и шириной 19 км. Верхняя часть участка представляет собой ледниковую зону почти 5 км с современным оледенением площадью около 50 км². Река Башиль-Аузусу берет начало с ледника Башиль на высоте 2500 м, а Гара-Аузусу из ледника Нижний Кулак на высоте 2500 км [6, 7].

Исследования гидролого-гидрохимического режима воды р.Чегем и притоков проводилось сотрудниками Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника. Пробы воды отбирались в 7 пунктах (рис. 1) два раза в год в период зимней межени и в период весенне-летнего половодья в течение 10 лет (с 2008 по 2017 гг.) для определения основных ионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Измерение массовой концентрации гидрокарбонатов проводилось

титриметрическим методом. Методом ионной хроматографии на приборе – жидкостный хроматограф «Стайер – А» выполнялись измерения массовой концентрации хлоридов, сульфатов, ионов магния и кальция [1, 8].

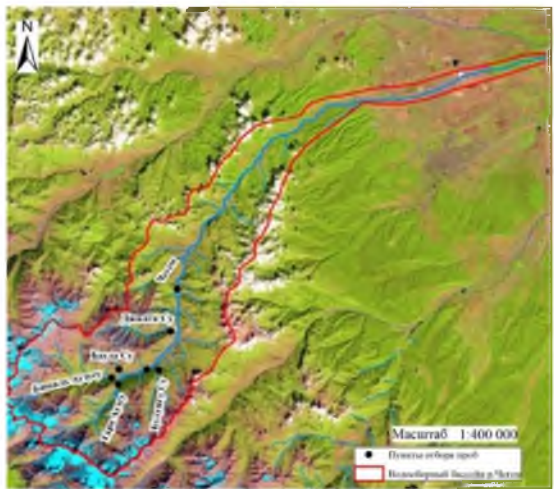


Рис. 1. Карта-схема пунктов отбора проб воды р.Чегем и притоков

Внутригодовое изменение величины стока р.Чегем (рис. 2) характеризуется более сглаженным пиком весенне-летне-осеннего половодья и низкой меженью в течение зимнего периода. Максимальная среднемесячная величина стока в 2010 г. в наиболее многоводном году за исследованный период составила $57 \text{ м}^3/\text{с}$, в то время как максимальное значение месячного стока в маловодный 2011 г. – $42 \text{ м}^3/\text{с}$. Минимальное значение стока в течение зимней межени достигло $3 \text{ м}^3/\text{с}$ в феврале. Величина колебаний месячного стока в 2010 г. составила $54 \text{ м}^3/\text{с}$, в 2011 г. и 2016 г. – $39 \text{ м}^3/\text{с}$. Река Чегем по классификации Б.Д. Зайкова [3] относится в тань-шаньскому типу: невысокое растянутое половодье ледникового генезиса, в зимний период – неосложненная паводками межень, обусловленная грунтовым питанием (рис.2).

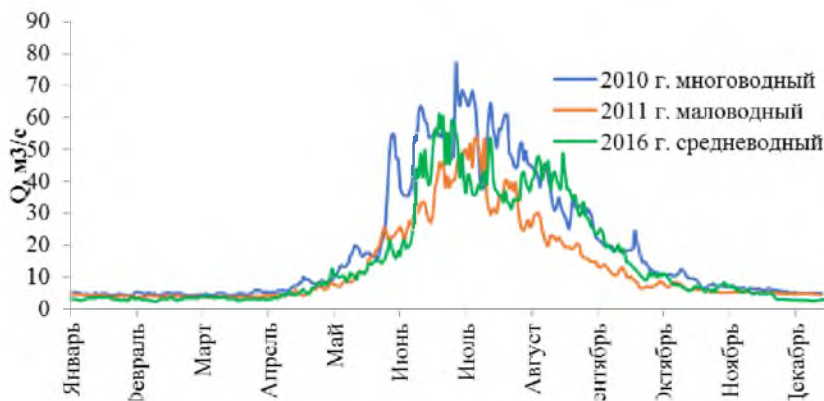


Рис. 2. Гидрографы р.Чегем – с. Н.Чегем

Показатель суммы ионов в р.Чегем и притоках колеблется от $41,7$ до $74,6 \text{ мг/дм}^3$ в период весенне-летнего половодья и от $94,4$ до $129,3 \text{ мг/дм}^3$ в период зимней межени (рис. 3). По показателю общей суммы ионов вода р.Чегем и

притоков относится к ультрапресной (менее 200 мг/дм³) [5]. Минимальное значение среднегодовой минерализации (71,8 мг/дм³) в р.Чегем за период с 2008 по 2017 гг. характерно для 2010 г. – многоводного (19,1 м³/с) за 2008-2017 гг.

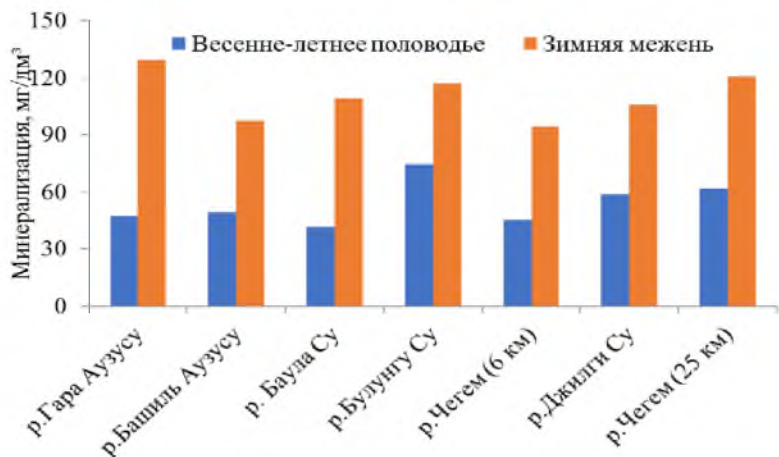


Рис. 3. Минерализация воды р.Чегем и притоков в основные фазы водного режима

Среди основных пород, слагающих рассматриваемый бассейн можно выделить граниты, диориты, гнейсы, песчаники. Преобладающими минералами являются полевые шпаты, кварц, каолин, слюды, известняки, плагиоклазы, биотиты и другие. Таким образом, в речной воде растворены все основные анионы и катионы [4].

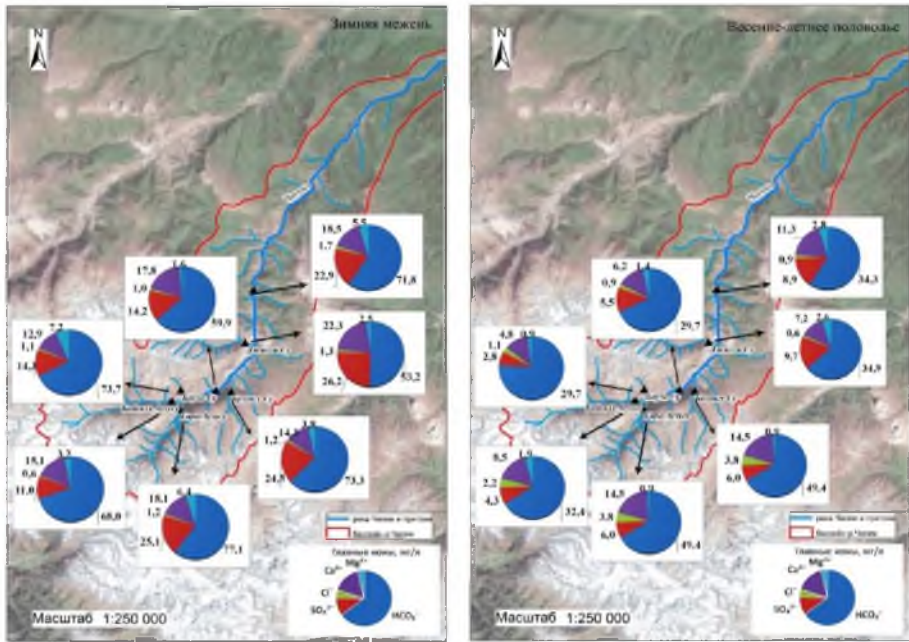


Рис 4. Ионный состав воды р.Чегем и притоков в основные фазы водного режима

Соотношение между главными ионами в разные фазы гидрологического режима для исследованных рек не изменяется. В составе катионов преобладают

ионы кальция, в составе анионов – гидрокарбонаты. По классификации природных вод О.А. Алекина вода исследованных рек относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе (рис. 4). [1].

Кроме того, следует отметить, что в бассейне р.Чегем в таких пунктах отбора как р.Гара Аузусу и р.Баула Су в период зимней межени доля сульфатов возрастает почти в 3 раза (рис. 4). Основным источником увеличения сульфатов в период зимней межени для этих рек являются подземные воды, в составе которых преобладают сульфаты.

Сравнительный анализ полученных нами данных за 2016-2017 гг. с минерализацией рек за период 1958-1959 гг. Информация о более ранних значениях минерализации воды р.Чегем представлена в литературных источниках только за 1958-1959 гг. В связи с этим, для сравнения полученных нами данных с минерализацией реки за более ранний период использовались значения минерализации в 1958-1959 гг. (табл. 1).

Сравнительный анализ, полученных нами данных за 2016-2017 гг. с минерализацией воды р.Чегем за период 1958-1959 гг. показывает, что в настоящее время минерализация воды р.Чегем как в период зимней межени, так и в период весенне-летнего половодья уменьшилась в среднем в 1,5 раз. Как видно из данных таблицы 1 среднегодовое расхождение воды рек бассейна р.Чегем в период 2000-2022 гг увеличились на 2,1 м³/с по сравнению с теми же показателями 1927-2013 гг. Изменения расхода воды в р.Чегем, возможно, связано с деградацией ледников [2]. Таким образом, на увеличение расходов воды влияет деградация ледников Большого Кавказа, связанная с климатическими изменениями, что в свою очередь оказывает влияние на уменьшение минерализации в воде р. Чегем.

Таблица 1

Изменение минерализации и среднемесячных расходов воды для р.Чегем – с. Н.Чегем

Дата	Минерализация, мг/дм ³	Среднегодовое расход, м³/с.
Зимняя межень		1927-2013 гг.
Март, 1958 г.	257,4	14,4
Март, 1959 г.	267,1	
Март, 2016 г.	136,9	
Март, 2017 г.	156	
Весенне-летнее половодье		2000-2022 гг.
Июль, 1958 г.	114,1	16,5
Июль, 1959 г.	100,1	
Июль, 2016 г.	59,9	
Июль, 2017 г.	91,6	

Закономерности формирования химического состава воды рек, изучаемой высокогорной территории определяется широким комплексом факторов, основными из которых являются специфика географического положения, орографическое строение и геология.

Полученные в ходе работы данные по основному солевому составу воды малых рек могут служить для сравнительного анализа в будущем.

Литературы

1. *Алекин, О.А. и др.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 268 с.
2. *Виноградова О.В., Виноградова Н.Н.* Реакция горных рек Кавказа на изменения климата // Вестник Московского университета. 2013. № 4. С. 44-48.
3. *Зайков Б.Д.* Очерки гидрологических исследований в России / Под ред. А.П. Доманицкого. Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. 325 с.
4. *Кучменова И.И., Фролова Н.Л., Газаев Х.-М.А. и др.* Обобщение результатов многолетних исследований по изучению основных показателей качества воды рек на территории Кабардино-Балкарского заповедника // Вода; химия и экология, № 10-12, 2018.
5. *Никаноров А.М.* Гидрохимия: Учебник, изд. 3-е, дополненное. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 461 с.
6. *Панов В. Д., Базелюк А. А., Лурье П. М.* Река Терек: Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону, Донской издательский дом, 2015. 609 с.
7. *Панов В.Д., Псарева Т.В.* Ресурсы поверхностных вод СССР: Каталог ледников СССР Т. 8. Северный Кавказ Часть 6, 7. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 97 с.
8. *Петин А.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В.* Анализ и оценка качества поверхностных вод. Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. 252 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДОМ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ

© А.А. Лагута¹, А.В. Погорелов²

¹ООО «АГМ-Системы», Краснодар

²КубГУ, Краснодар

Аннотация. Краснодарское водохранилище на р. Кубань – важнейший объект мелиоративной системы на юге России с ежегодным забором воды на орошение 3,35 млрд. м³. Долинное водохранилище эксплуатируется с 1973 г. и имеет площадь согласно эксплуатационным характеристикам 400 км². В результате непрерывной трансформации гидрографические характеристики водоема меняются. Процессы переформирования берегов и их участие в заилении и изменении гидрографических характеристик до сих пор остаются недостаточно изученными. Для анализа переформирования берегов впервые применена повторная лидарная съемка, выполненная в 2019 г. (воздушное лазерное сканирование) и 2023 г. (мобильное лазерное сканирование). Для тестовых участков берега (протяженность 3,21 км) с разными типами морфолитогенеза по материалам лидарной съемки построены высокоточные цифровые модели рельефа. Рассчитаны линейное смещение бровки берегового склона и объемы переработки берегов за 2019–2023 гг. по данным 58 выделенных блоков. Установлено, что объемы переработки на 1 погонный метр варьировали от 0,38 до 99,88 м³/м при среднем значении 12,4 м³/м. Общий объем разрушения берегов на площади 7,3 тыс. м² за исследуемый период составил 44,8 тыс. м³. При этом величина отступления бровки склона на разных участках берега изменялась от 0 до 54,5 м.

Ключевые слова: Краснодарское водохранилище, переформирование берегов, абразия, лидарная съемка, цифровая модель рельефа, объем переработки

Введение

Краснодарское водохранилище площадью 400 км² (эксплуатационная характеристика), являясь водохранилищем комплексного использования, предназначено для срезки пиков паводков с целью предотвращения наводнения на территории площадью 600 тыс. га, а также обеспечения водой оросительных систем на площади около 215 тыс. га. Внимание к состоянию водохранилища объясняется, с одной стороны, его ключевой ролью в обеспечении устойчивой эксплуатации ирригационной системы Краснодарского края, а с другой стороны, – активной трансформацией водоёма.

Трансформация водоема в целом, перестройка донного рельефа, объемы и скорость заиления, а также сопровождающие заиление процессы описаны в публикациях [2, 3, 5–10, 13]; однако о переформировании берегов водохранилища известно явно недостаточно [1, 4]. Помимо заиления, вызванного поступлением в Краснодарское водохранилище твердого стока рек [6, 9], важным фактором изменения морфометрических характеристик и функциональных свойств искусственного водоема является переформирование его берегов. Отступление берегов, подверженных абразии, увеличивает площадь зеркала водоема, а отложение в чаше водоема продуктов разрушения уменьшает его полезный объем. С 1973 г. наиболее интенсивно переформированию подвергался правый берег водохранилища от х. Ленина до ст. Васюринской.

Так, максимальное отступление бровки правого берега в 1973–1992 гг. составило: на верхнем участке – 30 м, среднем – 41 м, нижнем – 60 м [11]. Вклад переформирования берегов в трансформацию чаши водохранилища не исследован.

На основе подходов, представленных в [12], выделены типы берегов Краснодарского водохранилища: 1) укрепленный, 2) активный клиф (область преимущественно волнового морфолитогенеза), 3) отмирающий клиф (переходная область), 4) отмерший клиф (область преимущественно флювиального морфолитогенеза) [5]. О каких-либо инструментальных измерениях переформирования берегов после 1992 г. нам не известно. Отсюда невозможно корректно определить вклад продуктов разрушения берегов (абразия, подмыв и сопутствующие процессы переработки) в перестройку чаши и заиление водохранилища.

Материалы и методы исследования

Классическая методика наблюдений за движением берегового уступа и отмели базируется на регулярной нивелировке и заложении реперов. Нами предлагается использование для мониторинга состояния берегов лидарную съемку в двух исполнениях: воздушное лазерное сканирование – ВЛС (съемка проведена 13 августа 2019 г.) и мобильное лазерное сканирование – МЛС (15 апреля 2023 г.). Тестовые участки (рис. 1а) выбраны в пределах различных областей морфолитогенеза и, следовательно, соответствуют различным типам берегов: участки 1 и 2 – активному клифу, участок 3 – отмирающему клифу. Помимо этого, два первых участка имеют разные экспозиции берегов, что отражает участие волнового фактора и воздействия течений в динамике берегов.

Технология лазерного сканирования заключается в пространственной привязке облака массива точек лазерных отражений (ТЛО), что осуществляется на базе данных основных компонентов системы сканирования: сенсора (LiDAR) с функцией измерения расстояний; ГНСС-приемника с функцией регистрации данных спутниковых наблюдений для расчета пространственного положения; инерциального блока с функцией записи угловых и линейных ускорений для измерения пространственной ориентации. Такой набор исходных данных позволяет однозначно определить координаты ТЛО путем решения прямой геодезической задачи. Для проведения мобильного лазерного сканирования использована система АГМ-МС1, основные характеристики которой приведены в таблице 1. Система АГМ-МС1 с внешней ГНСС-антенной смонтирована на рюкзак (рис. 1б).



Рис. 1. Схема размещения пробных участков съемки (а);
система мобильного лазерного сканирования (б)

Таблица 1

Система лазерного сканирования АГМ-МС1. Основные характеристики

Характеристика	Значение
Частота сканирования, кГц	600
Максимальная дальность измерения, м	200
Угол поля зрения, °	360
Частота вращения сканирующего зеркала, Гц	20
Точность определения дальности, см	3
Точность определения координат, см	до 5
Температура использования	-10...+50 °С

На первом этапе полевых работ проведена рекогносцировка для оценки возможности проложения траекторий без препятствий для сигнала ГНСС таким

образом, чтобы коридор сканирования захватывал бровку берегового уступа. Траектория обрабатывалась как в прямом, так и в обратном направлении. Следующий этап представлен комбинированным решением территории – реализацией последовательности точек с рассчитанными координатами и углами ориентации, полученными после обработки данных инерциального блока. Решение обеспечивают установленные в системе сканирования ГНСС-приемник и инерциальная навигационная система совместно с данными наземного ГНСС-приемника (базовой станции). Дискретность траектории определяется частотой записи инерциальной навигационной системы (для АГМ-МС1 – 500 Гц). Расчет траектории выполнен в ПО AGM PosWorks Web. Финальный этап комплекса действий с данными лазерного сканирования – получение координированного облака ТЛО. В программно-аппаратном комплексе АГМ-МС1 эту задачу выполняет ПО AGM ScanWorks. На рисунке 2 представлены примеры облаков ТЛО, раскрашенных в соответствии с атрибутами абсолютной высоты (рис. 2 а, б) и интенсивности отраженного сигнала (рис. 2 в, г).

Наборы разновременных ТЛО после классификации и выделения класса «земля» позволяют построить высокоточные ЦМР с последующим расчетом фактического линейного смещения бровки берегового уступа и объемов переработки берегов. На рисунке 3 показаны облака ТЛО, полученные методами ВЛС и МЛС, имеющие очевидную разность в плотности точек. Для постобработки и классификации облаков ТЛО использован функционал ПО TerraSolid. Расчёты объемов и линейных смещений выполнены в ПО ESRI ArcGIS Desktop.

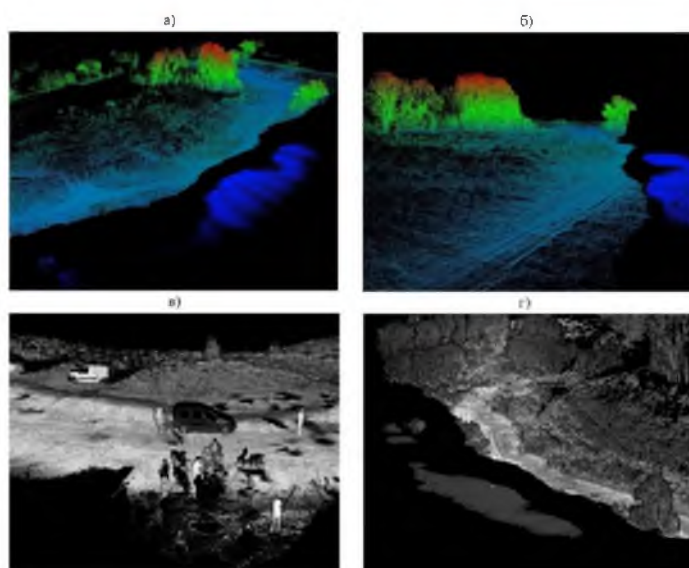


Рис. 2. Примеры облаков точек лазерного отражения по данным лидарной съемки тестовых участков берега Краснодарского водохранилища. 15 апреля 2023 г.

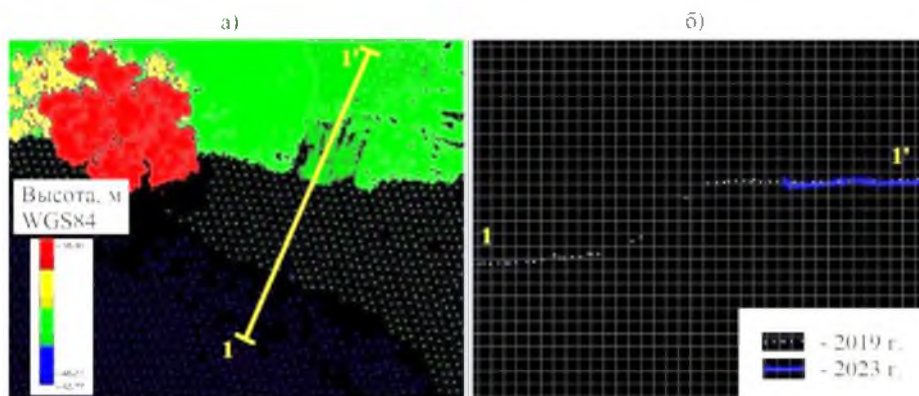


Рис. 3. Облака ТЛО, полученные в результате ВЛС (2019 г) и МЛС (2023 г). Вид сверху (а); поперечный профиль по линии 1-1' (б). Сторона регулярной сетки – 1 м

Результаты

В пределах трех тестовых участков по данным разности ЦМР 2019 г. и 2023 г. выделено 58 отдельных блоков. Под блоком понимается трехмерная отдельность, заключенная между двумя ЦМР при заданном расстоянии между бровками 2019 г. и 2023 г., превышающем 0,5 м. Последняя величина обусловлена плотностью точек исходного облака ТЛО, полученного при ВЛС (2–4 точки/м²). Для каждой такой отдельности рассчитаны площадь, объем и объем переработки на один погонный метр длины уступа (табл. 2). Интенсивность и направления переработки берегов за исследуемый период отражают построенные карты (рис. 4).

Таблица 2
Расчетные характеристики переработки берегов на тестовых участках (фрагмент)

Номер блока	Площадь, м²	Объем, м³	Объем переработки на погонный метр, м³/м	Смещение бровки, м	
				среднее	максимальное
Участок 1, длина – 264.01 м					
1	4269.50	26369.60	99.88	16.17	54.53
Участок 2, длина – 718.85 м					
2	880.29	5439.04	15.74	2.55	7.44
3	118.77	940.57	20.00	2.53	5.79
4	8.60	55.45	4.92	0.76	2.04
5	403.72	2653.07	16.54	2.52	5.66
6	44.54	276.13	7.72	1.25	3.12
7	258.14	1419.87	11.94	2.17	5.33
Всего для участка	1714.07	10784.13	-	-	7.44

Среднее для участка	-	-	15.91	2.38	-
Всего для трех участков	-	44847.90	12.40	2.29	54.53

Наибольшей интенсивностью переработки, как видим (табл. 2, рис. 4), характеризуется участок 1. Тело переработки вдоль всего участка непрерывно, не разделяется на блоки, имея ширину от 8 до 54,5 м. Участку 2, разделенному на 6 отдельных блоков, присущи меньшие величины объемов переработки (табл. 2, рис. 4). Оба участка расположены в пределах области преимущественно волнового морфолитогенеза, формирующего активный клиф, однако имеют разную экспозицию (северо-восточную и юго-западную соответственно). По нашему мнению, именно особенностями циркуляции водных масс обусловлена выявленная разность в интенсивности переработки берегов рассматриваемых участков.

Участок 3, находясь в переходной области морфолитогенеза, характеризуется большой фрагментарностью и имеет наименьшие из всех участков объемы переработки берегов. На значительном его протяжении величина линейного смещения бровок вглубь суши за период 2019-2023 гг. не превышает 0,5 м.

Заключение

По результатам повторных лидарных съемок берегов Краснодарского водохранилища в пределах различных областей морфолитогенеза рассчитаны объемы и площади переработки берегов, а также величины линейных смещений бровок береговых откосов за период 2019–2023 гг. Общий объем переработки берегов для трех участков (суммарная длина 3,21 км) составил 44,8 тыс. м³, площадь – 7329 м². Наибольшей интенсивностью переработки в настоящее время характеризуются активные клифы в области волнового морфолитогенеза с северо-восточной экспозицией. Смещение бровки склона в сторону суши изменялось в пределах 0–54,5 м при среднем значении за анализируемый период 2,3 м. Предложенные методы съемки и анализа выводят на новый технологический уровень мониторинг водохранилища. Точные оценки объемов заиления и изменения гидрографических характеристик водохранилища необходимы для разработки обоснованной долгосрочной стратегии расходования водных ресурсов в семиаридном регионе России.

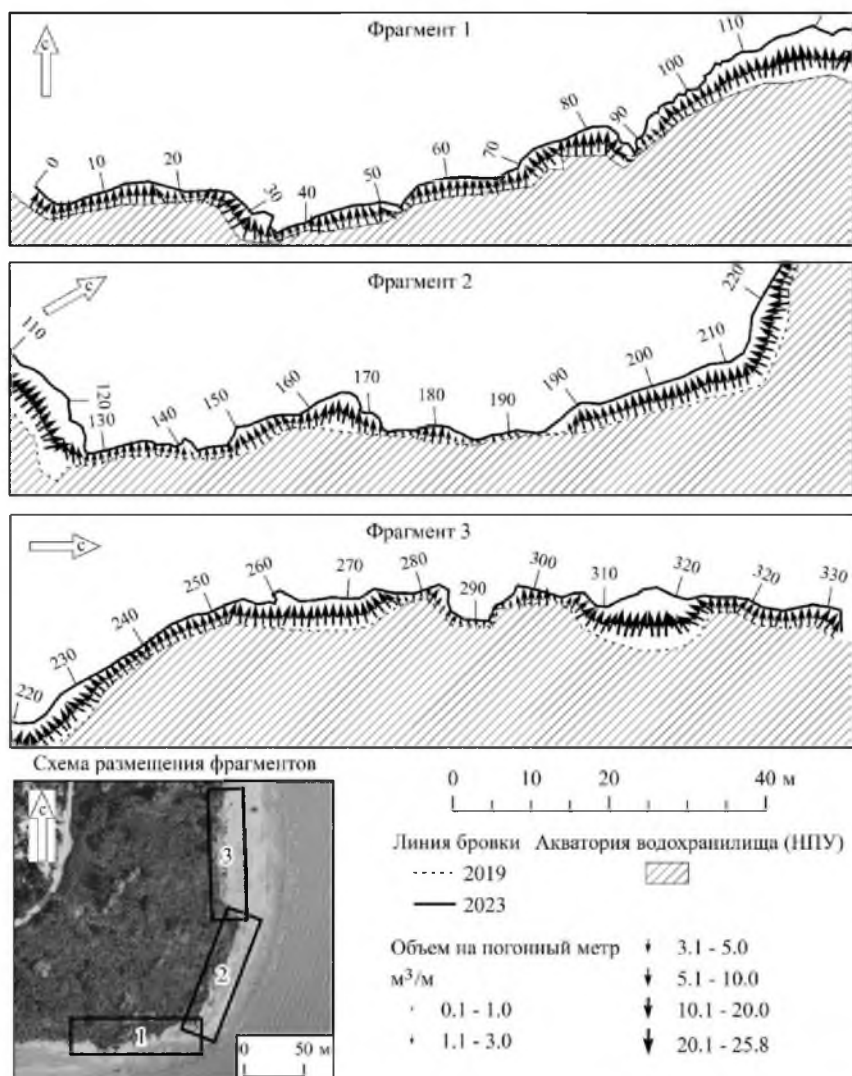


Рис. 4. Интенсивность переработки берегов Краснодарского водохранилища в пределах участка 2 за период 2019-2023 гг.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-27-20008.

Литература

1. Курбатова И.Е. Космический мониторинг береговой зоны Краснодарского водохранилища // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 523–528.
2. Курбатова И.Е. Мониторинг трансформации Краснодарского водохранилища с использованием спутниковых данных высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 42–53.

3. Курбатова И.Е. Спутниковый мониторинг экологической катастрофы на Краснодарском водохранилище летом 2020 г. и ее природные и антропогенные предпосылки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 5. С. 328–334.
4. Лагута А.А., Погорелов А.В. О переработке берегов Краснодарского водохранилища // Региональные географические исследования // Сб. науч. трудов. Вып. 12. КубГУ. 2019. С. 23–30.
5. Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности дельтоформирования рек, впадающих в долинное водохранилище (на примере Краснодарского водохранилища) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №3(50). С. 119–134. Doi 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134.
6. Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности заиления Краснодарского водохранилища. Опыт оценки по данным батиметрических съемок // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 54–66. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-4-54-56.
7. Лагута А.А., Погорелов А.В. Пространственно-временная изменчивость концентрации хлорофилла «а» в Краснодарском водохранилище по данным спутниковых снимков // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 67–84. DOI: 10.35567/1999-4508-202.
8. Литовка Ф.С., Бандурин М.А., Ванжа В.В. Пути решения проблемы заиления Краснодарского водохранилища для рационального использования ресурсов пойменных территорий // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2019. № 7.
9. Погорелов А.В., Лагута А.А., Киселёв Е.Н. Новые сведения о заилении Краснодарского водохранилища по данным батиметрической съёмки // Географический вестник = Geographical bulletin. 2022. № 2(61). С. 166–179. doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-166-179.
10. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Курносова А.С. Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №1 (40). С. 130–137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137
11. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. ПИИ «Кубаньводпроект». Краснодар, 2008. 158 с.
12. Хабидов А.Ш., Кусковский В.С., Жиндарев Л.А., Хейне Д.М. и др. Берега морей и внутренних водоемов: Актуальные проблемы геологии, геоморфологии и динамики. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. 272 с.
13. Pogorelov Anatoly, Laguta Andrey, Kiselev Evgeny, Lipilin Dmitry. Features of the long-term transformation of the Krasnodar reservoir, near the mouth of the Kuban river, Russia. Journal of Geographical Sciences. 2021. V. 31. P. 1895–1904. DOI: 10.1007/s11442-021-1928-7.

ОРХИДЕИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ЗАКАВКАЗЬЯ

© С.А. Литвинская
КубГУ, Краснодар
ЮФУ, Ростов-на-Дону

Аннотация. Приведена флора семейства Орхидных (Orchidaceae), произрастающих в Северо-Западном Закавказье в количестве 33 видов, из которых охране подлежит 25 видов, 19 видов охраняется на уровне Российской Федерации. Показаны места произрастания и категории охраны редких видов семейства Орхидных.

Ключевые слова: Северо-Западное Закавказье, редкая флора, семейство Orchidaceae, охрана

Экологическая обстановка региона такова, что необходимо обратить серьезное внимание на сохранение и бережное отношение к растительному и животному миру, природным ландшафтам Черноморского побережья Кавказа. Мы живем уже в практически измененной среде. Психологически человек воспринимает измененный окружающий мир как естественное природное сообщество и при этом на эмоциональном уровне происходит обезличивание объективного мира природы. Сохранение естественных природных ландшафтов, растительного мира – необходимое условие существования человека в широком понимании и созданного им трансформированной природы.

Природоохранная значимость территории Северо-Западного Закавказья высочайшая. Здесь представлено высокое биоразнообразие, значимое на мировом и российском уровне, это места концентрации реликтовых лесных экосистем субсредиземноморских горных хвойных и смешанных лесов, места концентрации видов растений, занесенных в Red list Caucasus, видов растений, занесенных в Красный список МСОП, Красный Европейский список, это лесные территории, являющиеся потенциальными территориями особого природоохранного значения, экосистемы, где важную роль в структуре биоценозов играют виды, занесенные в Красную книгу РФ, Красную книгу Краснодарского края [Красная книга..., 2008; Red list Caucasus..., 2013; Красная книга ..., 2017; Литвинская, 1986; 2019].

По современным предварительным данным флора Краснодарского края насчитывает около 3400–3500 видов сосудистых растений, только на Юге Российского Причерноморья произрастает 2065 видов растений, что свидетельствует о высоком флористическом богатстве. В России нет такого региона, где бы на столь небольшой территории произрастало такое флористическое разнообразие [Литвинская, 2023].

В экосистемах Северо-Западного Закавказья произрастает 136 видов сосудистых растений, которые имеют статус редких и исчезающих видов, что составляет 35% от всей охраняемой флоры Краснодарского края. Это очень высокий показатель, если учесть, что площадь флористического округа составляет только 2,6% от площади края. Наиболее значимы три пути сохранения живой природы: организация репрезентативной системы особо охраняемых территорий (ООПТ), учреждение Красных книг, экологическое просвещение и воспитание, формирование экологической культуры. Экосистемы Северо-Западного Закавказья полностью обеспечены охраной с

точки зрения системы ООПТ: заповедник «Уриш», природный парк «Маркотх», заказники «Уришский», «Абраусский» и др. [Литвинская, 2023].

Виды, включенные в Красные книги, – природоохранное богатство экосистем Северо-Западного Закавказья. Многие виды имеют средиземноморский тип ареала или являются локальными эндемиками (*Dianthus acantholimonoides*, *Hesperis steveniana*, *Potentilla sphenophylla*, *Campanula komarovii*, *Veronica filifolia*, *Scutellaria orientalis* subsp. *novorossica*, *Thymus helendzhicus*, *Thymus markhotensis*). Среди редких видов немало декоративных растений (*Psephellus declinatus*, *Centaurea tanaiticus*, *Lonicera etrusca*, *Salvia ringens*, *Linum tauricum*, *Astragalus utriger*, *Astragalus subuliformis*, *Pistacia atlantica*, *Hedysarum candidum*, *Leucojum aestivum*, *Tulipa suaveolens*, *Amygdalus nana*, *Paeonia tenuifolia* и мн. др.), лекарственных (*Helichrysum arenarium*, *Poa cynosuroides* sarmatiense), есть и ядовитые (*Taxus baccata*, *Helleborus caucasicus*, *Glaucium flavum*), пищевые (*Vitex agnus-castus*, *Staphylea pinnata*). Все они составляют природоохранное средиземноморской флористическое ядро, придающее редкую специфику этой части Черноморского побережья Кавказа.

Остановимся на одной группе растений, которые по декоративности и природоохранной значимости не имеют себе равных в растительном мире. Это – орхидеи. В Северо-Западном Закавказье произрастает 33 вида семейства Орхидных (Orchidaceae), это более половины всех орхидей, зарегистрированных во всех экосистемах Краснодарского края. Охране подлежит 25 видов (таблица 1), из которых на уровне Российской Федерации охраняется 19 видов (в таблице *). В Красные книги не вошли *Neottinea nidus-avis* (L.) Rich., *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Bess), *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Epipactis microphylla* (Ehrh.) Sw., *Epipactis persica* (Soo) Hausskn. ex Nannf., но это не значит, что их не нужно сохранить.

Таблица 1
Редкие виды семейства Орхидные Северо-Западного Закавказья

Русское название	Латинское название	Место произрастания	Категория охраны
Анакамптис пирамидальный*	<i>Anacamptis pyramidalis</i> (L.) Rich.*	Сосновая щель (Дооб), первая щель от Голубой бухты, мыс Толстый – с. Дивноморское, хут. Джанхот, мыс Пенай, с. Архипо-Осиповка, ручей Гебиус у Геленджика, хут. Бетта	3 УВ
Анакамптис изящный подвид Дельзи* (ятрышник болотный)	<i>Anacamptis laxiflora</i> subsp. <i>dielsii</i> (Soo) H. Kreyzschmar*	Урочище Тонкий мыс	2 ИС
Анакамптис кавказский* (ятрышник раскрашенный)	<i>Anacamptis morio</i> subsp. <i>caucasica</i> (C. Koch) H. Kreyzschmar *	Урочище Толстый мыс, окр. с. Архипо-Осиповка	2 ИС
Пыльцеголовник пышноцветущий* (п. клубучковый)	<i>C. floribunda</i> Woronow (<i>Cephalanthera</i>	хр. Туапхат, Сосновая щель, около Дообского маяка, между мысом Дооб	1КС

	<i>cuculata</i> Boiss. et Heldr.)*	и щелью Сосновая, щель Вторая; между мысом Толстый и с. Дивноморское, окр. хут. Джанхот, между хут. Джанхот и скалой «Парус» высота «324,4 м»; с. Прасковеевка, левый склон щели Красная окр. хут. Бетта, между рр. Вулан и Бжид, Назарова щель, с. Архипо-Осиповка	
Пыльцеголовник крупноцветковый*	<i>Cephalanthera damasonium</i> (Mill.) Druce*	Сосновая щель в окр. мыса Дооб, с. Прасковеевка, гора Крестовая, окр. хут. Бетта, с. Архипо-Осиповка	3 УВ
Пыльцеголовник длиннолистный*	<i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch*	оз. Бездонное, первая щель от Голубой бухты, Прасковеевская щель, Пшадская щель, с. Возрождение, р. Жене, Михайловский пер. гора Греческая, окр. хут. Бетта, с. Архипо-Осиповка, Назарова щель, с. Текос	3 УВ
Пыльцеголовник красный*	<i>Cephalanthera rubra</i> (L.) Rich.*	Сосновая щель (Дооб), мыс Дооб, оз. Бездонное, хр. Маркотх, хут. Бетта, хут. Джанхот, горы Чанхот, Иваненкова гора, Греческая близ Михайловский перевал	3 УВ
Пальцекоренник желтоватый	<i>Dactylorhiza flavescens</i> (C. Koch) Holub	хр. Маркотх у Геленджика, гора Казачья, щель Нежная у с. Возрождение, р. Догуаб у Михайловского перевал	3 УВ
Дремлик уплотненный	<i>Epipactis condensata</i> Boiss. ex D. P. Young	хр. Маркотх, южные отроги горы Дооб, между щелями Христова и Сосновая; Геленджик, окр. Голубой бухты, хр. Туапхат, щель Первая; гора Святой Нины юго-восточнее хут. Джанхот	1 КС
Дремлик мелколистный	<i>Epipactis microphylla</i> (Ehrh.) Sw.	безымянная гора между горами Совхозная и Безумная, северо-восточная экспозиция в верховьях щели Полихронова, у родника; окр. хут. Бетта, окр. с. Архипо-Осиповка,	2 ИС

		водораздел рр. Вулан и Бжид	
Ремнелепестник козий*	<i>Himantoglossum caprinum</i> (M. Bieb.) C. Koch*	северный склон хр. Маркотх над г. Геленджиком, хр. Маркотх, южные отроги между щелями Пенайская и Голубая, горы Совхозная и Безумная, высота «538,0 м», окр. пер. Кабардинский, хр. Туапхат, водораздел горы Дооб	2 ИС
Лимодорум недоразвитый*	<i>Limodorum abortivum</i> (L.) Sw.*	г. Геленджик, хр. Маркотх, долина р. Адерба у оз. Бездонное, окр. с. Джанхот, Прасковеевская щель, окр. с. Бетта, с. Архипо-Осиповка, водораздел рр. Вулан и Бжид	3 УВ
Тайник овальный	<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.	северный склон горы Михайловка	3 УВ
Офрис пчелоносная*	<i>Ophrys apifera</i> Huds.*	с. Борисово в окр. г. Геленджик, хр. Нескес хр. Маркотх	2 ИС
Офрис кавказская*	<i>Ophrys caucasica</i> Woronow ex Grossh.*	мыс Пенай, хр. Туапхат, гора Дооб, долина р. Мезыбь в щели Церковная	2 ИС
Офрис оводоносная*	<i>Ophrys oestriifera</i> M. Bieb*	окр. хут. Джанхот, мыс Пенай, хр. Туапхат между щелями Христова и Сосновая, щель Церковная, щель Прасковеевская	3 УВ
Ятрышник мужской*	<i>Orchis mascula</i> (L.) L.*	западный склон над г. Геленджик, гора Мельничная, мыс Пенай, хут. Джанхот; окр. с. Архипо-Осиповка, Сосновая щель, берег р. Вулан	3 УВ
Ятрышник шлемоносный*	<i>Orchis militaris</i> L.*	г. Геленджик, гора Каукова близ с. Дивноморское, гора Крестовая, хут. Джанхот, окр. с. Архипо-Осиповка	3 УВ
Ятрышник мелкоточечный*	<i>Orchis punctulata</i> Steven ex Lindl.*	г. Геленджик, гора Чанхот, с. Марьяна роща, Березовская щель близ с. Прасковеевка, мыс Дооб, мыс Пенай, с. Прасковеевка, Березовая щель, с. Архипо-Осиповка, балка Глубокая близ с.	3 УВ

		Архипо-Осиповка, Назарова щель	
Ятрышник кавказский (я. пурпурный)*	<i>Orchis purpurea</i> Huds. subsp. <i>caucasica</i> *	гора Михайловская близ Михайловского пер., окр. с. Архипо-Осиповка, Джанхот, оз. Бездонное в басс. р. Адерба, хр. Коцехур, гора Крестовая, Греческая, Чанхот	3 УВ
Ятрышник обезьяний*	<i>Orchis simia</i> Lam.*	хр. Маркотх, хр. Туапхат, мыс Пенай, Голубая дача, хут. Джанхот, Прасковеевская щель, Глубокая щель	3 УВ
Неотиния трехзубчатая (Ятрышник трехзубчатый)*	<i>Neotinea tridentata</i> (Scop.) R. M. Bateman*	хр. Маркотх, хр. Туапхат, с. Архипо-Осиповка, правый берег р. Вулан	3 УВ
Любка двулистная	<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	окр. с. Тешебс	3 УВ «
Любка зеленоцветная	<i>Platanthera chlorantha</i> (Custer) Reichenb.	с. Борисово около г. Геленджик, с. Кабардинка, гора Совхозная, Колбасина щель, Пшадская щель, с. Возрождение, гора Крестовая, с. Пшава, гора Рамзинская, Михайловский перевал	3 УВ
Стевениелла сатириовидная*	<i>Steveniella satyrioides</i> (Steven)Schlechter*	хр. Маркотх над г. Геленджик, мыс Дооб в сосняке, хут. Джанхот, Назарова щель	2 ИС

Об орхидеях Черноморского побережья написано немало, но природа Северо-Западного Закавказья все время преподносит новые сюрпризы. В окрестностях хут. Джанхот в 2017 г. описан дремлик крымский (*Epipactis krymmtanana* Kreutz), в 2018 г. найден новый вид дремлик черноморский (*E. euxina* Fateryga, Popovich et Kreutz), в окрестностях г. Геленджик – дремлик тонкогубый (*Epipactis leptochila* Godfery) [Popovich, Averyanova, Shagarov, 2020].

Орхидные растения отличаются сложной биологией развития, что является одной из причин их включения в Красные книги. В 1862 г. вышла книга великого Чарльза Дарвина «Опыление у орхидных» (*Fertilisation of Orchids*) [Дарвин, 1950]. Он был очарован орхидеями, обратил внимание на сложность строения цветков, их желание подражать насекомым. Они необыкновенно изобретательны в своем желании привлечь и обмануть насекомых-опылителей: тонкий аромат нектара, яркая окраска лепестков, сложнейшее строение венчика, даже ухищряются полностью имитировать форму тела и окраску насекомого. В биологии и экологии орхидных остается еще немало темных пятен, которые еще предстоит открыть. Орхидные – это «великая тайна эволюции».

Литература

1. *Дарвин Чарлз*. Опыление орхидей насекомыми. Перекрестное опыление и самоопыление / под ред. В.Н. Сукачева. Москва-Ленинград: Издательство АМН СССР, 1950. Т. 6. 696 с.
2. Красная книга Краснодарского края. Растения и Грибы. III издание / Ответственный редактор С.А. Литвинская. Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. 850 с.
3. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Отв. ред. Л.В. Бардунов, В.С. Новиков. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.
4. *Литвинская С.А.* Созологическая оценка редких видов семейства Орхидных на Северо-Западном Кавказе // Редкие и исчезающие виды растений и животных, флористические и фаунистические комплексы Северного Кавказа, нуждающиеся в охране: тез. докл. науч.-практ. конф. Ставрополь, 1986. С. 50–52.
5. *Литвинская С.А.* Таксономическая и биогеографическая характеристика флоры Западного Предкавказья и Западного Кавказа: Phylum MAGNOLIOPHYTA: Classis LILIOPSIDA. Монография. Москва: Наука, 2019. Т. 2(1). 560 с.
6. *Литвинская С.А.* Заповедная природа Кубани: Заповедники, заказники. Монография. Краснодар, 2023. 448 с.
7. Popovich, Anton V. Orchids of the Black Sea coast of Krasnodarsky krai (Russia): current state, new records, conservation / Anton V. Popovich, Elena A. Averyanova, Lev M. Shagarov // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. Вып. 5(1). С. 46–68.
8. Red List of the Endemic plants of the Caucasus: Armenia, Azerbaijan, Gergia, Iran, Russia and Turkey. St. Louis, U.S.A., Missouri Botanical Garden, 2013. 451 p.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПОДВОДНОЙ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

© А.Б. Лолаев^{1,2}, А.С. Бадоев^{1,3}, А.Х. Оганесян^{1,4}, Б.Ю. Дзиов^{3,4}

¹ВНЦ РАН, Владикавказ

²СОГУ им. К.Л. Хетагурова, Владикавказ

³ООО «НПО «Геоинжиниринг», Владикавказ

⁴СКГМИ (ГТУ), Владикавказ

Аннотация. Целью работы является разработка рекомендаций по проведению рекультивационных мероприятий дна озера Андреевское (Тюменская область) с максимальным снижением возможного отрицательного последствия для водных экосистем при производстве подводных гидромеханизированных работ по разработке запасов строительного песка и приведение его в состояние, пригодное для ведения рыбного хозяйства после выработки песка со дна озера с максимальным устранением негативного воздействия на ихтиофауну.

Ключевые слова: рекультивационный материал, плавучий земснаряд, пульпа, укладка, карьер, приемник-гаситель

Введение

Горнодобывающая промышленность на сегодняшний день остается одной из базовых для российской экономики. Выбор способа разработки (открытый, подземный, комбинированный, скважинный, гидромеханизированный) определяется горногеологическими, горнотехническими и экономическими условиями. При гидромеханизированном способе добыча материала осуществляется со дна водоёмов, для производства работ используются земснаряды или плавучие установки.

Гидромеханизированная добыча материала влияет на гидрологические и гидрохимические характеристики водоема, приводя к их изменениям. Поэтому уже на стадии проектирования гидромеханизированных работ важно учесть и максимально снизить возможные отрицательные последствия для водных экосистем [Оганесян А.Х., и др. 2022].

Объект исследования

Участок недр «Озеро Андреевское (участки № 1 и № 2)» расположен в 18 км к юго-востоку от г. Тюмени, в пределах акватории озера Андреевское, на месторождении строительных песков «Озеро Андреевское» (рис. 1).

В орографическом отношении рассматриваемый район представляет всхолмленную равнину с абсолютными отметками от 35 м (вблизи водоемов) до 80 м (на водоразделах). Равнинная, спокойная поверхность осложнена лишь уступами, образованными руслами рек Тура и Пышма, а также элементами рельефа, которые образовались в результате размыва почвы временными потоками. Месторождение приурочено к донным осадкам озера Андреевского. Это наиболее крупный водоем в районе. Площадь зеркала озера составляет 20,5 км². В озеро Андреевское впадает небольшая река Язевка и много ручьев,

берущих свое начало из торфяного болота, расположенного западнее озера. Из озера вытекает река Дуван, впадающая в реку Пышму. Основной водной артерией района является река Тура [ТР 38.32.39-001-12961319-2022].

Обзорная схема участка изысканий представлена на рисунке 1. Абсолютные отметки поверхности земли на объекте изыскания изменяются от 74,68 м до 52,31 м. Перепад высот составляет 22,37 м.



- Участок недр "Озеро Андреевское"
- Промплощадка карьера "Озеро Андреевское"

Рис. 1. Обзорная карта участка недр «Озеро Андреевское» (Участки №1 и №2)

Участок недр сложен полевошпатово-кварцевыми песками, являющимися аллювиальными отложениями третьей надпойменной террасы верхнелепестового возраста, залегающими на размывной поверхности куртамышской свиты [ТР 38.32.39-002-12961319-2022].

По своим природным факторам залежь участка недр относится ко II группе, как крупная пластообразная, с невыдержанным строением и мощностью полезной толщи, и изменчивым качеством песка [ГОСТ 25100-2020, СП 11-105-97].

Методика и материалы

В процессе разработки карьера, в результате эксплуатации технологического оборудования, происходит выделение твердых, жидких и газообразных веществ и соединений, способных оказать воздействие на окружающую среду.

Основными источниками загрязнения являются:

- служебные, бытовые здания, землесосный снаряд – по хозяйственно-бытовым стокам, твердым бытовым отходам и сухому мусору;
- технологическое оборудование, дизель – электростанция, автомобильный транспорт, служебно-производственные здания и сооружения – по газообразным веществам, выбрасываемым в атмосферу;
- землесосный снаряд – возможность загрязнения акватории карьера нефтепродуктами;
- технологическое оборудование (трубоукладчик, бульдозер, экскаватор) – возможность загрязнения почвы нефтепродуктами, повреждение почвенно-растительного слоя [СТО НОСТРОЙ 2.3.140-2013].

Воздействие на водную среду проявляется при проведении строительно-монтажных работ в акватории водоемов и в непосредственной близости от них. Как отмечалось, значительный объем работ будет осуществляться непосредственно в акватории оз. Андреевское. Наиболее существенное влияние на ихтиофауну и других гидробионтов будет оказываться гидромеханизированными работами, которые по настоящему проекту сопровождаются забором воды и грунта, а также созданием зоны повышенной мутности. Взвешенные вещества изменяют физические свойства воды (прозрачность), состав растворенных органических и минеральных компонентов, а также газовый режим и окислительно–восстановительные процессы отдельных участков водного объекта. Это способствует изменению электропроводности, оптических свойств воды, ухудшению условий дыхания гидробионтов, механическому повреждению их покровов и гибели ряда видов, а также нарушению условий обитания ихтиофауны [№7-ФЗ, 2002; №96-ФЗ, 1999].

В результате гидромеханизированной разработки грунта в акватории озера возможно следующее отрицательное воздействие на ихтиофауну:

- изменение гидрологического и гидрохимического режима;
- повреждение дна озера;
- забор и взмучивание воды во время проведения гидромеханизированных работ;
- загрязнение водной среды;
- загрязнение водоема нефтепродуктами и бытовыми стоками.
- снижение кормовой базы рыб;
- ухудшение условий обитания рыб удалением водной растительности и созданием зоны повышенной мутности;
- ухудшение условий зимовки рыб;
- ухудшение условий воспроизводства рыб.

В результате дноуглубительных работ может резко измениться гидрохимический режим озер. Как показали результаты предшествующих мониторинговых исследований за восстановлением оз. Андреевского после добычи песчаного грунта, в местах глубины до 15–20 м образовалась устойчивая

сероводородная (мертвая) зона из-за отсутствия перемешивания водных масс. Углубленная зона озера представляет своеобразный «лунный ландшафт» в виде катеров из бугров и ям. С этих бугров в большом количестве в углубления стекает ил, на который обваливается грунт: образуется слоистость из песка и ила с высоким содержанием органического вещества, что приводит к образованию метана и сероводорода. Поэтому там отмечается дефицит кислорода и образуется мертвая зона.

Указанные отрицательные для водной фауны факторы необходимо учитывать, соблюдая при производстве строительных работ рыбоохранные мероприятия.

Общая площадь, планируемая к отработке – 2960,0 тыс. м². Площадь северной части – 1545,0 тыс. м², центральной части – 1251,0 тыс. м², южной части – 164,0 тыс. м².

Был выполнен подбор состава рекультивационного материала и объемов его укладки. Применяемое сырьё не должно было оказывать вредное воздействие на организм человека и окружающую среду во всех предусмотренных условиях эксплуатации [СП 11-101-95].

В качестве сырья используется материал, образующийся при добыче песка для строительных работ. Продукт соответствует требованиям технических условий СанПин 2.1.3684 и изготавливается по технологической документации (регламенту), утвержденной в установленном порядке [СанПин 2.1.3684-21].

Продукт представляет собой смесь песка и вскрышных пород [ТУ38.32.39-001-12961319-2022].

Технологические линии производства, хранения, применения Рекультиванта должны соответствовать требованиям безопасности настоящих технических условий и документам изготовителя (технологической инструкции и рецептуре) на конкретные наименования, с соблюдением требований, установленных нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Изготовление Рекультиванта должно осуществляться средствами, обеспечивающими качественное проведение работ, контроль и испытания в соответствии с технологической документацией и техническими условиями [ТУ38.32.39-001-12961319-2022].

На карьере предусматривается следующая схема производства горных работ:

- производство горнокапитальных и горноподготовительных работ (монтаж магистральных пульпопроводов);
- гидромеханизированная разработка рекультивационного материала из технологического отстойника с последующей транспортировкой по напорному пульпопроводу;
- укладка рекультивационного материала.
- Технология укладки рекультивационного материала определяется горнотехническими условиями карьера:
- укладка рекультивационного материала в акваторию озера подразумевает производство рекультивационных работ только методом гидромеханизации;
- отдаленностью технологического отстойника.

Соблюдение предусмотренных проектом природоохранных мероприятий значительно снижает воздействие планируемых работ по добыче строительного

песка на озеро Андреевское. Однако полностью исключить его нельзя, т.к. работы планируется выполнять в акватории озера.

Для исключения взмучивания донных отложений в воде при укладке рекультивационного материала в карьер его следует намывать через сосредоточенный выпуск из торца пульпопровода, при этом интенсивность намыва не ограничивается.

Для обеспечения сосредоточенной вертикальной укладки рекультивационного материала к торцу пульпопровода присоединяется устройство сбора пульпы и ее укладки на дно карьера – приемник -гаситель.

Конструкция приемника-гасителя обеспечивает снижение скорости движения пульпы на выходе из торца пульпопровода, изменение направления движения на вертикальное, равномерное осаждение материала по дну карты намыва.

Приемник-гаситель располагается на настиле из ПВХ, расположенном на двух понтонах, и перемещается по поверхности озера с помощью буксировочного катера [Оганесян А.Х. и др., 2022].

Расстояние от выпуска приемника-гасителя до дна принимается не менее 2 м. При большей глубине к выпуску приемника-гасителя присоединяется патрубок, сшитый из нефилтующего геотекстиля или брезента. Данный патрубок может иметь форму трубы или колокола. Для поддержания заданной формы и обеспечения нахождения патрубка в вертикальном положении, в него вшиваются металлические кольца. Для изменения глубины выпуска пульпы в озеро к нижнему металлическому кольцу крепятся металлические цепи. При подъеме цепей с помощью ручной лебедки патрубок складывается в виде гофры, и глубина выброса пульпы уменьшается и наоборот

Предусматривается приведения дна озера в состояние, пригодное для ведения рыбного хозяйства. Выполаживание откосов борта карьера в соотношении не менее чем 1:2, с целью предотвращения образования «мертвых зон» (скопления метана и сероводорода).

Исходя из этих данных разбивка на карты технологического отстойника представлена на рисунке 2, а расчет объемов и времени разработки рекультивационного материала из технологического отстойника представлен в таблице 1.

Рекультивационный материал через пульпопроводы подается и укладывается в выработанное пространство карьера на участках №1 и №2.

Контроль за рельефом дна озера будет осуществляться с помощью цифрового эхолота и приемника, установленного на катере.

Исходя из данных о первоначальной средней глубине озера – 1,5 м и последующей добыче песка – укладка рекультивационного материала планируется таким образом, чтобы обеспечить глубину озера в 3 м.

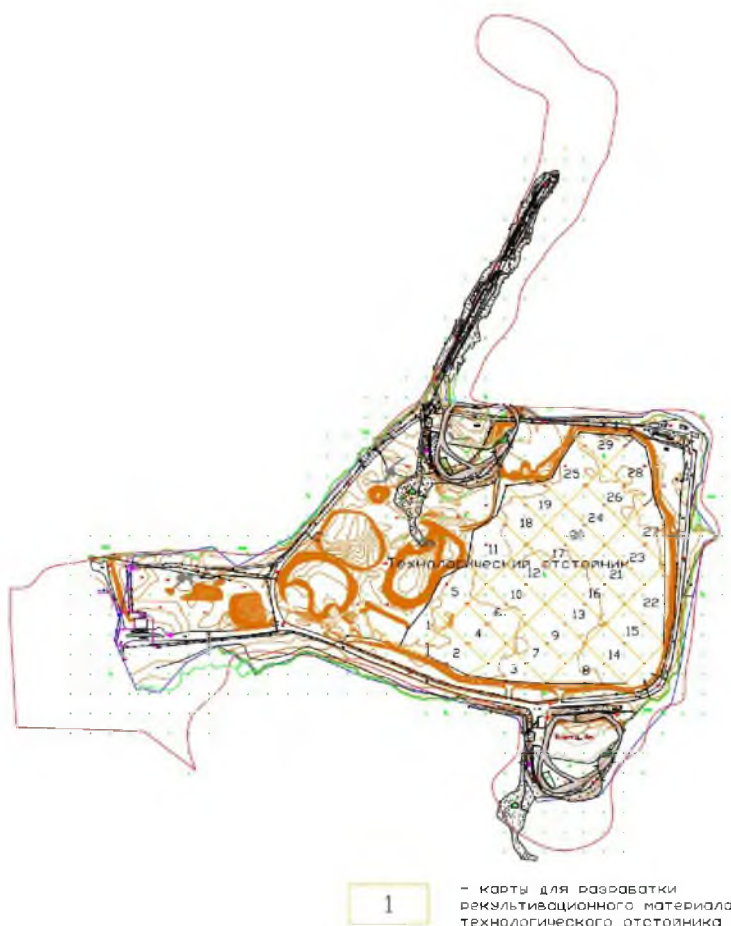


Рис. 2. Разбивка на карты технологического отстойника

При выполнении всех этих мероприятий на дне озера не будут образовываться скопления сероводорода, а дно озера будет пригодно для обитания различных живых организмов.

Согласно физико-механических свойств полезной толщи временный (рабочий) угол откоса борта карьера составит 45 градусов и с течением времени выполаживается до угла естественного откоса 23 градуса, что соответствует заложению откоса борта карьера 1:2,5. Проведение дополнительных работ по выполаживанию бортов карьера не потребуется.

Процесс непрерывной разработки рекультивационного материала осуществляется путем согласованных поперечных и поступательных перемещений (папильонирования) земснаряда с помощью папильонажных лебедок, обеспечивающих постоянный контакт грунтозаборного устройства с забоем.

Таблица 1

Расчет объемов и времени разработки рекультивационного материала из
технологического отстойника

№ карты отстойника	Площадь , м2	Общая глубина , м	Толщина слоя, м	Общий объем карты, м3	Объем одного слоя, м3	Время на слой, часов	Время на один слой, дни	Общее время, часов	Общее время , дни
1	7510,29	15	5	112654,35	37551,45	203,9	8,5	611,6	25,5
2	9984,26	15	5	149763,90	49921,30	271,0	11,3	813,1	33,9
3	8958,68	15	5	134380,20	44793,40	243,2	10,1	729,5	30,4
4	10000,01	15	5	150000,15	50000,05	271,4	11,3	814,3	33,9
5	11610,14	15	5	174152,10	58050,70	315,2	13,1	945,5	39,4
6	9999,91	15	5	149998,65	49999,55	271,4	11,3	814,3	33,9
7	10000,03	15	5	150000,45	50000,15	271,4	11,3	814,3	33,9
8	10000,03	15	5	150000,45	50000,15	271,4	11,3	814,3	33,9
9	9999,84	15	5	149997,60	49999,20	271,4	11,3	814,3	33,9
10	9999,97	15	5	149999,55	49999,85	271,4	11,3	814,3	33,9
11	14774,79	15	5	221621,85	73873,95	401,1	16,7	1203,2	50,1
12	9999,87	15	5	149998,05	49999,35	271,4	11,3	814,3	33,9
13	9999,75	15	5	149996,25	49998,75	271,4	11,3	814,3	33,9
14	10000,15	15	5	150002,25	50000,75	271,4	11,3	814,3	33,9
15	9863,17	15	5	147947,55	49315,85	267,7	11,2	803,2	33,5
16	9999,62	15	5	149994,30	49998,10	271,4	11,3	814,3	33,9
17	10000,25	15	5	150003,75	50001,25	271,5	11,3	814,4	33,9
18	8750,41	15	5	131256,15	43752,05	237,5	9,9	712,6	29,7
19	8035,44	15	5	120531,60	40177,20	218,1	9,1	654,4	27,3
20	10000,25	15	5	150003,75	50001,25	271,5	11,3	814,4	33,9
21	10000,00	15	5	150000,00	50000,00	271,4	11,3	814,3	33,9
22	9863,02	15	5	147945,30	49315,10	267,7	11,2	803,2	33,5
23	9999,99	15	5	149999,85	49999,95	271,4	11,3	814,3	33,9
24	9993,76	15	5	149906,40	49968,80	271,3	11,3	813,8	33,9
25	12407,78	15	5	186116,70	62038,90	336,8	14,0	1010,4	42,1
26	9999,75	15	5	149996,25	49998,75	271,4	11,3	814,3	33,9
27	8640,47	15	5	129607,05	43202,35	234,5	9,8	703,6	29,3
28	11208,35	15	5	168125,25	56041,75	304,2	12,7	912,7	38,0
29	6475,22	15	5	97128,30	32376,10	175,8	7,3	527,3	22,0

ИТОГО	288075,2 0		4321128,0 0	1440376,0 0	7819, 6	325,8 9	23458, 9	977,5

- Для уменьшения воздействия на окружающую среду при ведении горнокапитальных и горноподготовительных работ предусматриваются следующие мероприятия:
- работы выполняются строго в пределах отведенных границ;
- складирование строительных материалов и конструкций осуществляется на отведенной площадке;
- хозяйственно-бытовые стоки во время работ собираются в выгребные емкости и вывозятся спецавтотранспортом на очистные сооружения по договору со специализированной организацией;
- при заправке техники применяются защитные поддоны, исключающие пролив;
- для исключения загрязнения территории отходами производства предусмотрена своевременная уборка мусора и отходов, накопление отходов в специальных местах;
- по окончании строительно-монтажных работ все отходы подлежат вывозу с территории площадки и сдаче на полигон ТБО или в специализированные организации по договорам;
- при обращении с отходами соблюдаются правила пожарной безопасности, сжигание отходов не допускается.

Выводы

На основании проведенных экспериментов и расчетов можно сделать следующие выводы:

- при выравнивании ложа озера и проведении рекультивационных работ произведен учет всех отрицательных для водной фауны факторов с соблюдением при производстве строительных работ рыбоохранных мероприятий;
- укладка рекультивационного материала производится с минимизацией экологического, микробиологического и физического загрязнений при проведении строительно-монтажных работ в акватории водоемов и в непосредственной близости от них;
- выполаживание откосов способствует устранению «мертвых зон» на дне озера. Дно озера будет пригодно для обитания различных живых организмов, поскольку будет исключено скопление сероводорода;
- благодаря технологическим решениям рекультивации дна озера Андреевское экологический ущерб значительно снизится;
- данный проект успешно внедрён и используется в технологическом процессе гидромеханизированной разработке полезных ископаемых дна озера Андреевское.

Литература

1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2020. (Взамен: ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация (с поправкой). Москва: Стандартинформ, 2018.)

2. *Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Тваури И.В., Дзиов Б.Ю., Лолаев А.Б.* Технологические аспекты укладки рекультивационного материала в выработанное пространство карьера // Сборник трудов XIII Всероссийской Школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников «Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России», Геленджик, 2022.
3. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.
4. СП 11-101-95 «Основные положения о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы».
5. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.
6. СТО НОСТРОЙ 2.3.140-2013 Мелиоративные и водохозяйственные системы и сооружения, 2013.
7. ТР 38.32.39-001-12961319-2022 Приготовление рекультивационного материала: Технологический регламент / ООО «НПО «Геоинжиниринг». Владикавказ, 2022. 59 с.
8. ТР 38.32.39-002-12961319-2022 Укладка рекультивационного материала: Технологический регламент / ООО «НПО «Геоинжиниринг». Владикавказ, 2022. 61 с.
9. ТУ 38.32.39-001-12961319-2022. Материал рекультивационный. Технические условия – Введены впервые; Введ. с 25.01.2022. 8 с.
10. Федеральный закон N 7-ФЗ от 10 января 2002 г. Об охране окружающей среды.
11. Федеральный закон № 96-ФЗ от 04 мая 1999 г. Об охране атмосферного воздуха.

К ВОПРОСУ О ПАРАМЕТРАХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКЕ РИСКА РАЗВИТИЯ В НИХ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНОЙ ОСЕТИИ)

© З.Э. Маковозова¹, Х.Б. Агузаров², М.М. Гояев³

¹СКТМИ (ГТУ), Владикавказ

²АО «Алроса», Мирный

³АО «Управление строительство №30», Котельниково

Аннотация. Техногенез создал новые с точки зрения режимов существования природно-техногенные геосистемы, баланс в которых во многом зависит от промышленных объектов, входящих в данную систему. Для перспективной оценки и прогноза развития опасных экзогенных процессов в пределах наиболее активно развивающихся верхних частей земной коры, а также в условиях природно-техногенных геосистем типа хвостохранилищ, необходимо регулярно мониторить все количественные и качественные параметры территории.

Ключевые слова: геоэкология, экзогенные процессы, природно-техногенные системы, мониторинг, техногенез, хвостохранилища.

Геоморфологические параметры ПТС

По данным ряда исследователей [4-6, 8] прослеживается четкая генетическая связь современной эндогенной геодинамики и пространственной приуроченности массового проявления обвалов, оползней, каменных глетчеров и т.д. к выходам на земную поверхность разломов взбросо-надвигового характера, присущим многим ущельям Горной Осетии. Причём движение породных блоков этих структур происходит и в настоящее время в результате современного горообразования.

Из ряда причин разномасштабных экзогенных геологических процессов большинством авторов выделяются два – энергетические геодинамические преобразования, происходящие в земной коре и прилегающих слоях атмосферы, а также нарастающий техногенез, катализирующий урбанизацию и рост потребления природных ресурсов.

Наиболее опасными и разнообразными геологическими процессами являются проявления экзогенной геодинамики, являющие собой пространственные перемещения блоков земной коры под влиянием экзогенных факторов, в том числе техногенных. К ним многие авторы относят разуплотнение и разжижение геологической среды, оползневые процессы, селевые потоки, обвалы и водную эрозию, дефляцию, суффозию и карст, провалы земной коры и многие другие [7, 11].

Во время полевых исследований в 2021-2022 гг. авторами было отмечено:

- под воздействием резко выраженных на данной территории экзогенных процессов природно-техногенная система Фиагдонского хвостохранилища продолжает подвергаться не предусмотренным внештатным нагрузкам;
- имеющаяся геодинамическая нагрузка участка увеличивает риск повторного проявления уже имеющихся и вновь образующихся опасных экзогенных процессов – осыпей, обвалов различного масштаба и локальных оползневых масс;

- достоверный комплексный мониторинг или дистанционное зондирование данной природно-техногенной системы не проводится.

В критериях оценки риска развития опасных экзогенных процессов на сегодняшний день не учитывается геодинамическая нагрузка, включающая в себя разноранговую трещинную и разломную тектонику, самоорганизованность консолидированных горных блоков, а также различные прочностные и деформационные особенности этих блоков

Объекты, являющиеся звеньями сложных природно-техногенных геосистем необходимо мониторить на каждом этапе их существования: от проектирования до рекультивации. Для этого необходимо иметь полный комплекс аналитических и инструментальных методов и критериев прогноза и оценки. Итогом такого мониторинга должны быть своевременные управленческие решения, опирающиеся на современные критерии, актуальные картографические материалы и прогнозные данные.

На примере взаимодействия содержимого Фиагдонского хвостохранилища и «упакованной» в тоннель р. Ханикомдон под влиянием ЭГП четко выявлена доминирующая роль сложенного действия геодинамической нагрузки и опасных экзогенных процессов в многоуровневой природно-техногенной геосистеме, частью которой является гидротехническое сооружение типа хвостохранилище.

Рекомендуемый алгоритм комплексного мониторинга инженерно-геоморфологических и инженерно-геологических исследований позволяет определять оценку риска развития опасных экзогенных процессов природного или техногенного объекта, даже при недостатке инженерно-геологической информации. Для территории ПГТС необходимо иметь созданную актуальную системно-геоморфологическую основу с рядом геоморфологических анализов, непосредственно предшествующих инженерно-геологическим изысканиям.

Одной из важнейших задач в рамках реализации государственной политики в плане социально-экономического развития является информационное обеспечение, увязка географических, геологических и статистических данных, организации мониторинга и т. д. [22-23].

Необходимо заметить также, что с целью оптимизации экологической ситуации в поселках городского типа назрела необходимость разработки программы по улучшению состояния окружающей среды в них [8,18,20]. Очевидным является факт необходимости перепрофилизации поселков городского типа, таких как Фиагдонское поселение), но в первую очередь для таких преобразований необходимо полное представление об исследуемой территории как о вторично используемой промышленной типа браунфилда [2, 16, 21].

Геоморфологическая система весьма инерционна [12,15] для ее изменения и последующих за этим метаморфоз всей ПГТС нужны либо длительные климатические изменения, либо процессы техногенеза – это совершенно по-новому открывает взаимообратные взаимосвязи климата, рельефа и объектов техногенеза на примере Фиагдонского хвостохранилища.

Гидрогеологические параметры ПТС

Сравнительный анализ воды из разных участков речной системы, вовлеченной в ПТС Унальского хвостохранилища, показывает, что первичное загрязнение речной воды шахтными водами не столь значительно, даже с учетом легкоразрушаемой минеральной формы, в которой содержатся элементы-токсиканты.

Миграция легкорастворимых соединений основных рудных элементов полиметаллических руд и отвалов хвостохранилища усиливается за счет вторичного загрязнения донных отложений. Следует рассматривать вопрос о значительном влиянии имеющихся техногенных литохимических ореолов реки Ардон в районе хвостохранилища, которые играют решающую роль в постоянной подпитке речных вод тяжелыми металлами. Это подтверждается результатами проб вод, в которых содержание тяжелых металлов повышается не в месте сброса хвостохранилища, а ниже по течению.

При этом авторы считают, что применение Индекса загрязненности воды при мониторинге не дает полной картины водной миграции элементов-поллютантов с учетом разветвленности р.Ардон на рукава и притоки в исследуемом районе и ниже по течению реки без учета комплексной картины и учета необходимых критериев оценки.

В конце прошлого столетия возникла идея считать хвосты Унальского хвостохранилища техногенным месторождением редких примесных элементов, которые в природе не образуют промышленно значимые рудные тела. Но дальнейшего обоснования и развития эта идея не получила. В то время как подобный проект мог разгрузить ряд подуровней исследуемой ПТС на определенное количество элементов-токсикантов сульфидных руд. И вместе с тем влияние этой сложной природно-техногенной системы исключительно для водоносных горизонтов, используемых в данном районе для питьевого водоснабжения.

Авторы считают, что выбор и методология мониторинга природно-техногенных систем имеющих или рекультивированных хвостохранилищ на примере Унальского должен быть комплексным и с учетом эволюции самой системы, которая из объектов природы и человеческой деятельности видоизменилась в совершенно новое сложноустроенное образование, требующее детального изучения и регулярного мониторинга.

По данным [9], экосистема р.Ардон за счет миграции таких типичных элементов Унальского хвостохранилища как титан, индий, теллур, селен получила весьма существенный отрицательный рост оценки качества воды. Указанные элементы являются не основными рудными, как свинец, цинк и медь в рудах Садонского свинцово-цинкового района. Эти примесные элементы содержатся в весьма малых количествах в рудных минералах, в то время как в хвостах они превышают кларковые содержания. При этом относятся к высокотоксичным элементам, даже селен – жизненно необходимый микроэлемент.

Оценивая природно-техногенную систему Унальского хвостохранилища необходимо заметить следующее:

а) При проектировании и эксплуатации гидротехнических объектов типа хвостохранилищ важен учет степени разветвленности речной системы, граничащей или соседствующей с природно-техногенным озером и прудами-отстойниками [17].

б) Режим речной системы – нюансы эрозии равнинной или горной реки – необходимо учитывать при комплексном учете скорости миграции элементов-поллютантов (создание сезонного графика миграции).

в) Характер пород, слагающих террасы речной системы и определяющих во многом режим поверхностных вод и их циркуляцию с подземными водами. Ряд авторов неоднократно подчеркивал, что ложе хвостохранилища это аллювий р.Ардон являющийся хорошим фильтром для просачивания техногенных вод в гидросферу на исследуемом участке [9].

г) Минеральный и геохимический состав вод техногенного озера должен определяться регулярно на достаточное количество элементов, в первую очередь обладающих наибольшей экологической опасностью и химической подвижностью. Справедливым признан тот факт, что основные закономерности миграции экологически опасных элементов-токсикантов в экосистемах исследованы недостаточно [10].

д) Гидрогеология сложных природно-техногенных систем (природно-техногенных озер) может быть «подсказкой» для определения размещения «техногенных» новообразованных рудных тел. Выявление особенностей образования гидрогеологических условий горнорудных территорий на примере Унальского хвостохранилища создает четкую картину понимания законов развития и преобразования гидросферы в целом, решая тем самым проблемы, связанные с исследованием механизмов и условий эволюции природно-техногенных систем [10, 13, 19].

Авторы считают, что подход к оценке результатов мониторинга ПТС необходимо проводить с эволюционной точки зрения. Унальская ПТС за несколько десятилетий видоизменилась сама и сейчас находится на новом этапе своего развития. На примере изучения Унальской ПТС актуальной становится задача получения новых данных о процессе дальнейшего развития этих сложных компонентов геологической среды, их взаимодействия и степени влияния на окружающую среду.

Литература

1. *Абрамов Б. Н.* Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 11. С. 136–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.
2. *Ахмадиев А. К., Экзарьян В. Н.* Реабилитация природной среды – структурный элемент экологической безопасности // ГИАБ.2020.№ 2. С.112-120. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-112-120.
3. *Altenburger, R., Brack, W., Burgess, R.M. et al.* Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures. *Environ Sci Eur* 31, 12 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0193-1>.
4. *Васьков И.М.* Ледово-каменные обвалы и их прогнозирование. Опыт Геналдонской катастрофы, Центральный Кавказ // LAP Lambert Academic Publishing. ДА: Дубна, международный университет природы, общества и человека «Дубна». 2009. 233 с.
5. *Васьков И.М.* Крупномасштабные обвалы: геодинамика и прогноз. Научная монография. Электронное издание. Москва: Триумф, 2019. 365 с.
6. *Васьков И.М.* К вопросу об устойчивости естественных плотин в горных условиях // ГеоРиск. 2011 г. №1. С.38-42.
7. *Васьков И.М., Кожиев Х.Х.* Современное состояние проблемы прогнозирования природных катастроф // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. №2. С.53-60.
8. *Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б. и др.* Оценка масштабов и степени негативного воздействия Фиагдонского хвостохранилища на экосистему // Вестник Владикавказского НЦ РАН. 2020. №2. С.54-62. DOI: 10.46698/d5387-0147-5683-х.
9. *Гурбанов А. Г., Лолаев А. Б., Лексин А.Б. и др.* Основные источники загрязнения вод Р. Ардон, его степень и масштабы проявления, оцененные по результатам геохимического изучения проб воды из контрольных пунктов (PCO-A) // Вестник Владикавказского НЦ РАН. 2018. №3. С. 40-50. DOI: 10.23671/VNC.2018.3.23772
10. *Гурбанов А.Г., Винокуров С.Ф., Газеев В.М. и др.* Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) // Вестник Владикавказского НЦ РАН. 2016. №2. С. 42-55.

11. *Duszyński, F., Migoń, P., and Strzelecki, M. C.*: Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes – Landforms, mechanisms and patterns, *Earth-Sci. Rev.*, 196, 102890, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102890>, 2019.
12. *Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Собенин А.В.* К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Кольванского месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020. № 3-1. С. 465–474. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-465-474.
13. *Крупская Л.Т., Мелконян Р.Г., Зверева В.П. и др.* Опасность отходов, накопленных горными предприятиями в Дальневосточном федеральном округе, для окружающей среды и рекомендации по снижению риска экологических катастроф // *ГИАБ*. 2018. №12. С.102-112. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-102-112.
14. *Kubalíková L., Balková M.* Two-level assessment of threats to geodiversity and geoheritage: A case study from Hady quarries (Brno, Czech Republic)//*Environmental Impact Assessment Review*. 2023 Vol.99. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107024>
15. *Мелихов М.В.* Особенности геoinформационного космического мониторинга горнопромышленных природно-технических систем // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 12-1. С. 29–41. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_29.
16. *Потапов В.П., Счастливцев Е.Л., Быков А.А., Юкина Н.И.* Интегральная оценка геоэкологического состояния водных объектов в районах перспективной добычи угля в Кузбассе // *ГИАБ*. 2020. №11. С.151-165. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-151-165.
17. *Почечун В. А., Семячков А. И., Ибрагим Курбан оглы Курбанов.* Геоэкология поверхностных и подземных вод на Среднем Урале: на примере Полевского и Качканарского горных районов Свердловской области // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 11-1. С. 90-97. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_90.
18. *Романенко Ф.А., Шиловцева О.А.* Геоморфологические процессы в горах Кольского полуострова и изменения климата // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2016. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geomorfologicheskie-protsessy-v-gorah-kolskogo-poluostrova-i-izmeneniya-klimata> (дата обращения: 15.11.2022). С.78-86.
19. *Рыбникова Л.С.* Процессы формирования подземных вод в горнодобывающих районах Среднего Урала на постэксплуатационном этапе // *Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук*. Екатеринбург: Издательство ИГД. 2014. 43 с.
20. *Сашурин А.Д., Мельник В.В.* Природно-техногенные катастрофы на горных предприятиях: истоки и пути предупреждения // *Проблемы недропользования*. 2020. №4 (27). С.4-13. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.005.
21. *Strassburg, B.B.N., Iribarrem, A., Beyer, H.L. et al.* Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature* 586, 724–729 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>.
22. *Тавасиев В.Х., Тавасиев Г.В.* Экономические и социально-экологические проблемы городских поселений Республики Северная Осетия-Алания // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11-7. С. 1489-1492.
23. *Фаттахов Р.В., Низамутдинов М.М., Орешников В. В.* Методические аспекты разработки базы данных для ГИС мониторинга пространственного развития России // *Финансы: теория и практика*. 2017. №3. С.177-188.

**ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ НА ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-
НАРУШЕННЫХ УЧАСТКАХ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА
ГГНТУ ИМЕНИ АКАД. М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА**

© Н.А. Мамадиев¹, Л.Ш. Махмудова¹, Е.М. Сатосина², М.А. Мусаева¹

¹ ГГНТУ имени акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

² МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. Цель работы заключается в проведении сравнительного анализа хода чистого экосистемного обмена парниковых газов CO₂ и CH₄ на природных и антропогенно-нарушенных участках Карбонового полигона ГГНТУ имени акад. М.Д. Миллионщикова. Определение потоков парниковых газов проводили методом турбулентных пульсаций.

Ключевые слова: парниковые газы, эмиссия, секвестрация, экосистемный обмен, турбулентные пульсации, эколого-климатическая станция.

Одной из основных причин наблюдаемого роста глобальной температуры большинство экспертов по климату считают увеличение концентрации парниковых газов, приводящее к усилению парникового эффекта. Исследование потоков парниковых газов между атмосферой и другими природными средами является важнейшим элементом изучения климатической системы. Определение баланса между эмиссией и секвестрацией парниковых газов позволяет определить роль антропогенного воздействия и оценить их влияние на климатические характеристики [1]. Для проведения исследований климатически активных газов в Российской Федерации (РФ) внедрен проект Карбоновые полигоны, целью которых является разработка и испытание технологий дистанционного и наземного контроля эмиссии (накопления) парниковых газов и других значимых для изменения климата параметров на различных территориях с репрезентативными для них рельефом, структурой растительного и почвенного покрова [4]. Детальный мониторинг потоков парниковых газов и создание сети станций с карбоновыми полигонами дает исследователям

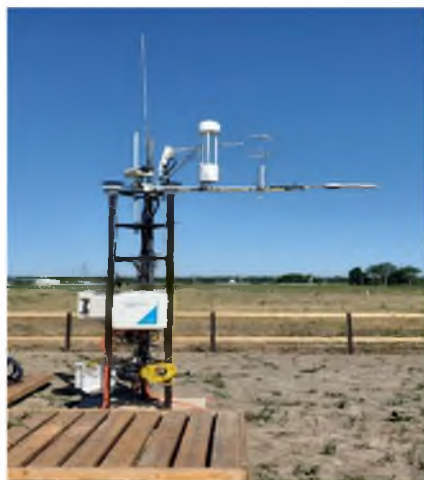
уникальные возможности определения вклада разных типов природных экосистем, в том числе антропогенно-нарушенных, в потоки парниковых газов между земной поверхностью и атмосферой. В настоящее время в РФ функционирует 17 карбоновых полигонов, один из которых – WAY CARBON, с мая 2022 г. запущен в Чеченской Республике (ЧР). На рис.1 представлена схема расположения участков карбонового полигона ЧР, одним из операторов которого является ГГНТУ имени акад. М.Д.Миллионщикова.



Рис.1. Схема расположения участков карбонового полигона ЧР, оператор – ГГНТУ имени акад. М.Д.Миллионщикова

Кроме выбранных шести тестовых участков исследования проводятся и на двух экспериментальных участках – нефтезагрязненный объект на территории бывшего НПЗ им. Н.Анисимова и Черноречье, расположенный в водоохранной зоне г. Грозный на высоте 169 м над уровнем моря на выровненной поверхности Чеченской равнины, прилегающей к террасовым комплексам р. Сунжа, сложенных верхнечетвертичными отложениями из суглинков, песков и глин. Здесь сформировались широколиственно-лесные ландшафты, находящиеся в настоящее время под природоохранным режимом.

Для изучения динамики потоков парниковых газов нами были выбраны два участка: антропогенно-нарушенный участок «Карбоновая ферма» (рис. 1), площадь которой составляет 23 га. Это окультуренный участок (б. свалка ТБО) сухостепных ландшафтов Алханчуртской долины, сложенный лессовидными суглинками, подстилаемыми нерасчленёнными отложениями антропогенной системы. Для измерения потоков парниковых газов на карбоновой ферме был выбран участок, засаженный саженцами липы, в центре которого была установлена 4-х-метровая мачта с оборудованием для измерения потоков на эколого-климатической станции Eddy covariance (ЭКС ЭК) методом турбулентных пульсаций (рис. 2а) и участок Черноречье (рис. 2б), расположенной в лесной охраняемой зоне, на территории которого в мае 2023 г. была установлена 32-хметровая мачта для установки второй ЭКС ЭК над пологом леса. На эколого-климатических станциях Eddy covariance использовался метод турбулентных пульсаций, который на данный момент является одним из немногих методов, позволяющих проводить прямые непрерывные измерения вертикальных потоков тепла, парниковых газов и аэрозолей над однородной земной (водной) поверхностью площадью от нескольких гектаров и более [2, 3]. Метод основан на высокочастотных (10-20 Гц) измерениях горизонтальных и вертикальных составляющих скорости ветра, характеристиках температуры, влажности, концентрации атмосферных газов и аэрозолей.



а)



б)

Рис.2 Эколого-климатические станции Eddy covariance на территории «карбоновая ферма» (а) и «Черноречье» (б)

Основными допущениями, используемыми в методе, являются: однородность подстилающей поверхности и наличие хорошо выраженной турбулентности в приземном слое воздуха. С учетом широкого диапазона изменчивости частотных характеристик турбулентных вихревых движений в приземном слое атмосферы, оборудование для измерения потоков должно позволять проводить высокочастотные синхронные измерения исследуемых метеорологических параметров на протяжении продолжительных временных интервалов времени.

За полуторалетний период наблюдений нами получены экспериментальные данные, которые нашли свое отражение в ряде публикаций [5-8]. Исследования показали, что средние суточные значения чистого экосистемного обмена CO_2 на территории карбоновой фермы в мае 2022 г. колебались около нуля, а в июне резко возросли до $3.5\text{--}4.5 \text{ г C/м}^2 \text{ сут}$ (рис. 3). В период 11.05-28.10.2022г. суммарное выделение CO_2 составило 455 гC/м^2 . Отрицательные значения означают, что участок является нетто-стоком CO_2 из атмосферы, положительные – что участок является нетто-источником CO_2 из атмосферы. На рис.4 представлен суточный ход чистого экосистемного обмена CO_2 (NEE) в разные месяцы. Для каждого месяца взят средний суточный ход за 20 дней в середине месяца. Суточный ход NEE с минимумом днем (нетто-поглощение CO_2), когда идет фотосинтез, прослеживался летом 2022 г. в мае и июне. К концу июня суточный ход перестал быть статистически значимым. И днем, и ночью отмечалось только почвенное дыхание, фотосинтез практически прекратился.

В отличие от потоков CO_2 , у потоков CH_4 не было отмечено выраженного суточного хода. Средние суточные значения потока CH_4 менялись от -0.1 до $0.05 \text{ г C/м}^2 \text{ сут}$ (рис. 5).

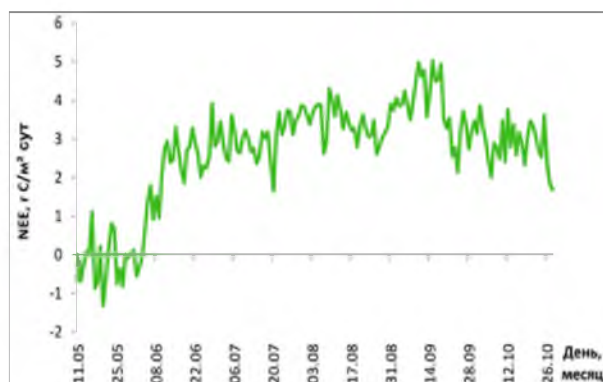


Рис.3 Среднесуточные значения чистого экосистемного обмена CO₂ (NEE) на участке «карбоновая ферма» в период измерений 2022 г.

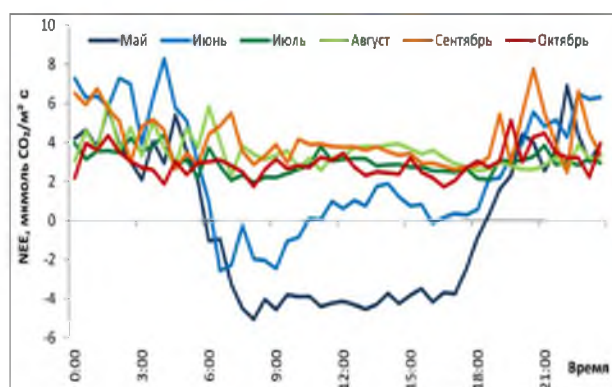


Рис. 4 Суточный ход чистого экосистемного обмена CO₂ (NEE) на участке «карбоновая ферма» в разные месяцы 2022 г.

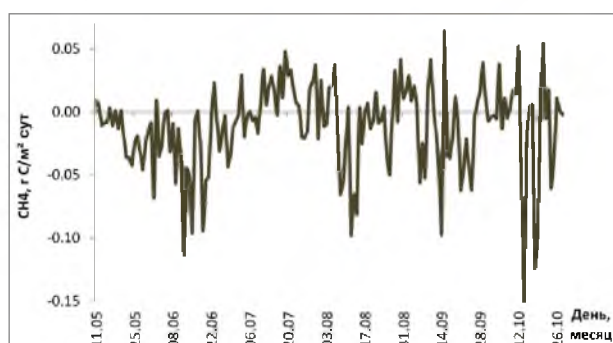


Рис.5 Среднесуточные значения чистого экосистемного обмена CH₄ на участке «карбоновая ферма» в период измерений 2022 г.

Отрицательные значения означают, что участок является нетто-стоком CH₄ из атмосферы, положительные – участок является нетто-источником CH₄ из атмосферы. В целом, потоки метана были очень небольшими. В сумме за весь период не выявлено статистически значимого отличия потока от нуля.

После начала функционирования второй ЭКС ЭС было интересно провести сопоставительный анализ по ходу чистого экосистемного обмена CO₂ (NEE) (рис.6) и CH₄ (NEE) (рис.7) на антропогенно-нарушенной территории

карбоновой фермы и природной лесной территории «Черноречье». Сравнение было проведено по итогам наблюдений за август 2023 г.

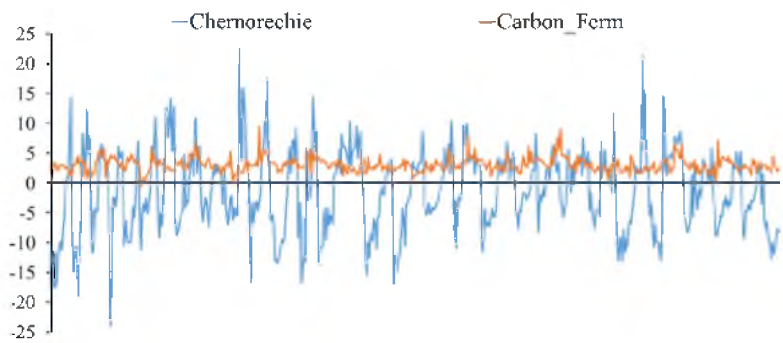


Рис. 6 Ход чистого экосистемного обмена CO₂ (NEE), CO₂_flux (мкмоль/м²с), на участках «Черноречье» и «карбоновая ферма», август 2023 г.

Исследования показали, что у потоков CO₂ на нетронутом лесном участке «Черноречье» ярко выраженный ход – по ночам территория является нетто-источником (положительные значения), а днем за счет вклада процесса фотосинтеза – нетто-стоком CO₂ (отрицательные значения), в отличие от антропогенно-нарушенного участка «Карбоновая Ферма», где, в основном, идет активная эмиссия потоков CO₂ со значениями от 0 до 5 мкмоль/м²с. Территория является нетто-источником CO₂.

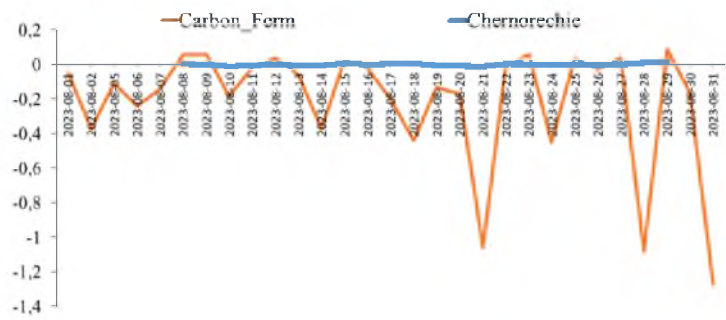


Рис. 7 Среднесуточный ход чистого экосистемного обмена CH₄ (NEE), CH₄_flux (мкмоль/м²с), на участках «Черноречье» и «Карбоновая Ферма», август 2023 г.

По потокам CH₄ (рис.7) картина несколько отличается – на нетронутом лесном участке «Черноречье» потоки не обнаружены, метановый фон спокойный, на нулевой отметке. В то же время на территории «карбоновой фермы» обнаружены статистически незначимые значения потоков поглощения почвой CH₄.

Выводы

По нашим исследованиям участок «карбоновая ферма» за 5.5 месяцев теплой части 2022 г. был источником CO₂ в размере 455 гC/м², с момента начала измерений с 12.05.2022 г. по 07.06.2023 г. – 600 гC/м². Но, при этом, в

период вегетации с 12.04. по 05.06.2023 г. – участок был стоком CO₂ в количестве 40 гС/м².

За рассматриваемый период времени в качестве августа территория «карбоновая ферма» является источником CO₂, а на территории «Черноречье» в дневное время за счет фотосинтеза идет поглощение CO₂, а в ночное – эмиссия CO₂, но, в целом, территория является стоком CO₂

За рассматриваемый период времени в качестве августа территория «карбоновая ферма» является стоком CH₄, в отличии от территории «Черноречье», где у потоков CH₄ не было отмечено выраженного суточного хода. В целом, потоки метана были очень небольшими. В сумме за весь период не выявлено статистически значимого отличия потока от нуля.

Литература

1. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л. и др. (под ред. Д.Г.Замолодчикова и др.). Саратов: Амрита, 2017. 279 с.
2. Aubinet, M., Vesala, T. & Papale, D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer Atmospheric Sciences. Dordrecht, The Netherlands: Springer Verlag, 2015.
3. Burba, G.G., Kurbatova, Yu.A. & Kuricheva, O.A. Turbulent Pulsation Method Brief Practical Guide, Moscow, 2016.
4. Карбоновые полигоны. Режим доступа: <https://carbon-polygons.ru/> (дата обращения: 01.08.2023 г.).
5. Керимов И.А., Махмудова Л.Ш., Мячина К.В. и др. Карбоновый полигон Чеченской Республики: II. Методы исследования и первые результаты // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7. № 4 (30). С. 62-78.
6. Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики: I. Ландшафтные особенности и структура // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. том 6, № 3 (25). С. 35-47.
7. Маркарова М. Ю., Махмудова Л. Ш., Керимов И.А. Анализ парниковых газов на нефтезагрязненных территориях и разработка методов их биорекультивации (на примере г. Грозный) // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (4): 153-168.
8. Параметры фотосинтеза древесных растений в предгорных широколиственных лесах Северного Кавказа / Придача В.Б., Махмудова Л.Ш., Семин Д.Е., Ольчев А.В. // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7. № 4 (30). С. 105-112.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ С ЦЕЛЬЮ НАРАЩИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДР

© М.М. Меликов¹, Я.М. Меликов²

¹Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

²ДГУ, Махачкала

Аннотация. В работе предлагается новая идея по нагнетанию извлеченного парникового (углекислого) газа из карбонových полигонов в нефтяные пласты с целью уменьшения выброса парниковых газов и увеличения коэффициента извлечения остаточной нефти (КИН) с последующим восполнением ресурсов таковых, согласно Биосферной концепции нефтегазообразования Баренбаума А.А. за счет геохимического круговорота углерода.

Ключевые слова: карбон, полигон, биосфера, концепция, экологический след, пласт, углерод, ловушка, ресурс

В развитых странах (15 % населения Земли), в чьих руках долгое время было сосредоточено экономическое и политическое лидерство, потреблявших 70-80 % мировых ресурсов, уже создавшие предпосылки для глобального конфликта, проявившиеся уже в настоящее время. Лидеры «золотого миллиарда» совместно с США в настоящее время ввели против России ряд политико-экономических санкций, включая все сферы жизнедеятельности. В настоящее время в Европе и США закрыт «железный» занавес для россиян, включая и бывшие союзные прибалтийские республики. Процессы интеграции и глобализации во всех сферах жизнедеятельности человечества на планете нарастают. Но, однако, есть страны, противостоящие, так называемому однополярному миру – страны ШОС и БРИГС, стремящиеся к суверенности. Кроме того, нарастает угроза экологической катастрофы, а также потребление традиционных источников энергии. Запасы основных энергоносителей – УВ сокращаются или растут недостаточными темпами, связанные со многими причинами.

Однако как бы не хотелось автору политизировать данную работу, но, тем не менее, не следует забывать о «зеленой западной (проамериканской) энергетике», о которой неустанно теребят мировые СМИ, особенно в последнее «санкционное время». Об этом говорили еще в 70-х годах прошлого столетия – во времена правления США Р. Никсоном, прошло, почти, полвека. Просто, в последнее время, в связи с событиями на Украине стали говорить громче и чаще. На наш взгляд, это ничто иное как «Всемирный Евро-Американский Заговор», направленный против России с целью уничтожения ее экономики, как одного из мировых лидеров-экспортеров УВ и других видов минерального сырья на мировой рынок. Прощу прощения, у меня не нашлось возмутительных слов и выражений для изложения своих мыслей, называя происходящее как «Топливо-энергетический и экономический суицид по-Гретски (Грета, Тумберг), стран Евросоюза и Америки. Однако, у них проблема не только в энергоносителях но и, проблемы, связанные с сильнейшей летней засухой из-за изменение климата. В связи с этим в этих недружественных странах наступил водный транспортный коллапс из-за обмеления рек, нет возможности доставки грузов водным транспортом, отсутствие хозяйственно-питьевой воды. Британцы дошли до того, что им власти предлагают использовать очистные сточные воды,

т. е. обратное водоснабжение, при этом, рекомендуя не брезгать этим. А ведь в итоге, введенные санкции негативно отразились на них самих, практически, во всех сферах их жизнедеятельности, в результате которых страдают сами американцы и страны Евросоюза, и, особенно Германия. По-другому трактовать это невозможно, – то ли это политическая слепота страны, то ли великий страх перед «всемогущим США». «Нельзя зло кондуктору идти пешком». Кроме того, наши недружественные страны, совершившие недавний теракт на «Северном потоке», оставили без энергоносителей Европу, прежде всего, Германию которая «переправила» свою промышленность в США, т.е. если можно выразиться так, Америка обнажила ее (Германию). А ведь «размышления» по поводу отказа от российских энергоносителей доходит до абсурда, – во всех бедах этих стран из-за отсутствия топлива (в частности в том, что они «нормально не могут мыться» и т.д.), «виновата Россия».

Для спасения Земли от климатической катастрофы мировым сообществом предпринимаются попытки создания, так называемых карбоновых полигонов, в связи с чем и в России создается сеть карбоновых полигонов (рис.1), предназначенных для мониторинга парниковых газов и создания методики расчетов способности поглощения углерода окружающей средой из атмосферы. Но с другой стороны, нам, в принципе, по большому счету зеленая энергетика не нужна, поскольку у нас достаточно геопотенциала для восполнения традиционных УВ-х ресурсов. Чего стоит вспомнить о знаменитой технологии сибирского геолога И.И. Нестерова, который обосновал получение, так называемой «быстрой нефти», используя спиновую энергию молекул отложений органики (И.И. Нестеров, 2007).



Рис. 1. Дорожная карта карбоновых полигонов России

Согласно и закону формирования залежей УВ-го сырья при воздействии дополнительной энергии органическое вещество, находящееся в определенных геохимических и термобарических условиях недр, может быть расщеплено с разрывом связей углерод-углерод (С-С) с образованием нефти и газов. В естественных условиях залежи УВ-сырья находятся ниже этой границы и источником энергии могут быть только неспаренные электроны (спины, т.е. спиновая энергия) молекул органического вещества (Н.Б. Вассоевич, 1986). Например, в условиях Предгорного Дагестана дополнительная энергия, необходимая для формирования залежей нефти и газа возникает при тектонических процессах (уплотнение глинистых отложений в результате геолитостатического давления, горизонтально-вертикальных смещений микрочастиц слагающих породу органического вещества с, так называемыми фобными поверхностями и др.). Для разрыва связей требуется энергия 50-60 Ккал/ моль, что по температурному эквиваленту такая энергия достигается при $T > 320^{\circ}\text{C}$. В Восточном Предкавказье таким потенциалом обладает, майкопская толща, сложенная глинистыми разностями, имеющая мощность от 500 до 1500 м, широко распространенная, практически, по всему региону. А, где тектонические процессы менее активны, то необходимо применять новые технологии, которые основываются в создании электромагнитного поля за счет гидроразрыва пластовой системы щелочными и или фобными растворами или созданием трещиноватости пород закачкой гидрокремнезема, насыщенного порошком алюминия и или раствором перекиси водорода. При применении этой технологии и технических средств для искусственного создания залежей нефти в пластовых условия можно получить притоки УВ в любой точке Кавказа. Породы майкопа содержит большой объем битума (Сабанаев К.А., 1983), из которых можно извлекать нефть. Впервые И.И. Нестеров (2007 г.) такую технологию применил в 1966 г. на Салымской площади глинистых баженитов Западной Сибири. Следует также отметить революционную (биосферную) теорию А.А. Баренбаума, на которую автором настоящей работы построено название, о чем будет изложена ниже.

К большому сожалению, в этой карте, не обозначена территория Дагестана. Как выяснилось, на Кочубеевской биосферной станции Прикаспийского института биологических ресурсов (ПИБР) ДФИЦ РАН планируется организовать Карбоновый полигон. Но количество участников, на наш взгляд, в создании полигонов будут расти. У нас в республике есть много месторождений нефти, которые находятся на последней стадии разработки, из которых нужно извлекать остаточные запасы с применением углекислого газа, добываемого из парниковых газов, часть из которых поглощается растительностью, а часть – в атмосферу. Сбор и транспортировка углекислого газа к потребителю требует немало вложений. А Кочубеевская станция расположена ближе к основным месторождениям нефти и газа, в частности, Прикумской нефтегазоносной области республики, что имеет немаловажное значение.

Ниже попробуем кратко изложить суть применения углекислого газа с целью извлечения остаточной нефти из обзора и анализа опубликованной литературы.

Декарбонизация – мировой тренд XXI в., связанный с глобальным изменением климата. Климатическая повестка, отрегулированная Киотским протоколом и Парижским соглашением, вынудила мировую экономику встать на путь декарбонизации – уменьшения выбросов углекислого газа в окружающую среду, снижения «экологического следа». С 2023 г. Евросоюз

готовился ввести «углеродный налог» на импорт. Это грозит большими расходами производителям и странам-экспортерам.

На наш взгляд, в этом плане Россия будет возглавлять этот список, в связи с последними событиями и общего «настроения» стран запада. В России планируется строительство таких полигонов от Сахалина до Калининграда.

Ранее нами были изложены несколько методов и технологий увеличения нефтеотдачи, а также было указано на то, что большинство нефтяных месторождений Дагестана находятся на последней стадии разработки и имеют высокую степень обводненности (до 85-90 %) [8].

Одним из таких методов увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН) является вытеснение нефти путем закачки углекислого газа (CO_2) в пласт. Закачку углекислого газа для повышения нефтеотдачи начали применять с середины пятидесятых годов прошлого столетия. За это время были изучены механизмы физико-химического взаимодействия углекислого газа с водой, нефтью и породой; определены особенности вытеснения нефти при использовании двуокиси углерода; рассмотрены преимущества и недостатки по сравнению с другими методами увеличения нефтеотдачи. В отличие от других газов при использовании CO_2 в качестве вытесняющего агента можно достичь значительного увеличения коэффициента нефтеотдачи. В лабораторных условиях, при неограниченной смесимости, коэффициент вытеснения нефти может достигать 100 %. Этому вопросу посвящено довольно-таки много публикаций [3,5,6, 7,11-12 и др.].

Основной целью этой работы является идея применения углекислого газа, извлеченного из парниковых газов карбоновых полигонов для увеличения КИНа в разрабатываемых месторождениях путем нагнетания углекислого газа в пласты этих месторождений с целью возобновления ресурсов УВ, согласно биосферной концепции нефтегазообразования А.А. Баренбаума за счет геохимического круговорота углерода, схемы которых показаны на рис. 2.

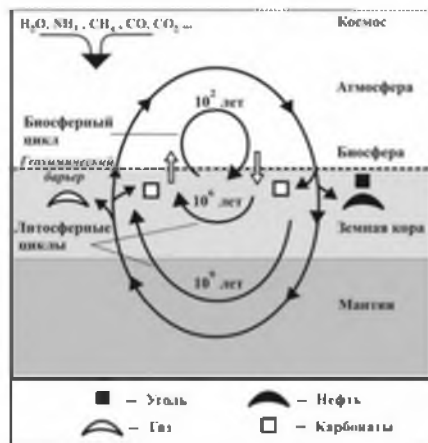


Рис. 2. Схема круговорота углерода в биосферной концепции нефтегазообразования (А.А. Баренбаум, 2004)

Во многом продуктивный эффект от применения технологии по закачке углекислого газа обусловлен тем, что CO_2 способен растворяться в нефти и пластовой воде в большей степени по сравнению с другими газами. При растворении в нефти углекислый газ способствует увеличению нефти в объеме,

что в свою очередь способствует вытеснению остаточной неподвижной нефти [8].

Практика показала, что предпочтительнее нагнетание карбонизированной воды, преимуществом которой является относительно низкий расход углекислого газа при закачке в пласт по сравнению с другими вариациями его использования. Оптимальная концентрация углекислоты в воде составляет 4-5 % [10-11].

В данной работе автор попытается связать создание карбоновых полигонов для спасения климата Земли и о возможном использовании собранных парниковых газов, в частности углекислого газа с целью дальнейшего вовлечения углерода в геохимический круговорот согласно теории нефтегазообразования А.А. Баренбаума (2004 г.), и тем самым восполнять ресурсы УВ.

Ниже мы приведем большой отрывок из его статьи «О возрасте нефти в залежах» «А.А. Баренбаум на основе биосферной концепции рассматривает залежи нефти и газа как подземные ловушки углерода, циркулирующего через земную поверхность в трех главных циклах круговорота. Им разработана теоретическая модель, которая позволяет с этих позиций объяснить явление пополнения нефтегазовых залежей в процессе эксплуатации месторождений. Модель обеспечивает баланс между потоками углерода на восходящей и нисходящей ветвях его круговорота через земную поверхность. В этой модели восходящий поток углерода представлен продуктами дегазации недр (CH_4 и CO_2) и извлекаемыми человеком из недр нефтью, газом и углем, а нисходящий поток – органическим веществом и карбонатами, погружающимися в недра в процессах осадконакопления и при субдукции литосферных плит, а также атмосферным CO_2 , поступающим под земную поверхность с метеогенными водами в процессе их климатического круговорота. Поскольку месторождения заполняются углеводородами, образующимися в циклах углерода с сильно различающимися временами круговорота, вместо термина «возраст нефти» предлагается использовать термины «время формирования ловушки» и «время жизни углеводородов в ловушке» [4].

Такой подход к вопросу возраста нефти в биосферной концепции приводит к ряду выводов, из которых следует, что: 1) на начальной стадии разработки месторождений извлекается «старая» нефть биогенного генезиса, тогда как на стадии истощения месторождений доминируют «молодые» углеводороды абиогенного синтеза; 2) возраст промышленных скоплений нефти на нашей планете вряд ли старше плейстоцена, при этом газообразные, жидкие и битумные фракции нефти имеют разное время жизни в ловушках [2,6,7].

Предложенная биосферная концепция нефтегазообразования, А.А. Баренбаума, наряду с биогенным и абиогенным механизмами генезиса углеводородов (УВ), рассматриваемыми, соответственно, органической и минеральной теориями нефтегазообразования, новая концепция учитывает источник поступления углерода в биосферу, а также принимает во внимание вопросы утилизации в биосфере углекислого газа (CO_2) – продукта промышленной переработки УВ человечеством».

По новым представлениям [2,4], нефть и газ являются неуничтожимыми продуктам, происходящего на Земле геохимического круговорота углерода и воды, источником которых являются периодически бомбардирующие планету галактические кометы. Приносимый ими на Землю углерод перераспределяется над и под поверхностью планеты в процессе трех взаимодействующих циклов. Первый, длительностью $\sim 10^8$ - 10^9 лет, связан с глубоким погружением

углеродсодержащих пород в мантию Земли при субдукции литосферных плит. Во время второго цикла, продолжительностью $\sim 10^6$ – 10^7 лет, происходит преобразование захораниваемого органического вещества при осадконакоплении. И наконец, третий, самый короткий, цикл длительностью ~ 30 – 40 лет обусловлен переносом углерода вглубь земной коры метеогенными водами при их климатическом круговороте. Оказавшись под земной поверхностью, углерод в земной коре испытывает восстановление до УВ, которые, вследствие плохой растворимости в подземных водах, создают в геологических структурах-ловушках собственные скопления в виде нефти и газа.

Исследования автора новой концепции показывают, что в современную эпоху нефть образуется главным образом двумя путями: 1) при экстракции подземными флюидами преобразованного в катагенезе и диагенезе органического вещества осадочных пород и 2) за счет поликонденсационных реакций синтеза УВ из поставляемого метеогенными водами диоксида углерода. Первый процесс отвечает за наличие в нефти сложных УВ-соединений (биомаркеров), родственных органическому веществу, из которого они произошли, а второй – нормальных и изо-алканов и других сравнительно просто структурированных молекул УВ, составляющих основную массу нефти.

Благодаря разработке биосферной концепции показано, что нефть и газ образуются в верхних этажах земной коры [2-4]. Однако механизм этого процесса пока не вполне понятен. В настоящее время автором данной теории ведутся эксперименты с целью решения данной проблемы.

Однако следует подчеркнуть, что, как показал анализ литературы, пока такой практики нагнетания в пласты, извлеченного углекислого газа, именно, из парниковых газов таких полигонов не существует. Эта идея требует дальнейшей проработки и комплексного изучения и анализ профильными специалистами. На наш взгляд, эта идея имеет право на существование с последующей реализацией с учетом вышеизложенного.

Таким образом, согласно новой теории нефтегазообразования, нефть и газ являются неуничтожимыми энергетическими ресурсами.

Используя углекислый газ, извлеченный из парниковых газов карбоновых полигонов, мы смогли бы нагнетать в пласты тех скважин, где еще есть остаточные запасы нефти с целью увеличения их отдачи и вовлечь углерод в геохимический круговорот с последующим преобразованием его в УВ, восполняя тем самым их ресурсы и уменьшая выбросы углекислого газа в атмосферу.

Литература

1. Антониади Д.Г. Увеличение нефтеотдачи пластов газовыми и парогазовыми методами. Недра. 1998. 304 с.
2. Баренбаум А.А. Механизм формирования месторождений нефти и газа // Докл. АН. 2004. Т. 399, № 6. С. 802–805.
3. Баренбаум А.А. О возможной связи газогидратов с субмаринными подземными водами // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 5. С. 620–625.
4. Баренбаум А.А. О возрасте нефти в залежах // Георесурсы. №. 2017. С. 30-37.
5. Вассоевич Н.Б. Избранные труды. Геохимия органического вещества и происхождение нефти. М.: Наука, 1986. 368 с.
6. Васильевский А.В. и др. Комплексный подход к исследованию процессов закачки воздуха в пласт для повышения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. 2016. №. 11. С. 102-104.

7. *Кокорев В.И.* Газовые методы – новая технология увеличения нефтеотдачи пластов // Нефтепромысловое дело. Москва, 2009. № 11. С. 24-26.
8. *Меликов М.М., Гаджиева Т.Р.* К вопросу увеличения нефтеотдачи пластов разрабатываемых месторождений Дагестана на основе современных методов и технологий добычи углеводородов // Труды Института геологии ДНЦ РАН, Махачкала, 2020. Вып. № 1 (80). С. 15-26.
9. *Нестеров И.И.* Нефть и горючие газы – возобновляемые источники энергии // Отечественная геология. 2007. № 2. С. 73-82.
10. *Сабанаев К.А.* Нефть и газ Дагестана, Махачкала: Даг кн. Изд-во, 1983. 68 с.
11. *Трухина О.С., Синцов И.А.* Опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов // Успехи современного естествознания. 2016. № 1. С. 205-209.
12. *Хромых Н., Литвин А.Т. и др.* Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Евразийской науки. 2018. № 5. Том 10. URL: <https://esj.today/PDF/06NZVN518.pdf>.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И ТЕКТониКИ НА НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

© Т.Б. Микерина, Т.Н. Пинчук

КубГУ, Краснодар

Аннотация. Рассмотрены закономерности распределения рассеянного органического вещества в мезозой-кайнозойских отложениях в Западном Предкавказье. Дана оценка влияния климата и тектоники на особенности накопления и распределения органического вещества в мезозойских и кайнозойских отложениях.

Ключевые слова: геохимические исследования, рассеянное органическое вещество, климат, седиментогенез, трансгрессивно-регрессивные циклы.

В процессе геологоразведочных работ в Западном Предкавказье (ЗП) и Северо-Западном Кавказе (СЗК) в мезозойских и кайнозойских отложениях в течение нескольких десятилетий проводились многочисленные геохимические исследования по изучению качественного и количественного состава рассеянного органического вещества (РОВ) и в результате были установлены закономерности и особенности накопления РОВ в процессе формирования и погружения осадочных толщ.

Объектом исследования является органическое вещество в мезозой-кайнозойских отложениях и закономерности изменения его содержания в породах в Азово-Кубанском нефтегазоносном бассейне в Западном Предкавказье. Целью исследования является выявление взаимосвязи между изменением климатических и тектонических особенностей развития региона накоплением и содержанием РОВ в мезозойских и кайнозойских отложениях.

Интенсивность накопления рассеянного органического вещества в седиментогенезе зависит от множества факторов: таких как климат, биопродуктивность, состав и размер минеральных частиц в осадках, близость береговой линии, газовый режим бассейна, геохимическая обстановка в диагенезе, скорость осадконакопления, глубина бассейна седиментации, наличие питательных веществ в водах и др. Таким образом, можно оценить влияние климата и тектоники на темпы и объем накопления РОВ в процессе формирования осадков в морских бассейнах.

Коэффициент fossilization РОВ в целом для океана равен 0,4 %, во внутренних и окраинных и в области подводной окраины континентов он составляет 0,73 и 0,11 % для ложа океана. Наиболее благоприятные условия для аккумуляции органического ОВ в донных осадках существуют в морях, характеризующихся дефицитом кислорода, таких как Черное море, в котором коэффициент fossilization ОВ достигает 4 % [1].

Ранее было выяснено, что одним из важных факторов, влияющим на содержание РОВ в породах является трансгрессивно-регрессивная цикличность [1]. Наиболее благоприятные условия для накопления РОВ в морских осадках создаются при региональных трансгрессиях, особенно в период их максимального проявления. На объемы накопленного органического вещества влияют длительность и скорость наступления моря на сушу с гумидным климатом, поскольку при отступлении моря на суше формируются озерно-

болотные ландшафты. В дальнейшем при наступлении нового трансгрессивно-регрессивного цикла в морские осадки попадало повышенное содержание биофильных элементов, что отражалось в повышении биопродуктивности фито- и зоопланктона.

Начало мезозойской эры характеризовалось обновлением животного и растительного мира, в том числе и планктонных организмов. В триасе основными поставщиками РОВ были сине-зеленые водоросли (или цианобактерии), а также зеленые водоросли и бактерии. Начиная с триаса, определенную роль играли динофлагеллаты (представители альгофитопланктона), относящиеся к группе периденей или панцирных жгутиконосцев, в составе которых липиды составляли от 3 до 10%. Кроме того, среди представителей фитопланктона (сине-зеленые) появляются кокколитофориды, микроскопические одноклеточные золотистые водоросли. Золотистые водоросли, их примитивные формы известны еще с кембрия, а более сложные – с мелового времени. Но наиболее распространены кокколитофориды, мелкие нанопланктонные формы с известковым скелетом, обитающие в теплых морях и образующие глобигериновый ил. В ранней юре появились и получили широкое распространение в конце мезозоя диатомовые водоросли с кремнистым панцирем, также широкое распространение получили динофлагеллаты [1,2].

В соответствии с историей геологического развития в мезозое выделены несколько крупных литолого-стратиграфических комплексов пород: триасовый, юрский и меловой, в кайнозое – палеогеновый и неогеновый. Триасовый комплекс пород представлен терригенными отложениями на севере и терригенно-карбонатными на юге, юрский – терригенными, карбонатными и галогенными породами, меловой комплекс складывается терригенными осадками и терригенно-карбонатными.

К началу мезозоя территория Предкавказья была в общем пенеппенизирована, активизируются тектонические движения, вдоль крупных разломов закладываются грабенообразные впадины, континентальные фации сменяются морскими бассейнами.

В раннем триасе господствовали континентальные условия, и осадконакопление происходило лишь местами, когда море вторгалось на сушу, сменившиеся в среднем триасе обширной морской трансгрессией, которая достигла максимума в позднетриасовое время. Триасовый бассейн Западного Кавказа представлял собой краевой залив океана Тетис, с нормальной соленостью. Этот залив был открыт с северо-запада и запада и имел связь с геосинклинальным Крымско-Кавказским бассейном. С триаса происходит смена климатических, тектонических и палеогеографических условий. Аридная обстановка постепенно сменяется гумидной (рис.1).

Рассеянное органическое вещество нижнетриасовых отложений в разрезах пробуренных скважин не охарактеризовано. В среднем триасе теплый климат вызвал расцвет как наземной, так и морской жизни, а интенсивное прогибание, и, соответственно, быстрое захоронение и наличие слабо восстановительной и восстановительной обстановок обусловило в нем довольно высокое содержание ОВ. В разрезах на севере остаточное содержание Сорг. меняется от 0,13 до 4,56 % на породу, среднее 1,01 %. Совсем другие условия осадконакопления существовали на юге изучаемой территории, где отлагались терригенно-карбонатные и карбонатные породы. Содержание Сорг. в аргиллитах и известняках в разрезах пробуренных скважин варьирует от 0,01 до

1,19 % на породу, среднее 0,39 %. В верхнетриасовых отложениях величина Сорг. в разрезах площадей на севере колеблется в пределах 0,59-2,76 % на породу (среднее 0,81 %). В южной части района верхнетриасовые отложения, представленные органогенными известняками, охарактеризованы лишь в разрезе одной площади, где породы обеднены ОВ (среднее Сорг. – 0,09 %). Общее среднее содержание Сорг. меняется от 0,71 в среднетриасовых отложениях до 0,75 % на породу в верхнетриасовых [2]. Выделяются зоны повышенных содержаний РОВ в северо-западной и в южной части Каневско-Березанского вала (КБВ) и в Иркиевской впадине (ИВ). К концу триасового периода на Кавказе произошло крупное поднятие и общая регрессия моря, и в конце триаса-начале юры вся территория представляла собой сушу, сложенную сложно складчатыми толщами палеозоя и триаса [1, 2].

Юрские отложения распространены как в Западно-Кубанском прогибе (ЗКП), так и в Восточно-Кубанской впадине (ВКВ), которая представляет собой крупную (250x75км) внутриплатформенную структуру северо-западного простирания. Впадина выполнена мощным комплексом мезо-кайнозойских осадков, которые залегают на отложениях пермо-триасового переходного комплекса или складчатом фундаменте. Фундамент в осевой части впадины залегает на глубинах до 8км, в прибортовых зонах – до 4-5км.

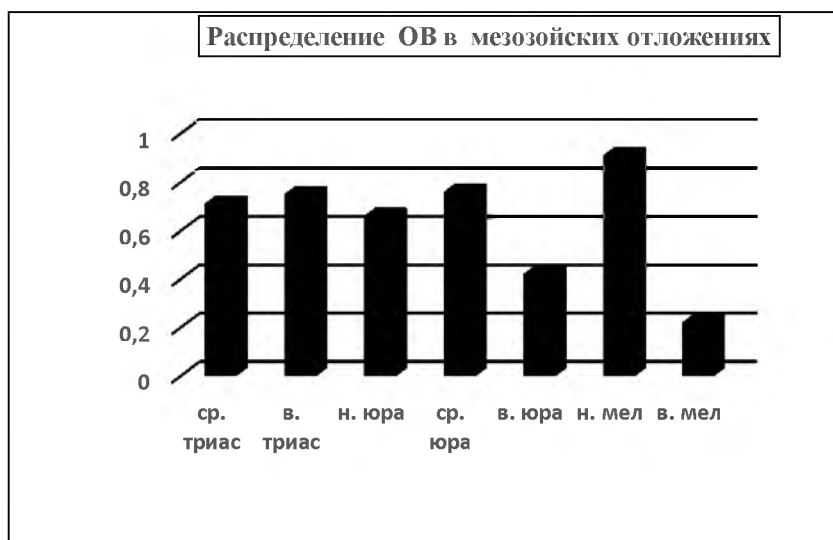


Рис. 1. Распределение среднего содержания рассеянного органического вещества в мезозойских отложениях Западного Предкавказья

На юге наиболее древними, геохимически хорошо изученными являются юрские отложения плинсбаха, представленные терригенными породами. Содержание Сорг. в них меняется от 0,01 до 0,94 % на породу, общее среднее Сорг. составляет 0,47 %. В других районах ЗП плинсбахские отложения не выделяются. К концу плинсбаха произошло повсеместное кратковременное осушение ЗП с местными размывами. Тоарский этап начался максимальным опусканием территории и широкой трансгрессией юрского моря. Средние значения Сорг. в разрезах скважин варьируют в пределах 0,35-1,04 % на породу, среднее Сорг. для всех типов пород составляет 0,56 % на породу. Максимальные содержания ОВ приурочены к зоне сочленения ЗКП и СЗК (пл. Убинская),

нерасчлененный нижнесреднеюрский разрез которой представлен сплошной толщей аргиллитов с углистым детритом с содержанием Сорг. 1- 5 % на породу. По-видимому, появление углистого детрита в разрезе связано с наличием острова в этом районе. Следующая зона повышенных содержаний РОВ (Сорг. более 1 % на породу) выделяется на Адыгейском выступе (АВ) и в зоне его сочленения с Северо-Западным Кавказом. Третья и четвертая зоны выделяется в юго-восточной части и северо-восточной частях Восточно-Кубанской впадины. В конце тоар-ааленского этапа повсеместно проявились регрессия моря, поднятия и складчатость [1, 2].

В среднеюрских отложениях выделяются два седиментационных этапа: байос-нижнебатский и верхний бат-нижнесреднекелловейский (юбилейная свита). Первый этап – регрессивный, поднятия Главного и Передового хребтов образуют единый Кавказский остров, прогиб северного склона заполняется песчано-глинистыми отложениями. В раннем бате темп прогибания замедляется, и в отдельных лагунах отлагаются маломощные угленосные образования. Среднее Сорг. в байос-нижнебатских разрезах меняется от до 0,14 до 1,01 % на породу, среднее 0,67 % [2]. С началом новой трансгрессии в келловейское время море покрыло обширную территорию. Распределение РОВ в разрезах юбилейной свиты крайне неравномерное: Сорг. изменяется в больших пределах – от 0,07 до 9,64 % (среднее 0,78% на породу). Распределение Сорг. в среднеюрских отложениях имеет более сложный характер по сравнению с нижнеюрскими, что связано с большей подвижностью территории в среднеюрское время. На юге ВКВ и на АВ сохраняются те же зоны повышенных содержаний ОВ в породах, что и в раннеюрское время. В верхней юре выделены два седиментационных этапа: верхнекелловей-оксфорд-нижнекимериджский и верхний кимеридж-титонский. В ВКВ отложения кимериджа – нижнего титона расчленяются на две толщи: нижнюю сульфатно-галогенную и верхнюю красноцветную терригенную. Нижняя толща залегает на подстилающих известняках согласно, лишь в краевых частях впадины между ними отмечается небольшой перерыв. В центральных частях впадины ее мощность превышает 1000-1200 м, которая быстро уменьшается к бортам впадины. Сложена она чередованием пластов ангидритов и каменной соли, с редкими маломощными прослоями известняков, мергелей и аргиллитов. Верхняя толща, мощностью до 800м и более, сложена кирпично-красными глинами, аргиллитами с гнездами, линзами и прослоями глин с невыдержанными по площади прослоями песчаников, алевролитов и гравелитов. В центральных частях впадины эта толща постепенно сменяет галогенные образования, по бортам впадины отмечается несогласное залегание.

Несмотря на разнообразный литологический состав, содержание ОВ в породах относительно мало меняется. Средние содержания Сорг. в разрезах верхнего келловей-оксфорда меняются от 0,11 до 0,67 % на породу, общее среднее Сорг. для всех литологических типов пород снижается до 0,49 %. В позднекимеридж-титонское время продолжается изменение условий осадконакопления: происходит смена гумидного климата аридным, и, как следствие, засоление морских вод в ВКВ приводит к угнетению биоты, что, в свою очередь, обуславливает снижение ОВ в породах – до 0,31%. По сравнению с нижезалегающими отложениями в верхнеюрской толще заметно, почти вдвое снижается содержание ОВ, среднее содержание Сорг. для всех литологических типов пород составляет 0,41 % на породу [1].

В ранней юре появились кокколитофориды, получили широкое распространение диатомовые водоросли и динофлагеллаты. На жизнедеятельность этих организмов большое влияние оказывают как климат, так и температура морских вод. Диатомовые водоросли предпочитают прохладные воды с температурой ниже +22 и до +15 градусов Цельсия., тогда как кокколитофориды обитают только в теплых морях.

В начале мелового периода прогибание с накоплением терригенных осадков происходило только в южной части территории. До конца раннего мела происходило последовательное расширение трансгрессии с юга на север. В аптский век трансгрессия расширяется и морем накрывается значительная часть ВКВ, в альбе морской бассейн распространяется на всю исследуемую территорию. Нижнемеловые отложения, трансгрессивно залегающие на различных горизонтах юры, триаса и палеозоя, развиты по всей территории Западного Предкавказья, отсутствуя лишь на небольшом участке западного склона Армави́ро-Невинно́мысского вала (АНВ) и в своде Бейсугского поднятия. Верхнемеловые отложения также распространены повсеместно, за исключением зоны, соответствующей центральной части древнего Шапсуго-Апшеронского вала и юго-западной части Адыгейского выступа. В различных структурно-тектонических зонах меловые отложения, представленные нижним и верхним отделами, значительно отличаются по литологии и стратиграфической полноте

В пределах изученных тектонических элементов РОВ распределено неравномерно, его распределение дифференцировано в соответствии с положением палеоструктурных элементов. В берриасе среднее содержание Сорг. составляет 0,53 %, постепенно повышаясь до 1,26 % в альбе, что связано с трансгрессией моря [1,2].

Карбонатные и терригенные породы верхнего мела характеризуются резкой обедненностью РОВ по сравнению с ниже залегающими отложениями. Среднее содержание Сорг. для всех литологических типов пород снижается до 0,22 % на породу. На подобную обедненность пород оказал влияние не только фациальный и петрографический состав пород, но в основном снижение ОВ в породах обусловлено устойчивыми восходящими движениями, характерными для позднемелового времени. По-видимому, картина распределения Сорг. в породах в позднемеловое время породах отражает наличие в верхнемеловое время в сандоне выделенного В.Л. Егояном (1973) крупного субширотного Западно-Кубанского поднятия, просуществовавшего до маастрихского времени, и его продолжения на востоке в виде отдельных поднятий АВ, ВКВ и АНВ.

Конец позднемеловой эпохи ознаменовался закрытием океана Тэ́тис и осушением территории Западного Предкавказья.

С палеогена в Западном Предкавказье начинается новый цикл седиментогенеза – кайнозойский [3]. Постепенно происходит смена климата на тропический.

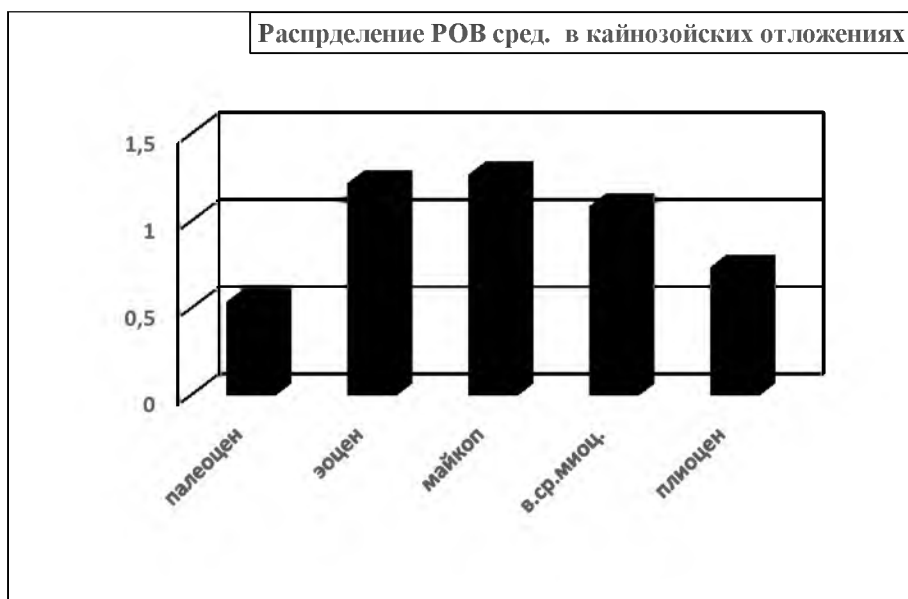


Рис. 2 Распределение среднего содержания рассеянного органического вещества в кайнозойских отложениях Западного Предкавказья

По сравнению с ниже залегающими верхнемеловыми палеоценовые отложения обогащены POV, и общее среднее содержание ОВ в палеоценовых отложениях повышается до 0,54 % на породу. В составе POV преобладает углистый материал, приуроченный к базальной свите циге и который доминирует в палеоценовом разрезе в пределах АВ и ВКВ (рис. 2). Аномальные зоны повышенных содержаний POV в палеоценовых отложениях приурочены к АНВ, Расшеватско-Кропоткинской зоне (РКЗП), к северо-западной и южной части КБВ [3]

В эоценовое время территория Азово-Кубанском нефтегазоносном бассейне продолжала оставаться областью устойчивого погружения с отчетливо выделяющимся узким и глубоким Афипским трогом. К северу и востоку от Афипского прогиба существовал более мелководный морской бассейн, в котором отлагались глинисто-известковые и песчаные осадки

В эоценовых отложениях общее Сорг. среднее повышается до 1,25 % на породу. Среднее содержание Сорг. в нижнеэоценовых отложениях не превышает 0,15 % на породу, в среднеэоценовых среднее Сорг. составляет 0,85 %, в верхнеэоценовых эта величина еще выше и достигает 1,48 % на породу. Увеличение содержания POV в эоценовых отложениях происходит с севера на юг и от более древних отложений к более молодым. Аномальные зоны повышенных содержаний POV связаны с южным бортом ЗКП и с юго-западным бортом ВКВ [3, 4, 5].

В олигоценовое время территория ЗП продолжала формироваться как область нисходящих движений. Общее среднее содержание POV в майкопских отложениях сопоставимо с эоценом – 1,27% на породу. Среднее содержание Сорг. в нижнем олигоцене составляет 0,93 % на породу, увеличиваясь в майкопской свите до 1,3% (олигоцен - нижнем миоцен). Обогащенность пород POV возрастает с севера на юг и с востока на запад. Зоны повышенных значений

содержания РОВ фиксируются как и в эоцене на южном борту ВКВ, в ЗКП, и в южной части Каневско-Березанского вала [3, 4, 5].

В средне- и позднемиоценовое время накопление и преобразование отложений происходило в несколько иных условиях по сравнению с майкопскими, что отразилось в первую очередь на строении изученных разрезов, особенно разрезов северного борта. Общее среднее содержание РОВ по сравнению с нижнемиоценовыми отложениями здесь снижается и составляет 1,14 % на породу. Обогащенность органическим веществом возрастает от среднемиоценовых отложений (среднее Сорг. составляет 1,05 %) к верхнемиоценовым (1,33 % на породу). В понтических отложениях наблюдается резкое снижение среднего содержания РОВ до 0,82% на породу. Максимальные содержания РОВ отмечаются на западе региона в северной и южной частях ЗКП [3].

Плиоцен. В киммерийское время сохраняются те же условия осадконакопления, что и в понте, продолжается обмеление бассейна. Верхи киммерия-куяльника отвечают стадии полного заполнения прогиба осадками, и в конце плиоценового времени на территории ЗП господствует континентальный режим. Среднее содержание РОВ в разрезах скважин плиоценовых отложений меняется от 0,1 до 1,81 % на породу, тогда как общее среднее для всех типов пород не превышает 0,73 %. От нижнего плиоцена к верхнему наблюдается постепенное снижение средней величины Сорг.: 0,77 % и 0,37 % на породу соответственно.

Таким образом, к особенностям седиментогенеза мезозойско-кайнозойских отложений можно отнести: в триасовое время – различные условия накопления РОВ в разновозрастных бассейнах. На юге осадки терригенно-карбонатной формации накапливались в зоне подвижного края платформы, тогда как на севере осадки терригенной формации формировались в грабенообразных впадинах, приуроченных к системе разломов, протягивающихся вдоль северного и восточного краев. Основной закономерностью распределения РОВ по горизонтали является снижение его содержания с севера на юг, и по вертикали от более древних отложений к более молодым. В триасе цикличность 2-го порядка, прослеживающаяся отдельно на юге и на севере территории по содержанию РОВ, имеет одинаковую направленность. Максимальное накопление РОВ связано с начальной стадией трансгрессивно-регрессивного цикла, что характерно для осадков полуконтинентального типа и прибрежно-морских равнин.

Накопление РОВ нижнеюрских отложений происходило в едином морском бассейне в относительно стабильных условиях в начальную трансгрессивную стадию, что обусловило относительно однородную обогащенность пород РОВ и упрощенную картину его распределения в регионе. В среднеюрское время в периоды активизации тектонических процессов при изменении глубин морского бассейна и его границ происходило изменение скоростей осадконакопления, переотложение осадков, что обусловило более пеструю картину его распределения в осадках. В позднеюрское время в ВКВ на фоне регрессии и изменения климата в условиях лагунного осадконакопления с повышенной соленостью вод происходило угнетение биоты и, как следствие, резкое обеднение пород РОВ. Для юрского этапа седиментогенеза, как и мелового, максимальное накопление РОВ приходится на среднюю часть седиментационного цикла, что связано с условиями формирования морских

осадков в центральных частях эпиконтинентальных и внутренних морских бассейнов.

Раннемеловой этап седиментогенеза определялся большими размерами бассейна, и, соответственно, различными скоростями накопления РОВ в регионе. Дифференцированность распределения РОВ определяется положением палеоструктурных элементов по отношению к источникам сноса.

Анализ распределения содержания РОВ в мезозойских отложениях показал, что общее распределение РОВ в ЗП обусловлено трансгрессивно-регрессивной цикличностью, в результате которой на фоне крупного мезозойского мегацикла седиментогенеза и постепенного снижения среднего содержания РОВ в породах от раннего триаса к позднему мелу выделяются трансгрессивно-регрессивные циклы более мелкого порядка [2]. Такая же картина отмечена и для кайнозойских отложений [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что как в мезозойский, так и в кайнозойский этапы седиментогенеза, картина распределения РОВ в отложениях свидетельствует об определяющей роли влияния тектонических процессов на количественное содержание РОВ в породах по сравнению с климатическим влиянием. Мезозойская эра в Западном Предкавказье в течение триаса, юры и мела характеризуется в основном теплым гумидным климатом. В Западном Предкавказье влияние аридного климата на литологический состав пород и содержание РОВ отмечается только в верхнеюрских отложениях Восточно-Кубанской впадины, которая представляла собой глубоко погруженную в тело платформы впадину в виде овала, в которой в позднеюрское время происходило интенсивное испарение и засоление вод., и, как результат, формирование гипсов, галита, ангидритов.

Лтература

1. Микерина Т.Б. Закономерности распределения органического вещества в мезозойских отложениях Западного Предкавказья Северо-Западного Кавказа // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 8. С. 32–42.
2. Микерина Т.Б. Циклы седиментогенеза и закономерности накопления органического вещества в мезокайнозойских отложениях Западного Предкавказья и Северо-Западного Кавказа // Геология нефти и газа. 2019. № 2. С. 89-99.
3. Микерина Т.Б. Закономерность накопления и преобразования органического вещества неогеновых отложений в разрезе сверхглубокой скв. СГ-12000-Кубанская. Доклады в трех томах юбилейной конференции "Нефтегазовая геология на рубеже веков, прогноз, поиски. Т.2 Стратиграфия, общая геология, региональный прогноз. С. 282-285. Санкт-Петербург, 1999.
4. Коноплев М.Ю., Микерина Т.Б., Моллаев З.Х., Попков В.И. Влияние особенностей осадконакопления на состав и преобразованность чокракских и майкопских отложений Западно-Кубанского прогиба // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. № 10. С. 44–51.
5. Микерина Т.Б., Фадеева Н.П. Цикличность накопления органического вещества в кайнозойских отложениях Азово-Кубанского нефтегазоносного бассейна // Вестник Московского университета. Сер. Геол. 2013. Т. 68. № 4. С. 234–241.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ СУНЖА (В ПЕРИОД 2000-2022 ГГ.)

© **З.Ш. Орцухаева¹, Л.И. Магомадова²**
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

Аннотация. В статье анализируются гидрологические характеристики реки Сунжа в период 2000-2022 гг. Рассматриваются географические особенности протекания реки Сунжа и впадающие в неё водотоки. Выявляются гидрографические характеристики водосбора Сунжи и особенности её годового водного режима. Приводятся характеристики среднегодового и минимального стока реки Сунжа, показатели стока наносов и мутностей. Выявляются физико-химические свойства воды Сунжи и динамика её гидрохимических показателей.

Ключевые слова: река Сунжа, гидрологические характеристики, русло, сток, загрязнение.

Гидрологические характеристики выступают ключевыми показателями водотока, которые определяют минимальные и максимальные уровни, расходы и скорости течения [3]. Их выявление позволяет оценить условия существования водотока, степень его воздействия на окружающую среду и возможности защиты внутренних водных пространств. Для создания эффективных программ восстановления и управления реками необходимо понимание переменных режимов течения реки, экологической и физической перспектив водосборных бассейнов, что делает актуальным исследование гидрологических характеристик реки Сунжа, воды которой в 1990-е гг. были загрязнены вредными веществами так, что концентрация последних превышала допустимые показатели в несколько раз [9].

Целью работы является изучение гидрологических характеристик реки Сунжа в период 2000-2022 гг.

Методы. Для её достижения были использованы аналитический, синтетический, индуктивный и дедуктивный методы обработки тематических исследований, научных публикаций и релевантных литературных источников.

Река Сунжа является последним притоком первого порядка реки Терек, впадающим в 177 км от её устья, и главной водной артерией Республики Ингушетия [4]. Длина реки составляет 278 км, общая площадь водосбора – 11 212 км². Исток Сунжи находится в пределах территории Северной Осетии и берёт начало из родников в районе Чёрных гор, на водоразделе рек Асса и Камбилеевка, в западной части передовых отрогов Лесистого хребта.

Верхний участок Сунжи, продолжающийся от истока до г. Карабулак, имеет характер горной реки. В Карабулаке река меняет направление на восточное и начинает течь по тальвегу Чеченской котловины, на расстоянии 5-8 км южнее Сунженского хребта. Вследствие протекания вдоль хребта Сунжа лишена притоков с левой стороны и имеет низкие уклоны: средневзвешенный уклон русла составляет 2,2 ‰. Пойма реки отличается значительной извилистостью, русло на большую глубину покрыто аллювиальными отложениями.

Сунжа имеет разветвлённую гидрографическую русловую сеть с множеством правобережных горных притоков [8]. В высокогорной части

бассейна реки располагаются более 6000 малых водотоков. В Сунжу на соответствующем расстоянии от устья впадают следующие водотоки:

- проток реки Валерик – 12 км;
- водоток Чёрная, проток реки Гордалинка – 14 км;
- водоток Гордалинка, проток реки Аргун – 15 км;
- проток реки Гехи – 16 км;
- река Белка – 22 км;
- река Малый Шаудон – 29 км;
- река Джалка – 34 км;
- река Аргун – 39 км;
- река Нефтянка – 46 км;
- водоток Назранка, проток реки Камбилеевка – 68 км;
- река Гойта – 97 км;
- река Мартан – 112 км;
- река Гехи – 116 км;
- река Валерик – 132 км;
- река Асса – 137 км;
- река Сурхохи – 239 км;
- канал Алханчуртовский – 515 км.

Наиболее крупным притоком является река Асса. Её длина составляет 133 км, площадь водосбора – 2060 км².

Сунжа имеет извилистое меандрирующее русло [5]. Её ширина находится в пределах 10-30 м, глубина – 0,4-0,7 м, скорость течения – 1,1-1,2 м/с. Расход реки прямо пропорционален интенсивности снеготаяния в горах и количеству выпадающих осадков. Количество осадков в бассейне Сунжи не превышает 500-800 мм. Основные гидрографические характеристики водосбора реки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные гидрографические характеристики водосбора реки Сунжа

Гидрологический пост	Карабулак	Грозный	Брагуны
Расстояние от истока, км	55	179	257
Уклон реки средневзвешенный, %	11	3,5	2,3
Площадь водосбора, км ²	609	4820	12200
Средняя высота, м над ур. м.	840	860	1370
Озёрность, %		<0,01	<0,01
Лесистость, %	35	35	25
Распаханность, %	10	2	5
Ледники, %	–	0,22	0,37

Основной фазой в водном режиме Сунжи является период с мая по июль, для которого характерно максимальное выпадение осадков, что приводит к сильному увеличению уровня воды в реке и её расходу. Период минимального

выпадения осадков, с января по март, соответствует наименьшим уровню и расходу реки. Следовательно, в питании реки Сунжи доминирующую роль играет поверхностный сток. При этом колебания стока реки достигают $\pm 50 \div 100$: месячный сток может быть в 3-4 раза меньше или больше средней величины [6]. Коэффициенты изменчивости годового стока равны 0,24-0,3.

После впадения в Сунжу реки Асса годовой ход уровня воды поднимается при весенне-летнем половодье, которое начинается в апреле из-за таяния снега в предгорной и равнинной частях бассейна и достигает наибольшей высоты в июне-июле [7]. В сентябре-октябре длительный спад заканчивается устойчивой осенне-зимней меженью. В период половодья наблюдается суточный ход уровня воды, который обусловлен интенсивностью дождей паводков и суточным ходом температуры воздуха. Амплитуда суточных колебаний на реке Сунжа достигает 80-170 см. В бассейне Сунжи от истока до с. Брагуны насчитывается 68 ледников общей площадью обледенения 27,4 км², что составляет 0,22 % площади водосбора.

В 21 км от истока (с. Брагуны) норма стока Сунжи составляет 85,1 м³/с, коэффициент вариации Cv – 0,17, коэффициент асимметрии Cs – 0,2 [8]. В 99 км от истока (г. Грозный) норма стока равна 33,7 м³/с, коэффициент вариации Cv – 0,24, коэффициент асимметрии Cs – 0,5. Характеристики среднегодового стока реки приведены в табл. 2, минимального стока – в табл. 3.

Таблица 2

Характеристики среднегодового стока реки Сунжа

Гидрологический пост	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Среднемноголетний расход воды, м ³ /с	Модуль стока, л/(с·км ²)
Карабулак	609	840	2,95	4,84
Грозный	4820	860	37,8	7,85
Брагуны	12200	1370	83,2	6,59

Расход восстановленного годового стока по водохозяйственным участкам Сунжи с балансовыми поправками составляет 39,99 м³/с, объём – 1261,1 млн. м³.

Таблица 3

Минимальный сток реки Сунжа

Гидрологический пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Сезон	Среднемноголетние параметры минимального стока		
				Расход, м ³ /с	Cv	Cs
Грозный	99	4820	Лето			
			Зима	17,6	0,18	1,1
Брагуны	0	12200	Лето			
			Зима	42	0,18	0,5

Для верховьев реки Сунжа характерны максимальные значения модуля стока. Среднемноголетняя величина модуля стока наносов – 76 т/(км²·год). Реке свойственны повышенные значения мутности: в верховьях (Карабулак) они

составляют $0,55 \text{ кг/м}^3$, ниже по течению (Брагуны) – $3,19 \text{ кг/м}^3$. В табл. 4 приведены показатели стока наносов и мутностей.

Таблица 4

Показатели модулей стока наносов и средних многолетних мутностей воды реки Сунжа

Гидрологический пост	Площадь водосбора, км^2	Модуль стока наносов, т/км^2	Средняя мутность, г/м^3
Карабулак	609	76	554
Грозный	4820	452	1923
Брагуны	12200	723	3194

Физико-химические свойства воды в реке обусловлены преимущественно климатическими условиями и литологической спецификой берегов. Минимальные значения минерализации приходятся на период максимального выпадения атмосферных осадков, максимальные – на период минимального выпадения осадков. Речным водам присуща тенденция нарастания минерализации и усложнения химического состава при движении от снежников и ледников вниз по течению. В устье реки Сунжа минерализация воды составляет 900 мг/л , в правых притоках, ниже Ассы, – 1 г/л . В правых притоках нижнего течения Сунжи содержание ионов HCO_3 составляет 25-14 %, ионов SO_4 – до 35 %.

Согласно исследованиям 2009 г., в воде Сунжи концентрации нефтепродуктов, сульфатов и железа превышали предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 2,10-2,32 раза [1]. Данные показатели связаны с массовым сбросом нефтепродуктов в реку Нефтянка, продолжающимся на протяжении двух месяцев в 1993 г., когда в Сунже концентрация нефтепродуктов превышала ПДК в 400 раз [11]. Помимо этого, в 2002 и 2005 гг. в Грозном были затоплены территории нефтеперерабатывающего комплекса, что привело к концентрации нефтепродуктов в воде в 10 ПДК и более.

Исследования 2014-2015 гг. свидетельствуют об улучшении гидрохимических показателей воды: концентрация нефтепродуктов составляла 0,06-0,07 ПДК. В период с 2013 по 2017 гг. гидрохимические показатели также улучшались: Сунжа стала соответствовать гигиеническим нормам по содержанию загрязняющих веществ (нефтепродуктов, сульфат-, нитрат- и хлорид-ионов), БПК₅, pH и наличию растворённого кислорода [2]. Вопросы усиления хозяйственной деятельности общества и их последствий рассматривались авторами также и в работе [12].

Таким образом, река Сунжа на протяжении длительного времени находилась под влиянием нефтяного загрязнения. Анализ гидрохимических характеристик показал, что в период 2000-2022 гг. происходило улучшение качества вод реки. В настоящее время качество воды реки Сунжа соответствует гигиеническим нормам, однако с учётом возрастающей антропогенной нагрузки требуется постоянный мониторинг гидрохимического состава речной воды для своевременного выявления источников попадания загрязняющих веществ в воду.

Литературы

1. *Асхабова Х.Н., Ильхаева З.С., Оздыханов М.С.* Мониторинг экологического состояния водных объектов Чеченской Республики // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 8. С. 71-76.
2. *Асхабова Х.Н., Ильхаева З.С., Солтамурадов Г.Д.* Мониторинг химико-токсикологических показателей крупных рек Чеченской Республики // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2021. № 56. С. 61-64. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-56-82-61-64
3. *Великанов Н.Л., Наумов В.А., Корягин С.И.* Определение гидрологических характеристик реки с учётом региональных особенностей // Технико-технологические проблемы сервиса. 2022. № 3 (61). С. 18-23.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Ингушетия в 2018 году». Магас, 2019. 148 с.
5. Генеральный план МО сельское поселение Троицкое Сунженского муниципального района Республики Ингушетия. Том I. Анализ состояния территории, проблем и направлений комплексного развития. М.: ЦНИИП градостроительства РААСН, 2010. 130 с.
6. *Орцухаева З.Ш., Магомадова Л.И.* Система мониторинга наводнений на реке Терек // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований: материалы II Международной научно-практической конференции / под ред. Н.В. Емельянова. 2020. С. 252-260. DOI: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1143-6-2020-252-260.
7. *Пономарёв Н.К., Синиченко Е.К.* Прогноз изменения уровней при прохождении высоких вод в бассейнах рек Аргун и Сунжа // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2013. № 1. С. 37-42.
8. Река Сунжа: Государственный водный реестр [Электронный ресурс] // Минприроды России. URL: <http://textual.ru/gvr/index.php?card=173405> (дата обращения 28.12.2022).
9. Мониторинг экологического состояния рек Чеченской Республики / *М.Ш. Саидова, Х.Н. Асхабова, М.С. Оздыханов, К.А. Шуаипов* // Юг России: экология, развитие. 2012. № 4. С. 113-115.
10. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек (российская часть бассейна). Книга 1. Общая характеристика речного бассейна: Приложение 1 к приказу Западно-Каспийского бассейнового водного управления от 10.11.2014 N 62-П. 166 с.
11. *Масаева Л.М.* Гидробиологическая характеристика реки Сунжа (Чеченская Республика) в современных условиях: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18. Астрахан. гос. техн. ун-т. Астрахань, 2008. 24 с.
12. *Орцухаева З.Ш., Магомадова Л.И.* К проблеме образования речных наносов (на примере реки Терек) // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2023. Том 8. №2 (32). С. 39-44.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИОННОГО СТОКА РЕКИ ЛАБЫ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© О.С. Решетняк^{1,2}, Р.С. Комаров^{1,2}

¹ ЮФУ, Ростов-на-Дону

² Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону

Аннотация. В рамках исследования изменчивости химического стока рек бассейна Кубани выполнена оценка изменчивости стока макрокомпонентов (гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, ионов кальция, магния, суммы ионов натрия и калия) реки Лабы. За период с 2001 по 2020 гг. выделена антропогенная составляющая (АС) ионного стока и его составляющих по пятилетним периодам. Для расчета ионного стока и его основных компонентов использованы многолетние гидрологические и гидрохимические данные государственной наблюдательной сети Росгидромета в части поверхностных вод суши. Значения ионного стока в бассейне реки Лабы изменялись в широких пределах от 474,3 до 1925,8 тыс. т без четкой тенденции во времени. Выявлены тенденции к снижению объемов стока сульфатов и суммы ионов Na^+ и K^+ . Наибольший вклад из анионов в ионный сток вносят гидрокарбонаты и сульфаты (суммарно более 60 %), из катионов – ионы Ca^{2+} (около 16 %). АС стока макрокомпонентов имеет положительные значения за исключением стока ионов кальция. В динамике АС компонентов ионного стока выделены две тенденции: снижение АС стока суммы ионов ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) и возрастание АС стока ионов магния.

Ключевые слова: бассейн Кубани, река Лаба, главные ионы, ионный сток, антропогенная составляющая стока, антропогенное воздействие

Введение

В современных условиях природопользования и глобальных климатических изменений бассейн Кубани имеет важное социально-экономическое значение не только для Краснодарского края, но и в целом для Юга России с точки зрения обеспечения водными ресурсами нужд населения, промышленного и сельскохозяйственного секторов региона [12].

Как было показано ранее, формирование водного и химического стока реки Кубань и ее притоков происходит в условиях высокой антропогенной нагрузки и низкой водообеспеченности территории, что, в свою очередь, приводит к нарушению гидрохимического режима рек в бассейне. Основными потребителями водных ресурсов реки Кубань и ее наиболее крупного притока реки Лабы являются: предприятия ЖКХ и водоснабжения, промышленность и гидроэнергетика, орошаемое земледелие, рыбное хозяйство и др. [12].

В пределах Северо-Западного Кавказа (Краснодарский край и Республика Адыгея) бассейн реки Лабы является наиболее значительным по своей площади и водоносности после бассейна реки Кубани [7]. Общая площадь водосборного бассейна составляет 12 500 км², средняя высота водосбора – 700 м. Длина собственно реки Лабы – 214 км (вместе с рекой Большой Лабой – 341 км). Водосборный бассейн реки Лабы по своему очертанию ассиметричен, левобережная часть бассейна больше как по площади, так и по количеству притоков. Всего Лаба принимает 4776 притоков, их общая длина – 10 500 км. Наиболее крупные левые притоки: Ходзь, Чехрак, Фарс и Гиага. Самый крупный правобережный приток – река Чамлык. Характер долины реки Лабы, ее

течение, водный режим и химический состав воды меняются от истоков к устью, так как река пересекает целый ряд различных физико-географических ландшафтов [7, 11].

Особенности водного режима реки Лабы заключаются в значительных колебаниях расхода воды по сезонам года. Паводки характерны во все сезоны кроме зимнего. Основные причины паводков в бассейне реки Лабы – это весеннее снеготаяние, летнее таяние ледников и осенние ливни. Наиболее высокие уровни и расходы воды (до $685 \text{ м}^3/\text{с}$) наблюдаются в весенне-летний период, а минимальные уровни и расходы (до $6 \text{ м}^3/\text{с}$) отмечены в осенне-зимний период. Река Лаба выносит в реку Кубань за год свыше 3 млрд. м^3 воды и около 1,3 млн. т наносов [4].

Бассейн реки Лабы характеризуется крайней неоднородностью физико-географических условий. В работе [7] изучена зависимость средних величин атмосферных осадков по водосбору реки Лабы и годового стока рек от высоты местности. Наряду со средней высотой водосбора на формирование стока оказывает влияние и ряд других факторов (особенности геологического строения, орографии, почвенно-растительного покрова, климата и другие).

Особенности речного стока будут влиять на формирование химического стока с водосбора, который, как и в большинстве речных бассейнов Юга России, подвержен влиянию различных стоков от промышленных объектов, ЖКХ и сельского хозяйства. Река Лаба и ее притоки принимают в год свыше 60 млн. м^3 сточных вод, значительная часть которых недостаточно очищена, что составляет около 3% годового стока [7].

Гидролого-гидрохимический режим и ионный сток реки Лаба недостаточно хорошо изучен, что и обуславливает актуальность настоящего исследования, цель которого – изучить многолетнюю изменчивости ионного стока в бассейне реки Лабы и оценить его антропогенную составляющую.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на основе многолетних гидрологических (расход воды в пункте наблюдений) и гидрохимических (значения концентраций главных ионов и минерализации воды) данных государственной наблюдательной сети Росгидромета в части поверхностных вод суши. Исходная информация представляет собой ряды данных о расходах воды, концентрациях макрокомпонентов в воде – гидрокарбонатов (HCO_3^-), хлоридов (Cl^-), сульфатов (SO_4^{2-}), ионов кальция (Ca^{2+}), ионов магния (Mg^{2+}), суммы ионов натрия и калия ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) за период с 2001 по 2020 гг. на устьевом участке реки Лаба в районе х. Догужиев (17 км от устья, площадь водосборного участка составляет $12\,000 \text{ км}^2$ [10]). Данный пункт наблюдений является замыкающим для реки.

Периодичность отбора проб воды на химический анализ в государственной системе наблюдений определяется категорией пункта в соответствии с нормативным документом [9] и на замыкающем участке реки Лабы в пункте наблюдений х. Догужиев частота отбор проб составила в среднем 4–5 раз в год. Всего за период с 2001 по 2020 гг. было выполнено 87 определений каждого макрокомпонента.

Для анализа водного стока реки Лабы и последующего расчета объемов стока химических веществ использованы многолетние данные, собранные из архивных изданий Росгидромета и Автоматизированной информационной

системы государственного мониторинга водных объектов [1]. Сначала проведен был пересчет данных по расходам воды в пункте наблюдений на водный сток (W , км³). Для расчета объема стока воды W использовали коэффициент пересчета 0,0315.

На основе данных о концентрациях главных ионов и значениях годового стока воды выполнен расчет ионного стока реки Лабы за определенный временной период. Расчет проводили прямым способом по формуле [3]:

$$G = \sum_{i=1}^m W_i \bar{C}_i,$$

где G – количество перенесенного вещества за расчетный период, тыс. т;

m – число интервалов расчетного периода;

W_i – объем стока воды за i -й интервал расчетного периода, км³;

$\bar{C}_i$ – средняя концентрация вещества за i -й интервал расчетного периода, мг/дм³.

Для оценки антропогенной составляющей ионного стока использовали метод «реперов», предложенный в работах [5, 6]. В качестве «репера» рекомендуется рассматривать содержание и сток гидрокарбонатов (HCO_3^-). Поскольку в речных водах концентрация гидрокарбонатов определяется в первую очередь карбонатно-кальциевым равновесием, то, несмотря на дополнительный привнос из антропогенных источников, их содержание в речных водах остается относительно стабильным, что обусловлено низкой растворимостью карбоната кальция. Метод «репера» основан на геохимическом поведении элементов и не имеет ограничений по тесноте связей между гидрохимическими и гидрологическими параметрами.

В качестве условно фонового периода для оценки антропогенной составляющей ионного стока в целом для бассейна Кубани и реки Лабы принят период 40-х – 60-х годов прошлого века. Данные о фоновых характеристиках ионного стока и его компонентов взяты из публикации О.А. Алекина [2] и дополнительно рассчитаны по первичным данным, собранным авторами из госфонда данных Гидрохимического института («ФГБУ «ГХИ») за период с 1950 по 1954 гг.

Расчет антропогенной составляющей (АС) ионного стока реки Лабы выполнен по формуле [6]:

$$G' = G_{\Sigma} - \frac{G_{\text{HCO}_3^-}}{K_{\phi}}$$

где G' – антропогенная составляющая стока рассматриваемого макрокомпонента за расчетный период (тыс. т);

G_{Σ} – суммарный сток макрокомпонента за расчетный период (включающий природную и антропогенную составляющие) (тыс. т);

$G_{\text{HCO}_3^-}$ – сток гидрокарбонатов за расчетный период (тыс. т);

K_{ϕ} – «фоновый» эмпирический коэффициент, равный отношению стока гидрокарбонатов в «фоновый» период к стоку рассматриваемого макрокомпонента, рассчитанного также для «фонового» периода, относительно которого оценивается нарастание антропогенной составляющей ионного стока.

Значения АС можно представлять в абсолютных значениях (в тыс. т или т), а также в относительных (в %). Формула расчета антропогенной

составляющей ионного стока может применяться не только для расчета значений АС относительно фонового периода, но и относительно произвольно выделенного более раннего периода. Для обработки многолетних данных о химическом составе и стоке воды, для расчета общего стока главных ионов и антропогенной составляющей были использованы MS Excel 2010 и пакет прикладных программ Statistica 13.0.

Результаты исследования и обсуждение

На основе данных о среднегодовых концентрациях отдельных главных ионов и значениях объемов годового стока воды выполнен расчет ионного стока и стока макрокомпонентов. В таблице 1 приведены данные об объемах стока главных ионов в воде р. Лабы. Значения ионного стока в бассейне реки Лабы изменялись в широких пределах от 474,3 до 1925,8 тыс. т без четкой тенденции во времени. В изменчивости стока отдельных макрокомпонентов (HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} и Mg^{2+}) тренды также не были выявлены. На фоне относительной стабильности ионного стока в целом отмечались тенденции к снижению объемов стока сульфатов и суммы ионов Na^+ и K^+ .

Из анионов наибольший вклад в ионный сток вносят гидрокарбонаты (49,1 %) и сульфаты (21,8 %), среди катионов в структуре стока преобладают ионы Ca^{2+} (15,8 %). Подобная структура ионного стока сохранялась практически на протяжении всего исследуемого периода. Начиная с 2013 г., несколько изменилось распределение стока катионов – объемы стока ионов Mg^{2+} стали преобладать над стоком ионов Na^+ и K^+ .

Одним из определяющих факторов в изменчивости ионного стока является водный сток: чем он больше, тем большее количество растворенных веществ может быть вынесено рекой с водосборной территории [3]. Это справедливо для естественных условий функционирования речной системы. В условиях антропогенного влияния данная закономерность нарушается. Для выявления степени воздействия хозяйственной деятельности на водосборе и проводится расчет антропогенной составляющей ионного стока.

Таблица 1

Химический сток (тыс. т) главных ионов с водосбора реки Лабы (х. Догужиев) за период 2001-2020 гг.

Объем стока, тыс. т	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ионный сток
Минимальное значение	221,8	100,4	12,2	80,6	16,2	28,0	474,3
Максимальное значение	954,9	410,1	48,3	283,2	83,1	161,4	1925,8
Среднее значение	581,1	258,4	30,8	186,7	45,0	81,2	1183,1

Результаты расчета АС стока макрокомпонентов (в %) с водосбора реки Лабы представлены на рисунке 1. Оценка АС выполнена по пятилетним периодам согласно методике, представленной в работе [6]. Это позволяет не только оценить АС ионного стока в абсолютных или относительных значениях, но и проследить ее динамику за многолетний период.

Как видно из данных рис.1, АС стока макрокомпонентов имеет как положительные, так и отрицательные значения. По сравнению с «фоновым» периодом (1950–1954 гг.) объемы стока большинства главных ионов оказались выше значений базового периода за исключением стока ионов кальция. Наиболее интенсивные изменения стока характерны для суммы ионов Na^+ и K^+ (до 53,2 %), хлоридов (до 28,6 %) и сульфатов (до 22,6 %).

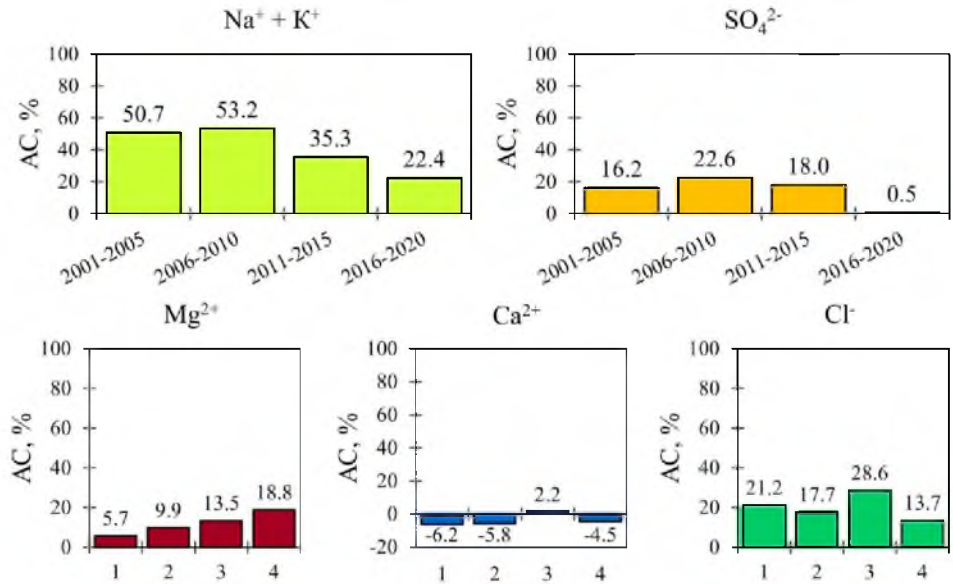


Рис. 1. Динамика антропогенной составляющей стока главных ионов в бассейне реки Лабы

(обозначения на рисунке: периоды 1 – 2001-2005 гг., 2 – 2006-2010 гг., 3 – 2011-2015 гг., 4 – 2016-2020 гг.)

В динамике АС компонентов ионного стока четко прослеживаются две тенденции: снижение АС в стоке суммы ионов ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) и рост АС в стоке ионов магния. Снижение АС в стоке отдельных ионов может быть обусловлено изменениями в гидрологическом режиме реки и снижении поступления дренажных вод, а возрастание стока чаще всего происходит за счет антропогенного воздействия. Река Лаба расположена в освоенном в хозяйственном отношении районе бассейна Кубани и это позволяет нам сделать вывод об антропогенной обусловленности роста концентраций (и соответственно увеличении стока) отдельных макрокомпонентов.

Достаточно постоянный повышенный сток хлоридов (от 13,7 до 28,6 %) с речным стоком объясняется, прежде всего, их высокой миграционной способностью и хорошей растворимостью минералов – хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов. Увеличение стока хлоридов также может быть связано с повышенным содержанием их в промышленно-бытовых сточных водах, в дренажных стоках с орошаемых территорий и т.п.

В среднем АС компонентов ионного стока с водосбора реки Лабы составляла 35,5 тыс. т (40 %) для суммы ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 6,5 тыс. т (20 %) для хлоридов, 40,4 тыс. т (14 %) для сульфатов (SO_4^{2-}) и 5,3 тыс. т (12 %) для ионов Mg^{2+} . Сток ионов Ca^{2+} за исследуемый период оказался ниже «фонового» стока

и АС характеризуется отрицательными значениями во все пятилетия, кроме 2011-2015 гг., когда превышение составило 2,2 % (см. рис. 1).

Отрицательные значения АС стока ионов кальция в среднем имеют низкие значения (-5,5 %) и можно сказать, что эти изменения находятся на уровне погрешностей методов оценки концентраций, расчетов АС и т.п. Как было показано в работе [8], отрицательные значения АС характерны для территорий водосборных бассейнов рек, где техногенная компонента стока данного вещества не сформирована.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволили оценить изменчивость ионного стока и стока макрокомпонентов, выявить динамику антропогенной составляющей стока реки Лабы за многолетний период.

Химический сток макрокомпонентов (главных ионов) с водосбора реки Лабы оценен по замыкающему створу в районе х. Догужиев за период 2001-2020 гг. Значения объемов стока макрокомпонентов достаточно однородны (коэффициенты вариации (C_V) составили от 25 % до 45 %). Значения ионного стока в бассейне реки Лабы изменялись в широких пределах от 474,3 до 1925,8 тыс. т без четкой тенденции во времени. На фоне относительной стабильности ионного стока в целом выявлены тенденции к снижению объемов стока сульфатов и суммы ионов Na^+ и K^+ . Из анионов наибольший вклад в ионный сток вносят гидрокарбонаты (49,1 %) и сульфаты (21,8 %), среди катионов в структуре стока преобладают ионы Ca^{2+} (15,8 %).

Результаты расчета и анализа динамики АС стока макрокомпонентов (в %) по пятилетним периодам с водосбора реки Лабы показали, что АС имеет как положительные, так и отрицательные значения (для стока ионов кальция). Наиболее интенсивные изменения стока характерны для суммы ионов Na^+ и K^+ (до 53,2 %), хлоридов (до 28,6 %) и сульфатов (до 22,6 %). В динамике АС компонентов ионного стока четко прослеживаются две тенденции: снижение АС в стоке суммы ионов ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) и рост АС в стоке ионов магния.

Литература

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) – электронный ресурс: URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 09.12.2022).
2. *Алекин О.А.* Гидрохимия рек СССР. Реки Кавказа и Азиатской территории СССР / Труды ГГИ. 1949. Вып. 15(69). 144 с.
3. *Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Косменко Л.С., Решетняк О.С.* Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние. Ростов-на-Дону, 2015. 164 с.
4. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 355 с.
5. *Максимова М.П.* Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек // Водные ресурсы, 1985. № 3. С. 71-75.
6. *Максимова М.П.* Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря // Географическая среда и живые системы, 2012. № 2. С. 89-96.

7. Мельникова Т.Н. Мониторинг водного режима и комплексное географо-гидрологическое районирование бассейна реки Лабы // Ежеквартальный рецензируемый, реферируемый научный журнал «Вестник АГУ». Выпуск 4 (211) 2017. С. 84-91.
8. Никаноров А.М., Смирнов М.П., Клименко О.А. Многолетние тенденции общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками России в арктические и тихоокеанские моря // Водные ресурсы, 2010. Том 37, № 3. С. 318-328.
9. РД 52.24.309–2016 Организация и проведение режимных наблюдений в пунктах государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2016.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 309 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8: Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 447 с.
12. Решетняк О.С., Комаров Р.С. Тенденции изменчивости химического состава и степени загрязненности воды реки Кубань // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 1 (85). С. 30-40.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НИЗМЕННОГО ДАГЕСТАНА (В ПРЕДЕЛАХ КИЗЛЯРСКОГО РАЙОНА)

© Ш.Г. Самедов

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала

Аннотация. Рассматриваются проблемы микрокомпонентного загрязнения подземных вод Низменного Дагестана в пределах Кизлярского района Республики Дагестан. В условиях складывающейся неблагоприятной ситуации, вопросы рационального использования подземных вод приобретают особую значимость, становится особенно актуальным изучение процессов мышьяковистого, железистого загрязнения, превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) марганца, фенола в пресных подземных водах. Необходимость обеспечения населения Кизлярского района качественными питьевыми подземными водами определяет актуальность проведенных исследований.

Ключевые слова: Кизлярский район, месторождение пресных подземных вод, предельно допустимые концентрации, класс опасности, хозяйственно-питьевое водоснабжение, водоносный комплекс, ресурсы, загрязняющие вещества, водоотбор, водозаборные скважины.

В процессе обследования скважин в Кизлярском районе РД уточнялось местоположение и санитарно-техническое состояние скважин, выяснялся режим работы водозаборов, цель водопользования, химический состав подземных вод.

Были выполнены исследования по изменению химического состава подземных вод с отбором проб воды на химические анализы.

В хазаро-хвалынском ($Q_{II-III}hz-hv$) водоносном комплексе (ВК) в 77% из отобранных проб воды, в бакинском (mQ_1b) – в 90%, в апшеронском (N_2^3ap) – в 88% содержание мышьяка составляет 0,04-0,24 мг/л (4-24 ПДК). [1, 2, 7, 9]

В пределах Кизлярского месторождения ППВ продолжают фиксироваться превышения концентраций – мышьяка более 24,9-63,7 ПДК, кремния 3,8-4,2 ПДК, бора 1,6-6,6 ПДК, брома 2,75-3,4 ПДК. Радиологический фон также немного повышен по альфа-активности (1,35 ПДК).

В пределах выделенного Кизлярского участка устойчивого загрязнения подземных вод выполнена оценка гидрохимического состояния подземных вод основных эксплуатационных водоносных горизонтов (ВГ) – морского нижнеплейстоценового и эоплейстоценового, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения г.Кизляр, на соответствие их качества требованиям СанПиН 1.2.3685-21.

В подземных водах обоих ВГ в 2021г фиксируется постоянно превышение концентраций: по мышьяку более 20 -28 ПДК, при этом периодически отмечены всплески до 60-64 ПДК, бору от 1,59 -8,04 ПДК, брому – 2,1-3,4 ПДК, кремнию -3,34-3,37 ПДК (табл.1).

В 2021г по скв.29п и скв.30п в лаборатории ФГБУ «ВИМС» спектральным методом выполнены контрольные анализы по определению микрокомпонентов в подземных водах, в том числе по мышьяку, составившие 0,21-0,24 мг/дм³ (21-24 ПДК).

По макрокомпонентным показателям превышений содержания элементов не отмечено. Подземные воды в границах Кизлярского участка не отвечают требованиям СанПиН 1.2.3685-21.

За многолетний период наблюдений отмечается, в основном увеличение содержания загрязняющих микрокомпонентов.

Водозабор Кизлярского месторождения пресных подземных вод (МППВ) базируется на одноименном месторождении, эксплуатационные запасы подземных вод которого составляют 65,5 тыс.м³/сут (протокол ТКЗ «Кавказнедра» №15-ПВ от 18.12.2015г).

Освоение месторождения начато с 1998г для хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Кизляр, где проживает 50 тыс.человек.

Таблица 1

Гидрохимическое состояние ПВ в пределах Кизлярского участка

№ скв.	Год опробования	Сухой ост., мг/дм ³	Общая жесткость, мг-экв/дм ³	Аммоний, мг/дм ³	Нитриты, мг/дм ³	Нитраты, мг/дм ³	As, мг/дм ³	Si, мг/дм ³	B, мг/дм ³	Mn, мг/дм ³	Br, мг/дм ³
ПДК	мг/дм ³	1500	7	1,5	3,3	45,0	0,01	25	0,5	0,1	0,2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30п	2020	784		0,40	0,02	29,2	0,203	26,8	1,79	0,054	0,27
	2021	708	0,8	0,18	0,02	1,0	0,281	17,0	3,29	0,023	0,62
	2021						0,638	83,4	0,794	0,05	0,68
29п	2020	768		0,32	0,06	6,6	0,196	29,6	2,00	0,031	0,41
	2021	724	2,8	0,48	5,42	0,4	0,249	17,4	4,02	0,018	0,55
	2021						0,597	84,2	1,03	0,038	0,42

По состоянию на 01.05.2021г водозабор Кизлярского месторождения полностью разбурен по проектному решению (15 скважин пробурены в 2020-2021 гг.) и состоит из 30 водозаборных скважин, из которых – 25 находятся периодически в эксплуатации, 3 – в резерве, 2 – наблюдательные; скважины разбурены ярусно – в одной точке – на нижнелеоплейстоценовый, глубиной в среднем по 360м и эоплейстоценовый, глубиной до 510м водоносные горизонты; расстояние между кустами скважин, в среднем, составляет около 120-125м. [4]

Морской бакинский (mQ_b) водоносный горизонт (ВГ) в границах Кизлярского МППВ вскрывается с глубины 250м и представлен чередованием прослоев песков с глинами, глинами песчаными; вскрытая мощность горизонта – 100 м. На бакинский ВГ в границах месторождения разбурено 15 скважин, из которых – 9 эксплуатируются в режиме самоизлива, – 3 в принудительном режиме (насосами), 2 – резервные, 1 – наблюдательная.

Макрокомпонентный состав подземных вод горизонта - вода пресная гидрокарбонатная натриевая с величиной сухого остатка до 1,0г/дм³, величиной

общей жесткости до 5мг-экв/дм³; микрокомпонентный состав – не устойчив – практически постоянно фиксируются превышения концентраций мышьяка, брома, бора, кремния.

Морской апшеронский (N₂³ар) водоносный горизонт в границах Кизлярского МППВ вскрывается с глубины 430м и представлен чередованием прослоев песка с глинами; вскрытая мощность горизонта – 80 м. На апшеронский ВГ в границах месторождения разбурено 15 скважин, из которых – 6 эксплуатируются в режиме самоизлива, – 7 в принудительном режиме (насосами), 1- резервная, 1 – наблюдательная.

Макрокомпонентный состав подземных вод горизонта стабилен - вода пресная, гидрокарбонатная натриевая с величиной сухого остатка до 1,0г/дм³, величиной общей жесткости до 3мг-экв/дм³; микрокомпонентный состав не устойчив, практически постоянно фиксируются превышения концентраций мышьяка, брома, бора, кремния.

Водозабор Кизлярского месторождения разбурен на общей территории площадью 110х1200 м, которая является зоной санитарной охраны строгого режима, оголовки водозаборных скважин находятся в удовлетворительном техническом состоянии, но не оборудованы водомерной аппаратурой.

Все эксплуатационные скважины на сегодня заведены в общую сеть, по которой вода подается в город Кизляр, в связи с чем, фактический расход по самоизливающим скважинам замерить нет возможности.

В скважинах, где эксплуатация осуществляется насосами – расход определен по производительности насоса и продолжительности его работы.

Общий водоотбор по месторождению за 2020г по данным 2ТП «водхоз» составил 6,04 тыс.м³/сут (9,2% от эксплуатационных запасов), основной водоотбор осуществлялся из апшеронского водоносного горизонта.

Водозабор подземных вод с. Южное является основным и единственным источником водоснабжения населенного пункта, где проживает около 2,0 тыс.человек. Всего на территории с.Южное с 1960г по 2013гг. для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения разбурены 10 водозаборных скважин, из них на апшеронский (N₂³ар) водоносный горизонт – 6, одна – на бакинский (mQ_{1b}), одна – на совместный (mN₂³ар+mQ_{1b}) водоносные горизонты, по двум скважинам возраст не определен; на момент обследования в эксплуатации находились 9 водозаборных скважин, одна (№10/90) – резервная.

Морской бакинский водоносный горизонт (mQ_{1b}) опробован в интервале 272-375м, литологически представлен переслаиванием прослоев песков и глин. На момент бурения (1960г) был получен расход 9,0л/с. В настоящее время скважина эксплуатируется в режиме самоизлива с расходом около 1,0л/с на высоте излива (H_{дин} -0,8м).

По химическому составу подземные воды бакинского водоносного горизонта пресные, сульфатно-гидрокарбонатная натриевая с величиной сухого остатка 0,7г/дм³, величиной общей жесткости 1,6мг-экв/дм³; в пробе выявлено присутствие азотных соединений (нитратов) до 2ПДК; из гостимулируемых компонентов в подземных водах зафиксированы превышения мышьяка – 34,2ПДК, кремния – 1,34ПДК, бора – 3,1ПДК.

Апшеронский (N₂³ар) водоносный горизонт в пределах селения Южное является основным эксплуатационным ВГ, который вскрыт и опробован в интервале 400-580м.

Литология разреза вскрытой мощности представлена переслаиванием глин и песков. Прослой песков различной мощности, от 10 до 70м, выдержаны по простиранию и разделены прослоями глин мощностью 10-30м.

По химическому составу подземные воды, приуроченные к отложениям апшеронского возраста относятся к гидрокарбонатным натриевым с величиной сухого остатка $0,7\text{г/дм}^3$, величиной общей жесткости до $1,3\text{мг-экв/дм}^3$, фиксируется присутствие азотных соединений, не превышающее предельно-допустимых концентраций (нитратов). Из гостимулируемых компонентов в подземных водах зафиксированы превышения мышьяка – 10,3ПДК, кремния – 1,1ПДК, бора – 3,6ПДК.

Водозабор подземных вод в с. Большая Арешевка является основным и единственным источником водоснабжения, где проживает более 1,5тыс.человек.

Всего на территории с. Большая Арешевка с 1958г по 2003гг. для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения разбурены 8 водозаборных скважин, в основном, на апшеронский ($\text{N}_2^3\text{ар}$) водоносный горизонт – 6 и две – на бакинский ($\text{mQ}_1\text{б}$).

Морской бакинский ($\text{mQ}_1\text{б}$) водоносный горизонт опробован в интервале 220-310м; литологически представлен переслаиванием прослоев песков и глин.

По химическому составу подземные воды бакинского ВГ пресные хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с величиной сухого остатка $1,0\text{г/дм}^3$, величиной общей жесткости $2,4\text{мг-экв/дм}^3$.

Из микрокомпонентов (5 гостимулируемых элементов) в подземных водах выявлено превышение ПДК по бору 3,6ПДК и мышьяку 10,9ПДК (табл. 2).

Апшеронский водоносный горизонт ($\text{N}_2^3\text{ар}$) в пределах селения Большая Арешевка является основным эксплуатационным ВГ, который вскрыт и опробован в интервале 360-480 м.

Литология разреза вскрытой мощности представлена переслаиванием глин и песков. Прослой песков – различной мощности – от 10 до 17 м, выдержаны по простиранию и разделены прослоями глин мощностью 8-10 м.

В пределах населенного пункта водоносный комплекс опробован шестью скважинами. На момент бурения были получены расходы от 1,2 до 15л/с; статический уровень фиксировался на высоте (+)38м (1969 г.) - (+)27,0м (1974г.).

По состоянию на 27.07.2021г – скважины эксплуатируются в режиме самоизлива на высоте излива ($\text{H}_{\text{дин}}$) – 1,0 – 1,6м.

По химическому составу подземные воды, приуроченные к отложениям эоплейстоценового возраста, относятся к гидрокарбонатным натриевым с величиной сухого остатка $0,9\text{г/дм}^3$, величиной общей жесткости до $2,4\text{мг-экв/дм}^3$. В микрокомпонентном составе превышения ПДК фиксируются по бору 1,16 ПДК, по бромю – 1,1 ПДК и мышьяку 12,5 ПДК (табл. 2).

Общий водоотбор для хозяйственно-питьевого водоснабжения с.Большая Арешевка по данным статотчетности за 2020г составил $529,9\text{ м}^3/\text{сут}$, по результатам обследования – $864,6\text{ м}^3/\text{сут}$

Водозабор подземных вод в с. Александрийская является основным источником водоснабжения с.Александрийское, где проживает около 2,5тыс.человек

Всего на территории с. Александрийская с 1964г по 2018гг. для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения разбурены 6 водозаборных скважин, в основном, на апшеронский водоносный горизонт ($\text{N}_2^3\text{ар}$) – 3 скважины, совместный ($\text{mN}_2^3\text{ар}+\text{mQ}_1\text{б}$) – 2 скважины и на бакинский ($\text{mQ}_1\text{б}$)– 1 скважина.

Морской бакинский водоносный горизонт (mQ_{1b}) опробован в интервале 320-360м; литологически горизонт представлен переслаиванием прослоев песков и глин. На момент бурения (1966г) был получен расход до 6л/с на 25,0м понижения; уровни подземных вод фиксировались на отметке (+)26м. В настоящее время скважина эксплуатируется в режиме самоизлива с расходом около 1,0л/с на высоте излива ($H_{\text{дин}}$) (+)8,0м.

По химическому составу подземные воды бакинского ВГ пресные хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с величиной сухого остатка 1,6г/дм³, величиной общей жесткости 3,1 мг-экв/дм³. Из микрокомпонентов в подземных водах выявлено превышение ПДК по азотным соединениям (нитритам) 1,4ПДК, кремнию – 1,51ПДК и мышьяку – 9,8ДК.

Апшеронский водоносный горизонт (N_2^3ap) в пределах селения Александрийская является основным эксплуатационным ВГ, который вскрыт и опробован в интервале 450-480м.

Литология разреза вскрытой мощности представлена переслаиванием глин и песков. Прослой песков различной мощности – 10-17 м, выдержаны по простиранию и разделены прослоями глин мощностью до 10м.

Водозабор подземных вод в с. Черняевка является основным источником водоснабжения, где проживает около 2,5 тыс. человек.

Всего на территории с. Черняевка с 1966г. по 2018 г. для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения разбурены 14 водозаборных скважин, в основном, на апшеронский (N_2^3ap) водоносный горизонт – 9, совместный ($N_2^3ap+Q_{1b}$) – 2 и на бакинский (Q_{1b}) – 3 скважины.

Морской бакинский (mQ_{1b}) водоносный горизонт опробован в интервале 290-360м; литологически представлен переслаиванием прослоев песков и глин.

По химическому составу подземные воды бакинского ВГ пресные хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с величиной сухого остатка 1,3г/дм³, величиной общей жесткости 4,6 мг-экв/дм³. Из микрокомпонентов в подземных водах выявлено превышение ПДК по кремнию – 1,01ПДК, мышьяку – 18,2ПДК, аммонiu – 1,4ПДК.

Апшеронский водоносный горизонт (N_2^3ap) в пределах селения Черняевка является основным эксплуатационным ВГ, который вскрыт и опробован в интервале 440-490м.

Литология разреза вскрытой мощности представлена переслаиванием глин и песков. Прослой песков – различной мощности – 18-28м, выдержаны по простиранию и разделены прослоями глин мощностью до 10-13м.

В пределах населенного пункта водоносный комплекс опробован 9-ю скважинами.

По химическому составу подземные воды, приуроченные к отложениям апшеронского возраста, относятся к сульфатно-гидрокарбонатным натриевым с величиной сухого остатка 1,1г/дм³, величиной общей жесткости до 1,8 мг-экв/дм³. В микрокомпонентном составе превышения ПДК фиксируются по мышьяку – 15,4ПДК, по бору – 1,1ПДК, кремнию – 1,4ПДК (табл. 2).

Таблица 2

Содержание микрокомпонентов, выявленных в подземных водах при специальном гидрогеологическом обследовании 2021г

№ н.п.	Номер водопункта	Сухой ост.мг/дм ³	Общая жест-кость, мг-экв/дм ³	Аммо-ний, мг/дм ³	Нитри-ты, мг/дм ³	Нитра-ты, мг/дм ³	As, мг/дм ³	Si, мг/дм ³	B, мг/дм ³	Mn, мг/дм ³	Br, мг/дм ³
пдк	мг/дм ³	1500	7	1,5	3,3	45,0	0,01	20 -25	0,5	0,1	0,2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Водозабор с. Большая Арепевка											
1	188 (N23a p)	888	2,4	0,82	<0.01	0,1	0,125	13,3	0,58	0,009	0,22
2	90-K (Q1b)	1028	2,4	1,36	<0.01	0,2	0,109	10,8	1,78	0,010	<0.2
Водозабор с. Черняевка											
3	27/60 (Q1b)	1280	4,6	2,1	3,50	0,2	0,182	20,2	0,36	0,013	<0.2
4	16/77 (N23a p)	1096	1,8	0,57	0,28	0,1	0,154	34,2	0,56	0,012	0,57
Водозабор с. Александрийская											
5	7/66 (Q1b)	1620	3,1	1,05	4,25	0,2	0,098	30,1	0,38	0,014	<0.2
6	1/95Д (N23a p)	1468	2,0	1,06	5,53	0,1	0,122	22,4	0,92	0,015	<0.2
Водозабор с. Южное											
7	2/60 (Q1b)	716	1,6	0,54	<0.01	90,5	0,342	33,6	1,53	0,007	<0.2
8	102/71 (N23ap)	708	1,3	0,41	1,11	34,5	0,103	27,2	1,81	0,032	<0.2

В целом, по результатам оценки гидрохимического состояния подземных вод в пределах Кизлярского района РД необходимо отметить, что по макрокомпонентным показателям в разрезе от средне-верхнеплейстоценовых до эоплейстоценового ВГ отмечено снижение величины сухого остатка и нитритов: по средне-верхнеплейстоценовому – сухой остаток с 1,1ПДК до 1ПДК. Нитриты не превышают предельно допустимых концентраций. По нижнеплейстоценовому ВГ величина сухого остатка снизилась с 1,4-1,6 ПДК до 1,3 ПДК, по эоплейстоценовому ВГ величина сухого остатка и концентрация нитритов, в основном в пределах предельно допустимых концентраций.

Для подземных вод в пределах Кизлярского района ухудшение качества вод связано с общей гидрохимической обстановкой Северо-Дагестанского

артезианского бассейна, где отмечается подтягивание соленых вод в связи с интенсивной эксплуатацией бассейна [5, 6].

При этом отмечено резкое возрастание значений общей жесткости практически по всем эксплуатационным горизонтам. Качество подземных вод на большей части северной территории Республики Дагестан не отвечает требованиям СанПиН 1.2.3685-21.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. Номер НИОКТР 1021060808495-2-1.5.13.

Литература

1. Информационный бюллетени о состоянии недр на территории Республики Дагестан за 2014 г. Вып. 18, Махачкала: Дагестангеомониторинг, 2015. 192 с.
2. *Карпукович Т.П.* Геологический отчет о результатах работ за 2021г. «Ведение наблюдений на пунктах наблюдательной сети за опасными экзогенными геологическими процессами и подземными водами, камеральная обработка и подготовка материалов оценки состояния недр территории Республики Дагестан». Махачкала: ООО «Даггеомониторинг», 2021. 264 с.
3. *Самедов Ш.Г., Абдулганиева Т.И.* Подземные воды Дагестана: Рациональное использование // *Природа*. 2017. № 7 (1223). С. 52-55.
4. *Самедов Ш.Г., Абдулганиева Т.И.* Использование водных ресурсов и обеспеченность ими населения Республики Дагестан // *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН*. 2016. Вып. 67. С. 318-321.
5. *Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Ибрагимова Т.И. и др.* Влияние техногенной нагрузки на подземные воды в Восточно-Предкавказском артезианском бассейне в пределах Республики Дагестан // *Геология, геодинамика и геоэкология Кавказа*. Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 66. Махачкала. 2016. С. 329-333.
6. *Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И., Бабаев М.Р. и др.* Рациональное использование подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна на Северодагестанской равнине Республики Дагестан // *Вода: химия и экология*. 2016. № 4. С. 87-92.
7. *Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И.* Загрязнение подземных вод равнинной части Дагестана // *Экология и промышленность России*. 2015. Т.19. №5. С.61-63.
8. *Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И.* Гидрохимическое состояние подземных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (в пределах Республики Дагестан) // *Вода: химия и экология*. 2014. №3. С. 3-10.
9. *Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И.* Экологические аспекты содержания мышьяка в подземных водах равнинной части Дагестана // *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Конференция «Почвы Залибеков З.Г.»*, Вып. № 64, Махачкала. 2014. С. 278-281.

ТИПЫ ОПОЛЗНЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
НА БЕРЕГАХ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.

© А.П. Сударев¹, О.В. Ивлиева^{1,2}, В.В. Сапрыкин¹

¹РосНИИВХ, Ростов-на-Дону

²ЮФУ, Ростов-на-Дону

Аннотация. Приведены материалы изучения оползневых деформаций, связанных с процессом абразии. Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет детально проследить за развитием различных типов оползней на берегах Цимлянского водохранилища. Детальные геолого-геоморфологические профили характеризуют динамику оползней и смещение берегового уступа за последние 6 лет. Сделан вывод об изменении механизма деформаций оползней после основного смещения.

Ключевые слова: Цимлянское водохранилище, БПЛА, механизм образования и развития оползней, смещение берегового уступа.

Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГБУ РосНИИВХ) проводит работы по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП) на берегах водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Съёмка берегов выполняется при помощи квадрокоптеров Phantom 4 Pro, Phantom 4 Advanced и Phantom 4 Pro V2.0 производства DJI. Фотограмметрическую обработку материалов аэросъёмки выполняли в Agisoft PhotoScan Professiona [2, 4]. Пространственное разрешение полученных ортофотопланов составило 3 см, цифровых моделей местности — 10 см.

Одним из широко распространенных процессов, вызываемых абразионной переработкой берегов, является оползневой процесс.

Геологическое строение коренного склона и его морфологические характеристики определяют *типы* оползней. По механизму образования и развития деформаций выделяются: *оползни оседания; оползни скольжения; оползни течения* (табл. 1). Основная часть оползней расположена в юго-западной части водохранилища (рис. 1).

Таблица 1
Оползни, развивающиеся на берегах Цимлянского водохранилища

Оползни оседания			Оползни скольжения		Оползни течения
выдавливания	проседания	Выплывания (суффозионные)	вращения	сброса	
Представители групп					
① Оползень в 0,2 км северо-западнее х. Алдабульский	② Оползень в 0,5 км юго-западнее устья балки х. Крутого	③ Оползень в 0,3 км западнее х. Алдабульский	④ Оползень в 1,0 км севернее ст. Малая Лучка	⑤ Оползень на северо-восточной окраине ст. Хорошевой	⑥ Оползень юго-западнее 1,3 км п.Саркел

Группа оползней оседания

Для всех оползней группы характерно наличие основного деформирующегося горизонта (ОДГ) в виде слоя в неоднородных породах или зоны в однородных. Особенностью движения отделившегося блока в группе является оседание за счет погружения, опускания блоков в слабые пластичные породы основания или породы, ослабленные какими-либо процессами [3]. Для оползней этой группы берегов Цимлянского водохранилища разрушение ОДГ происходит под влиянием вторичных внутренних процессов при почти постоянных градиентах напряжений.

Оползни группы подразделяются по названиям основных процессов, формирующих слабое основание. Пространственно тяготеют к площадям развития слабоуплотненных отложений и лёссовидных пород, к толщам переслаивания глин и пылеватых водонасыщенных песков. Возникают при изменении гидрогеологической обстановки.

Оползни выдавливания

Прочностные характеристики пород основания остаются почти постоянные, и разрушение основания происходит в результате возрастания в нем градиента напряжений. Фактором увеличения касательных напряжений выступает абразия.

Оползень в 0,2 км северо-западнее х. Алдабульский характеризуется тем, что под воздействием веса перекрывающей толщи пород из-под ее подошвы выдавливается относительно слабый слой, залегающий ниже подошвы склона (уступа). При этом от примыкающей к склону прибрежной полосы отчленяется новый оползневой блок, который затем смещается почти вертикально вниз, подталкивая и вовлекая в движение ранее образовавшиеся блоки. Подошва оползня почти на всем своем протяжении совпадает с основанием абразионного уступа берега, в пределах сезонного колебания уровня поверхности водохранилища.

На Алдабульском оползне основной деформирующийся горизонт – нагавские глины, перекрывают их отложения скифских глин и эолово-делювиальные лёссовидные суглинки (рис. 2). Примыкающая к оползню поверхность склона интенсивно задернована, сток затруднен. Площадь водосбора поверхностных вод 39,5 тыс.м². Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Разжижение пород, вовлекаемых в смещение, связано с атмосферными осадками, выпадающими на тело оползня, грунтовыми водами и водами, поступающими в тело оползня из водохранилища при высоких уровнях.



Рис. 1. Схема расположения представителей групп оползней.

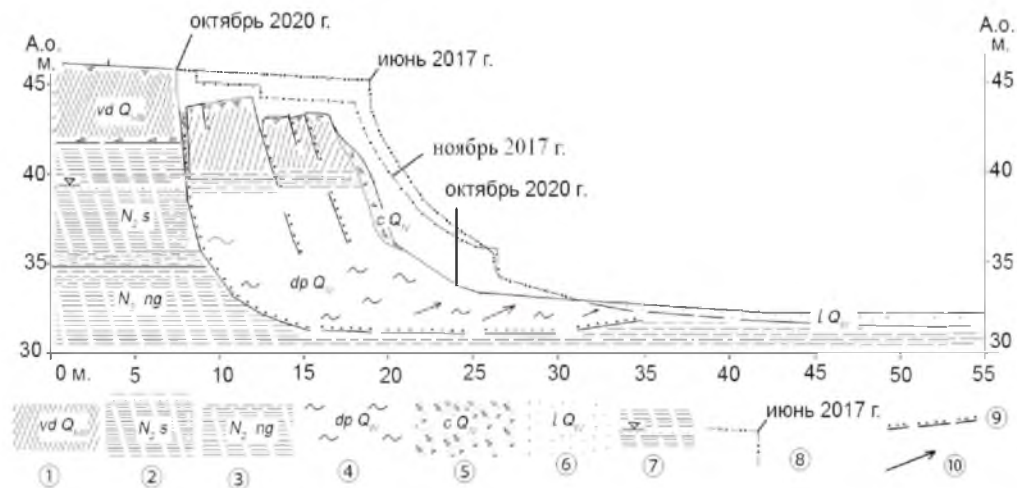


Рис. 2. Геолого-геоморфологический профиль через оползень в 0,2 км северо-западнее х. Алдабульский. Июнь 2017 г. – октябрь 2020 г.

Условные обозначения: 1- золово-делювиальные суглинки; 2 – скифские глины с прослоями песков и алевритов; 3 – нагавские глины; 4 – оползневые отложения – перематые глины; 5 – коллювиальные отложения – дресва суглинков, глин; 6 – лимнические отложения – перематые пески, гравий, глины; 7 – водонасыщенные прослои песков в глинах; 8 – профиль склона на период наблюдения; 9- плоскость смещения оползня; 10 – направление смещения оползневых масс

Оползни проседания

Развиваются в лессовидных породах четвертичного возраста северо – восточнее г. Цимлянска. Так, как лессовидные суглинки залегают на неогеновых и более древних отложениях неравномерным покровом и слагают полностью береговой уступ на небольших участках, данный тип оползней имеет ограниченное распространение.

Возникают при увлажнении нижней части просадочной толщи, сопровождающейся разрушением структурных связей пород и снижением их прочности. В начале процесса оползни имеют все признаки оползней со слабым основанием: трещины закола, отчленение блоков вследствие неравномерного проседания пород на различных участках, оседание блоков. Затем начинается и вязкое течение разжиженных масс, увлекающих и блоки более прочных пород.

Оползень в 0,5 км юго-западнее устья балки х. Крутого, северо-восточнее г. Цимлянска. Размеры оползня по фронту 186 м, по направлению смещения до 21-28 м. Высота уступа срыва 13-15 м. Площадь оползня в апреле 2021 г. составила 4270 м². Основной деформирующийся горизонт – эолово-делювиальные ниже-, средне-, и верхнечетвертичные лессовидные суглинки мощностью более 20,5 м.

С апреля 2018 г. по апрель 2021 г. произошло обрушение нескольких блоков, общей площадью 273 м². Практически, все обрушения произошли северо-восточнее профиля, бровка уступа сместилась на 5,5 м. В пределах профиля отступление головного уступа по инструментальным замерам – 0,5 м. За 4 года профиль оползня существенно не изменился.

Весной 2021 г. в сместившихся, нарушенных породах образовался оползень-поток длиной 30 м, шириной 7 м, площадью 201 м². От уступа отделились блоки по фронту на 5-6 м, площадью около 8 м², язык надвинулся на пляж на 5-6 м. Следы подготовки к смещению наблюдались в июне и октябре 2020 г. в виде новых заколов и небольших смещений по трещинам на коренном склоне.

Оползни выплывания (суффозионные)

Как например, оползень западнее х. Алдабульский и др. Образование их связано с формированием слабого основания под влиянием суффозионных процессов, возникающих при периодическом подъеме и падении уровня водохранилища. Вынос песчано-илистого материала из основания абразионных уступов приводит к образованию трещин, разбивающих породы на блоки и их последующее оседание. Внешне эти оползни схожи с *оползнями проседания*, отличаются наличием в основании уступа песчано-илистой толщи.

Оползень в 0,3 км западнее х. Алдабульский. Размеры оползня – ширина 50 м, длина 12 м, площадь 489 м². Основной деформирующийся горизонт – эолово-делювиальные лессовидные суглинки, залегающие на скифских мелкозернистых песках (рис. 3). Суглинки тяжелые, коричневато-бурые, полосчатые. Мощность суглинков в районе профиля более 6-7 м. Граница суглинков и песков кулисообразная, облекания, проходит на абсолютных отметках 38-39 м.

Пески горизонтально слоистые, кварцевые, мелкозернистые, с редкими прослоями и стяжениями 15-20 см. песчаников. Видимая мощность более 7 м.

Увлажнение грунтовых масс происходит за счет вод водохранилища и атмосферных осадков. Поверхностный сток с коренного склона направлен за пределы оползня.

Язык оползня выдавливается вдоль береговой линии и размывается. Высота языка в зоне размыва до 0,5 м. Выше, под уступом, отмечаются фрагменты разрушающихся блоков суглинков.

Величина отступления уступа по данным Государственного мониторинга водных объектов, в 2008 г. составляла 1,50 м; в 2010 г. – 0,6 м; 2012 г. – 0,1 м; 2018 г. – 1,4 м; 2019 г. – 3,0 м. В среднем отступление за 12 лет по профилю – 0,55 м/год. По данным, полученным с использованием БПЛА, инструментально заверенным на местности, с 2017 по 2021 г. величина отступления составила 1,05 м в год. Объемы переработки берега составили 8,67 м³/м в год.

Группа оползней скольжения

Общим свойством оползней данной группы является зона пластических деформаций в виде поверхности, по которой отделившееся тело смещается относительно неподвижного ложа, оползневое тело (блок) в процессе скольжения не меняет структуру. Все оползни этой группы относятся к блоковым, структурным оползням [3]. По форме и направлению поверхности скольжения относительно поверхности склона подразделяются на оползни вращения и оползни сброса (табл. 1).

Оползень в 1,0 км севернее ст. Малая Лучка. В геологическом строении коренного берега принимают участие скифские глины, перекрытые с поверхности четвертичными суглинками мощностью – 2-3 м и подстилаемые на глубине 20,0 м нагавскими темно-серыми глинами (рис. 4).

Смещение происходит по нагавским и скифским глинам (ОДГ). Породы оползневого тела не содержат единого водоносного горизонта, который формируются за счет аккумуляции атмосферных осадков. Грунтовые воды в пределах оползневого цирка вскрыты скважинами на глубинах 3-5 м, что выше уровня воды в водохранилище.

Оползень по механизму развития относится к оползням скольжения, вращения. Процесс выражается в оседании вновь отчленившегося головного блока, смещении его по поверхности отделения, вращении, появлении бугров и валов выдавливания в фронтальной части оползня на значительном удалении от головного блока. Позднее, по мере размыва языка оползня, процессы отделения новых блоков и их смещения повторяются. Наибольшая глубина захвата оползневыми подвижками прослеживается ниже поверхности водохранилища [1].

На пляже, ширина которого в среднем около 20 м, волновой деятельностью образован абразивный уступ, высотой до 1,0 м. В настоящее время, результаты работ с использованием БПЛА, показали отсутствие аккумуляции в полосе пляжа.

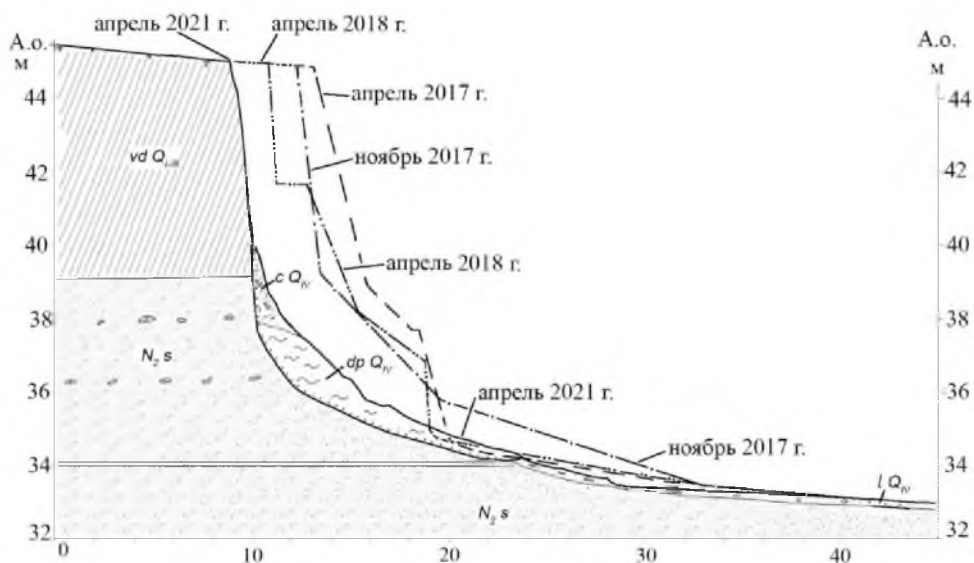


Рис. 3. Геолого-геоморфологический профиль через оползень в 0,3 км западнее х. Алдабульский. Апрель 2021 г. Условные обозначения к Рис. 2.



Рис. 4. Геолого-геоморфологический профиль через оползень в 1,0 км севернее ст. Малая Лучка. Октябрь 2020. Условные обозначения к Рис.2.

В период 2017-2021 г. оползень развивался в существовавших контурах, не захватывая новых площадей. Активизация происходила ранней весной, после увлажнения пород атмосферными осадками и, иногда, абразионным размывом языковой части. Деформации носили преимущественно пластический характер, местами появлялись трещины отрыва и растяжения с незначительными вертикальными смещениями по ранее существовавшим трещинам. В языковой части оползня образовывались мелкие оплывины.

С 1977 по 2021 г. отступление головного уступа оползня составило 27 м. (0,61 м/год), за 2017-2021 г. – 0,86 м (0,17 м/год). Языковая часть с 2020 по 2021г. сместилась на 2,1 – 3,3 м.

Одним из ведущих факторов активизации оползня являются атмосферные осадки. Анализ режима выпадения осадков различных периодов по метеостанции г. Цимлянска выявил осадки, наиболее влияющие на активность оползня – это годовые и зимне-весенние. Абразионный размыв языка

оползня играет второстепенную роль, хотя он привел к образованию самого оползня.

Оползень на северо-восточной окраине ст. Хорошевской развивается в скальных породах – голубовато-серых алевролитах киевской свиты палеогена, разбитых тектоническими трещинами, по которым и происходит смещение типа сброса (рис.5). Ширина оползня 47 м., длина 32 м., площадь 743 м². Превышение головного уступа над языком около 15 м. Язык опускается ниже поверхности водохранилища. Тело оползня с 2017 по 2021 г. почти полностью разрушилось вследствие активной абразионной деятельности и сильной трещиноватости алевролитов, его слагающих.

Группа оползней течения (пластические оползни)

Зона пластических деформаций у оползней данного типа охватывает всю или существенную часть смещающейся толщи, т.е. перемещается не только оползневое тело в целом, но и различные его части относительно друг друга. Поверхность смещения не всегда отчетливая. Ее форма может повторять границу зоны выветривания коренных пород или подошву покровных образований. Оползни течения поверхностные, развиваются как на склонах, вне зоны влияния водохранилища (висячие оползни), так и в языковых частях оползней 1 и 2 групп (*пластические оползни 2 порядка*). К оползням этой группы относятся и сплывы (оплывины) рыхлого материала, скопившегося под абразионными уступами, а также внутриовражные оползни, встречающиеся по бортам оврагов и балок, впадающих в водохранилище.

Оползень юго-западнее 1,3 км п. Саркел – висячий, циркообразный. Максимальная ширина в головной части – 48 м. Язык в форме селеподобного потока шириной 17-20 м и длиной до 51м перетекает через уступ неогеновых известняков и песчаников. Основным деформируемым горизонтом являются неогеновые глины, разжижение которых происходит за счет подземных вод и атмосферных осадков. Глубина захвата в головной части до 5-7 м. Оползневые массы, состоящие из песчано-глинистой смеси с обломками скальных пород, скапливаются в основании уступа и размываются.

В 2002 г. площадь оползня составляла 650 м², в 2011 г. – 1573 м², в 2021 – 1825 м². Активизация оползня чаще происходит в его верхней части – области питания языка-потока, в контурах существующего оползня. Рост общей площади связан с вовлечением в смещение пород коренного склона выше головного уступа и ранее смещенных пород по боковым границам. Абразия на активность оползня не влияет, её деятельность ограничивается размывом и выносом поступающего материала. Глыбы скальных пород в зоне переработки с 2017 по 2021 г. существенно не сместились.

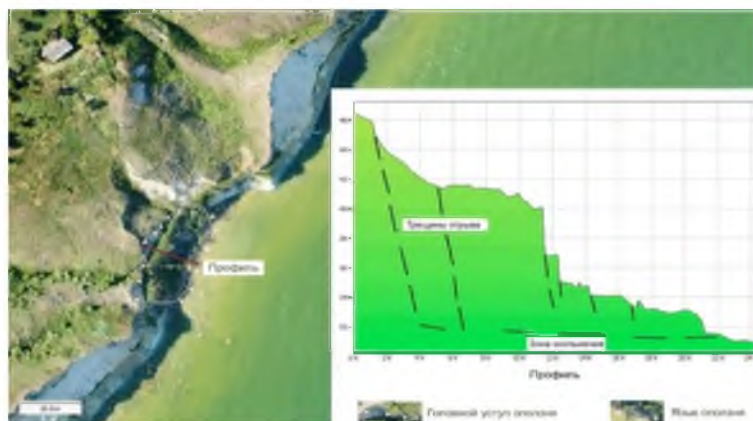


Рис. 5. Оползень на северо-восточной окраине ст. Хорошевской. Июнь 2017 г.

Выводы

1. На основе периодических съёмок с БПЛА установлены основные морфометрические характеристики оползней, их типы и механизм развития, зафиксированы даже незначительные величины активизации.
2. На побережье Цимлянского водохранилища оползневые деформации проявляются на всех типах абразионных берегов.
3. В процессе развития оползней оседания и скольжения происходит изменение механизма их деформаций на пластические (течения).
4. Группа оползней течения (пластических) в глинистых отложениях парагенетически связаны с оползнями групп оседания и скольжения. Развиваются после основных смещений блоков, при их разрушении, как вторичные оползни.
5. Вторичные оползни – *оплывины* в языковых частях оползней на затопляемых участках, происходят после падения уровней, за счет гидродинамического давления.

Литература

1. Броч М.М. Отчет по изучению геодинамических процессов на территории Ростовской обл. (1976-1978 г.г.). Ростов-на-Дону, 1978. ФБУ «ТФГИ по Южному федеральному округу». Инв.15347.
2. Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Глинка В.В. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки интенсивности проявления опасных береговых процессов водоохраной зоны Цимлянского водохранилища // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион / Т2. 2021. С. 56-65.
3. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Простые оползни. Кишинев: Штиинца, 1987. 161 с.
4. Скрипка Г.И., Ивлиева О.В., Беспалова Л.А. Мониторинг опасных береговых процессов Цимлянского водохранилища с использованием ГИС-технологий Интер Карто. Интер ГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч.2. С.253-263, DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-253-263.

СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ УРУС-МАРТАНОВСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКАЗНИКА

© М.А. Тайсумов, М.У. Умаров, М.А.-М. Астамирова,
Э.Р. Байбатырова, М.И. Хасанова, Я.С. Гапаев, Р.М. Умаров
Академия наук Чеченской Республики, Грозный
ЧПТУ, Грозный

Аннотация. В статье изложены результаты исследования флоры биологического заказника «Урус-Мартановский», (Чеченской Республики), включающая в 608 видов сосудистых растений из 359 родов и 101 семейства. Указаны крупные семейства: *Asteraceae* (66 видов) → *Rosaceae* (45) → *Apiaceae* (39) → *Lamiaceae* (33) → *Poaceae* (30) → *Caryophyllaceae* (25) → *Brassicaceae* (24) и → *Boraginaceae* (21) и др.). По доминирующим крупным семействам флора относится к средиземноморскому типу, по набору семейств головной части спектра и преобладающим геоэлементам – к кавказско-палеарктической.

Заказник богат представителями древних флор, особенно третичными реликтами, реже представлены ледниковые, и реликты, охватившие оба эти периода. Присутствуют и виды, занесенные в Красную книгу России (*Cephalanthera longifolia*, *C. rubra*, *Galanthus angustifolius*, *Neottianidus-avis*, *Orchis militaris*, *Ornithogalum arcuatum*), Чеченской Республики (*Acer laetum*, *Asarumibericum*, *Rhododendron luteum*, *Berberis vulgaris*, *Betonica officinalis*, *Vitis sylvestris*, *Taxus baccata*, *Orchis purpurea*) и других субъектов Северного Кавказа, нуждающихся в охране и бережном отношении.

Ключевые слова: Биологический заказник «Урус-Мартановский», флора, виды, роды, семейства, реликты, охраняемые виды.

Введение

Выявление степени флористического разнообразия — одно из приоритетных направлений в современной ботанике. Эта проблема является наиболее важной для изъятых из хозяйственного использования особо охраняемых территорий (заказников, заповедников). Для выявления особенностей видового разнообразия, слагающих флору заказника, нами проведен комплексный анализ, включающий несколько обязательных элементов [22].

Первым этапом является выявление общей численности видов и проведение ранжирования, т.е. систематический анализ, позволяющий в сравнительном аспекте судить о степени биоразнообразия флоры.

Составной частью исторического анализа флоры, дающей возможность получения информации об истории вида, их происхождении и путей миграции служит анализ географического распространения видов.

Выявление эндемизма и реликтовости является основным качественным показателем оригинальности флоры (11-14,17).

Восстановлению истории её формирования способствует анализ реликтовых элементов.

Адаптивные возможности видов, их экологическая вариабильность раскрываются при ценоотических, биоэкологических анализах и их высотной приуроченности (11-14, 17).

Выявление редких и полезных групп растений, рекомендации по их эффективной охране и рациональному использованию – один из завершающих этапов комплексного анализа.

Наши исследования основываются на перечисленных выше элементах.

Материал и методы исследований

Изучена естественная флора заказника «Урус-Мартановский». Материалом для этого послужили полевые наблюдения, гербарные коллекции, собранные авторами в ходе экспедиционных исследований в 2020-2023 гг. Флора изучалась маршрутно-экспедиционными методами. Исследованиями охвачены все характерные для исследуемого района сообщества естественной растительности. Всего было собрано и определено около 1200 гербарных образцов. Проанализированы также гербарные фонды Дагестанского государственного университета (LENUD), Ингушского государственного университета (INGU), Горного ботанического сада Дагестанского научного центра РАН (DAG). Аналитические данные получены методом стандартного анализа, разработанного А.А. Гроссгеймом [1]. Биоморфологический анализ проведён согласно классификации биоморф К. Раункиера [22]. Каждый составляющий региональную флору вид относится к какому-либо географическому элементу, занимающему определённый ареал в системе хорологических выделов ботанико-географического районирования суши, и классификация этих элементов базируется на соподчинении таких выделов [21]. Это т.н. «принцип фитохорионов», принцип соответствия ареала каждого вида выделам ботанико-географического районирования. На этом принципе для флоры Кавказа разработана система геоэлементов [7-9], разделённых на группы согласно высшим единицам районирования (царствам и областям).

Географические элементы выступают в роли индикаторов связи исследуемой флоры с другими частями Кавказа, прилегающих территорий и Палеарктики в целом.

Научные названия видов, родов и семейств приведены в соответствии со сводкой С.К. Черепанова [19] и проверены с использованием IPNI (International Plant Names Index) – Международного указателя научных названий растений.

Территория заказника гориста, представлена многочисленными ложбинами, балками. Климат здесь умеренно-континентальный, жаркий и тёплый. Температурный режим характеризуется большим разнообразием. Наиболее холодным месяцем является январь, самым жарким – июль. Температура воздуха: лето +23⁰ С, зима – 4⁰ С. Почвенный покров преимущественно черноземный, горно-луговой. Гидрологическая сеть на территории заказника представлена протекающими по ней реками Мартанка, Гойта, Гойчу, Танги, Сулаты, Бежиак [6].

Флора заказника богата и разнообразна, типичная для среднегорья северо-восточной части Большого Кавказа [1, 5].

Таксономическая структура заказника

Одной из важнейших характеристик флоры является общая численность и состав слагающих ее видов, т.е. систематический состав, служащий показателем количественного ее состояния и структуры, которая выявляется при

рассмотрении состава, а также определяющим роль ведущих по количеству таксонов – семейств и родов [15, 16, 20].

Наши личные сборы, изучение гербарного материала Кавказского отдела Гербария БИНа РАН (LE), а также имеющаяся литература позволили нам составить флористический список сосудистых растений заказника, в котором насчитывается 608 видов, принадлежащих к 101 семействам и 359 родам [19]. Родовой коэффициент, представляющий отношение числа видов к числу родов, составляет 1,6. На 1 га приходится 20,26 вида.

Одним из существенных показателей, характеризующих флору в региональном плане, является её таксономическая структура. Соотношения между систематическими группами растений, слагающих флору, выражают определенные ботанико-географические закономерности, позволяют в определенной мере установить географическую принадлежность флоры [15, 16].

Таксономическая структура флоры заказника (табл. 1) показывает, что основу флористического богатства составляют цветковые растения, как и в целом для умеренных флор Голарктики.

Таблица 1

Видовое богатство семейств флоры заказника Урус-Мартановский

№ п/п	Семейство	Число видов	%	Число родов	%
Папоротниковидные					
1	Aspleniaceae	2	0.32	2	0.55
2	Dryopteridaceae	1	0.16	1	0.27
3	Onocleaceae	1	0.16	1	0.27
4	Polypodiaceae	1	0.16	1	0.27
5	Pteridiaceae	1	0.16	1	0.27
Итого		6	0.96	6	1.67
Хвощевидные					
6	Equisetaceae	3	0.48	1	0.27
Итого		3	0.48	1	0.27
Сосновидные					
7	Cupressaceae	2	0.32	1	0.27
8	Pinaceae	1	0.16	1	0.27
9	Taxaceae	1	0.16	1	0.27
Итого		4	0.64	3	0.83
Эфедровидные					
10	Ephedraceae	1	0.16	1	0.27
Итого		1	0.16	1	0.27
Однодольные					
11	Alliaceae	7	1.12	1	0.27
12	Alismataceae	1	0.16	1	0.27
13	Amarillidaceae	4	0.64	1	0.27
14	Araceae	1	0.16	1	0.27
15	Asparagaceae	2	0.32	1	0.27

16	Butomaceae	1	0.16	1	0.27
17	Colchicaceae	1	0.16	1	0.27
18	Convallariaceae	4	0.64	3	0.83
19	Cyperaceae	13	2.13	7	1.94
20	Dioscoreaceae	1	0.16	1	0.27
21	Hyacinthaceae	2	0.32	2	0.55
22	Juncaeae	6	0.98	1	0.27
23	Iridaceae	3	0.48	2	0.55
24	Liliaceae	3	0.48	1	0.27
25	Orchidaceae	8	1.28	7	1.94
26	Poaceae	30	4.92	19	5.29
27	Sparganiaceae	2	0.32	1	0.27
28	Typhaceae	2	0.32	1	0.27
Итого		91	14.94	52	14.48
Двудольные					
29	Aceraceae	3	0.48	1	0.27
30	Anacardiaceae	1	0.16	1	0.27
31	Amaranthaceae	3	0.48	1	0.27
32	Apiaceae	39	6.24	26	7.24
33	Apocynaceae	2	0.32	2	0.55
34	Asclepiadaceae	4	0.64	3	0.83
35	Asteraceae	66	10.83	39	10.86
36	Aristolochiaceae	2	0.32	2	0.55
37	Balsaminaceae	1	0.16	1	0.27
38	Berberidaceae	1	0.16	1	0.27
39	Betulaceae	4	0.64	2	0.55
40	Bignoniaceae	1	0.16	1	0.27
41	Boraginaceae	21	3.36	14	3.89
42	Brassicaceae	24	3.94	19	5.29
43	Cannabaceae	2	0.32	2	0.55
44	Campanulaceae	4	0.64	3	0.83
45	Caprifoliaceae	3	0.48	1	0.27
46	Caryophyllaceae	25	4.10	15	4.17
47	Celastraceae	3	0.48	1	0.27
48	Chenopodiaceae	7	1.14	5	1.39
49	Convolvulaceae	2	0.32	2	0.55
50	Cornaceae	2	0.32	2	0.55
51	Corylaceae	3	0.48	3	0.83
52	Cuscutaceae	2	0.32	1	0.27
53	Dipsacaceae	4	0.64	4	1.11
54	Elaegnaceae	1	0.16	1	0.27
55	Ericaceae	1	0.16	1	0.27

56	Euphorbiaceae	7	1.28	2	0.55
57	Fabaceae	32	5.25	19	5.29
58	Fagaceae	4	0.64	2	0.55
59	Fumariaceae	4	0.64	2	0.55
60	Gentianaceae	6	0.98	1	0.27
61	Geraniaceae	5	0.8	2	0.55
62	Hippocastanaceae	1	0.16	1	0.27
63	Hypericaceae	1	0.16	1	0.27
64	Juglandaceae	1	0.16	1	0.27
65	Lamiaceae	33	5.28	19	5.29
66	Lythraceae	1	0.16	1	0.27
67	Malvaceae	3	0.48	3	0.83
68	Moraceae	2	0.32	1	0.27
69	Oleaceae	2	0.32	2	0.55
70	Onagraceae	5	0.8	3	0.83
71	Orobanchaceae	3	0.48	1	0.27
72	Oxalidaceae	2	0.32	2	0.55
73	Papaveraceae	1	0.16	1	0.27
74	Plantaginaceae	5	0.8	1	0.27
75	Polygalaceae	1	0.16	1	0.27
76	Polygonaceae	5	0.8	3	0.83
77	Portulacaceae	1	0.16	1	0.27
78	Primulaceae	8	1.28	4	1.11
79	Pyrolaceae	1	0.16	1	0.27
80	Ranunculaceae	10	1.6	8	2.22
81	Resedaceae	1	0.16	1	0.27
82	Rhamnaceae	2	0.32	2	0.55
83	Rosaceae	45	7.38	18	5
84	Rubiaceae	12	1.97	5	1.39
85	Saxifragaceae	4	0.65	2	0.55
86	Salicaceae	5	0.8	2	0.55
87	Sambucaceae	2	0.32	1	0.27
88	Simaroubaceae	1	0.16	1	0.27
89	Scrophulariaceae	19	3.11	8	2.22
90	Solanaceae	7	1.12	6	1.67
91	Tamaricaceae	2	0.32	2	0.55
92	Thymeliaceae	1	0.16	1	0.27
93	Tiliaceae	3	0.48	1	0.27
94	Ulmaceae	4	0.64	1	0.27
95	Urticaceae	3	0.48	2	0.55
96	Valerianaceae	5	0.8	2	0.55
97	Verbenaceae	1	0.16	1	0.27

98	Viburnaceae	2	0.32	1	0.27
99	Violaceae	6	0.96	1	0.27
100	Viscaceae	1	0.16	1	0.27
101	Vitaceae	1	0.16	1	0.27
Итого		503	82.73	296	82.45
Итого		608		359	

Анализ табл. 1 указывает на незначительное количество папоротниковидных (*Aspleniaceae*, *Dryopteridaceae*, *Onocleaceae*, *Polypodiaceae* и *Pteridiaceae*) — 6 видов и 6 родов, хвощевидные и эфедровидные представлены одним видом и одним родом, сосновидные (*Pinaceae*, *Taxaceae*, *Cupressaceae*) — 4 видами и 3 родами. Все остальные (594 видов или 94,88%) относятся к цветковым растениям. Среди последних 91 видов (14,94%) принадлежат к однодольным растениям, а 503 вида (82,73%) – к двудольным.

К лидирующим семействам (табл. 2) относятся 315 вида и 187 родов, что составляет, соответственно, 51,272 и 52,08% от их общего количества.

На наш взгляд, сравнение систематической структуры исследуемой флоры на уровне ведущих семейств с таковыми для отдельных флор Средиземноморья и Циркумбореальной флористических областей выявляет ряд интересных особенностей. Заслуживает внимания тот факт, что первая тройка семейств аналогична таковой флор Средиземноморья. Различия здесь сводятся к положению *Poaceae* и *Fabaceae* в спектре.

Анализ цифрового материала (табл. 2), где приводятся ранжированные по числу видов семейства головной части спектра флоры, показывает, что первую тройку образуют *Asteraceae*, *Rosaceae* и *Apiaceae*. Эта тройка семейств типична для средиземноморских флор. Причем в разных частях Средиземноморской области положение *Fabaceae*, *Lamiaceae* и *Poaceae* в спектре может меняться. Так, в западных и полупустынно-пустынных районах на второй позиции оказывается *Fabaceae* и *Lamiaceae*, а в районах же, прилегающих к Циркумбореальной области, эти семейства уступают второе место *Poaceae*. Семейства *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Brassicaceae* и *Poaceae*, как правило, образуют следующую тройку в спектрах средиземноморских флор. В нашем случае по количеству видов *Rosaceae* почти не уступает семействам второй тройки, а напротив превосходит. Это обстоятельство свидетельствует о том, что исследуемая флора в своем формировании испытала явно выраженное влияние бореальных флор. Дополнительным подтверждением тому служат несколько пониженные ранги *Caryophyllaceae*, *Brassicaceae*, *Boraginaceae* и *Scrophulariaceae*.

Таким образом, флора Урус-Мартановского заказника по признакам, выявляемым при анализе рангов крупных семейств в своей флористической основе, может быть признана флорой средиземноморского типа.

Таблица. 2.

Крупные семейства флоры

№ п/п	Семейство	Число видов	%	Число родов	%
1	Asteraceae	66	10.83	39	10.86
2	Rosaceae	45	7.38	18	4.73
3	Apiaceae	39	6.24	26	7.24

4	Lamiaceae	33	5.28	19	5.29
5	Fabaceae	32	5.25	19	5.29
6	Poaceae	30	4.92	19	5.29
7	Caryophyllaceae	25	4.10	15	4.17
8	Brassicaceae	24	3.94	19	5.29
9	Boraginaceae	21	3.36	14	3.89
	Итого:	315	51.72	187	52.08

По набору семейств головной части спектра флора вполне определенно может считаться кавказской, т.к. почти все эти семейства отнесены А.А. [1] к группе лидирующих в общекавказском спектре.

Наиболее крупные роды (с 7 и более видами) флоры заказника приводятся в таблице 3. Эта группа родов суммарно объединяет 70 видов (11,2% от общего количества видов). Заслуживает внимания присутствие родов в семействах, указанных в головной части спектра. Например, *Carex*, *Allium*, *Euphorbia*, *Hieracium* и ряд других. В целом, это обычные во флоре Кавказа и отдельных его регионов таксоны. Однако, как и следовало ожидать, преобладающее большинство этих родов относятся к многовидовым семействам, составляющим лидирующую группу.

Таблица 3

Спектр крупных родов заказника «Урус-Мартановский»

№ п/п	Род	Кол-во видов	%	№ п/п	Род	Кол-во видов	%
крупные							
1.	Rosa	11	1.76	6.	Hieracium	6	0.96
2.	Potentilla	8	1.28	7.	Trifolium	6	0.96
3.	Allium	7	1.12	8.	Juncus	6	0.96
4.	Carex	7	1.12	9.	Galium	6	0.96
5.	Euphorbia	7	1.12	10.	Viola	6	0.96
Итого:						70	11.2

Если говорить о родах, не вошедших в анализируемую таблицу 3, то можно указать, что из остальных родов 182 или 29.9 % общего спектра по 5 видов включают 4 рода. Это такие роды как *Cerastium*, *Plantago*, *Rubus* и *Galium*. Как видим, и эта группа родов (за исключением *Rubus*) также относится к семействам головной части спектра.

С числом видов 3-4 насчитывается 48 родов. Суммарно в этой группе родов — 160 видов, т.е. 25,68 % всего видового состава исследуемой флоры, представленных 3-х и 4-х видовыми родами. Столько же видов насчитывается в 68 двухвидовых родах.

Самую крупную группу образуют одновидовые роды, объединяющие 136 видов или 21.8% всей флоры заказника).

Преобладание семейства *Asteraceae* среди сосудистых растений исследуемого заказника вполне естественно, как и для флоры всего Кавказа.

Отличаются богатством видов и типичные бореальные семейства: *Poaceae* и *Rosaceae*. О влиянии северной бореальной флоры на состав исследуемой территории говорит присутствие видов семейств *Ranunculaceae*, *Cyperaceae* и др. Преобладают также представители Древнего Средиземья: *Apiaceae*, *Brassicaceae*, *Lamiaceae*.

Анализ видового богатства родов также свидетельствует о средиземноморском характере и наличии бореальных черт.

Таким образом, в исследуемой флоре прослеживается концентрация видового разнообразия в небольшом количестве родов и семейств, что согласуется с представлением об автохтонности развития флоры.

Обсуждение результатов

По содержанию количеству родов и видов больше других представлены семейства *Asteraceae* (66) → *Rosaceae* (45) → *Apiaceae* (39) → *Lamiaceae* (33) → *Poaceae* (30) → *Caryophyllaceae* (25) → *Brassicaceae* (24) → *Boraginaceae* (21) → *Scrophulariaceae* и т.д.

Флора заказника богата представителями древних флор. Из реликтов теплого третичного периода присутствуют: *Acer platanoides*, *A. laetum*, *Actea spicata*, *Agrimonia eupatoria*, *Allium ursinum*, *Alnus barbata*, *A. incana*, *A. glutinosa*, *Amoria repens*, *Asarum ibericum*, *Asperula odorata*, *Betula litwinowii*, *Carpinus caucasica*, *Cerasus avium*, *Circaea alpina*, *Cornus mas*, *Corylus avellana*, *Cydonia oblonga*, *Dentaria quinquefolia*, *Epilobium montanum*, *Equisetum hyemale*, *Equisetum sylvaticum*, *Erodium ciconium*, *E. cicutarium*, *Euonymus europaea*, *E. latifolia*, *Fagus orientalis*, *Filipendula ulmaria*, *Fraxinus excelsior*, *Glechoma hederacea*, *Juglans regia*, *Ligustrum vulgare*, *Loniera caprifolium*, *Lotus corniculatus*, *Lysimachia verticillaris*, *Malus orientalis*, *Mespilus germanica*, *Oxalis acetisella*, *Pachyphragma macrophyllum*, *Periploca graeca*, *Phyllitis scolopendrium*, *Polypodium vulgare*, *Polystichum braunii*, *Populus hybrida*, *P. nigra*, *P. tremula*, *Primula macrocalyx*, *P. woronowii*, *Pteridium aquilinum*, *Pyrus caucasica*, *Quercus petraea*, *Q. robur*, *Rhododendron luteum*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, *Sanicula europaea*, *Securigera varia*, *Stachys sylvatica*, *Tamuscommunis*, *Teucrium hyrcanum*, *Tilia caucasica*, *T. cordata*, *Ulmus glabra*, *U. suberosa*, *Viburnum lantana*, *V. opulus*, *Vicia sepium*, *Viscum album*, *Vitis sylvestris* [2,3,4,6,14,17,18]. Гораздо реже представлены ледниковые (гляциальные) реликты: *Arctium nemorosum*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Platanthera bifolia*, *Pyrola rotundifolia*, *Salix caprea*, *Solenanthus biebersteinii*, *Telekia speciosa*, *Vicia cracca*. К пережившим оба периода (третичный и ледниковый) относятся: – *Asplenium viride*, *Dryopteris filix-mas*, *Equisetum arvense*, *Pinus sylvestris* L., *Sorbus torminalis*. *Taxus baccata* [2,3,4,6,14,17,18].

Заключение

В результате исследований и анализа полученных данных можно сделать следующий вывод:

На территории заказника «Урус-Мартановский» выявлено 608 видов сосудистых растений, 359 родов и 101 семейств, что свидетельствует о его репрезентативности, отражающий региональные особенности.

Основу флоры составляют покрытосеменные растения (594 видов или 94,88%). 91 вид (14,94%) относится к однодольным растениям, а 503 вида (82,73%) – к двудольным.

Ведущими семействами по числу видов являются *Asteraceae* (66) → *Rosaceae* (45) → *Apiaceae* (39) → *Lamiaceae* (33) → *Poaceae* (30) → *Caryophyllaceae* (25) → *Brassicaceae* (24) и → *Boraginaceae* (21).

Заказник богат представителями древних флор, особенно третичными реликтами, реже встречаются ледниковые реликты и охватившие оба эти периода (третичный и ледниковый). Во флоре заказника присутствуют виды, занесенные в Красную книгу России (*Cephalanthera longifolia*, *C. rubra*, *Galanthus angustifolius*, *Neottianidus-avis*, *Orchis militaris*, *Ornithogalum arcuatum*) [4], Чеченской Республики (*Acer laetum*, *Asarumibericum*, *Rhododendron luteum*, *Berberis vulgaris*, *Betonica officinalis*, *Vitis sylvestris*, *Taxus baccata*, *Orchis purpurea*) [2-4] и других субъектов Северного Кавказа, нуждающихся в охране и бережном отношении.

Литература

1. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа // Труды Ботанического института Азерб. ФАН СССР, вып. 1. Баку, 1936. 260 с.
2. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. М.: Товарищество научных изданий, 2008. 855 с.
3. Красная книга Чеченской Республики. 2-е издание. Ростов-на-Дону: ООО «Южный издательский дом», 2020. 80 с.
4. Красная книга Чеченской Республики. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Грозный, 2007. 427 с.
5. О государственных природных заказниках регионального значения (с изменениями на 2 апреля 2019 года). Постановление Правительство Чеченской Республики от 22 июля 2003 года N 30.
6. Омархаджиева Ф.С. Анализ флоры Чеченской республики. Автореферат дисс....канд. биол. наук. – Грозный, 2011. 26 с.
7. Портениер Н.Н. Географический анализ флоры бассейна реки Черек Безенгийский (Центральный Кавказ). II. Географические элементы // Ботанический журнал, 1993, Т. 78, № 11. С. 1-17.
8. Портениер Н.Н. Методические вопросы выделения географических элементов флоры Кавказа // Ботанический журнал. Т. 85, № 6, 2000. С. 76-84.
9. Портениер Н.Н. Флора и ботаническая география Северного Кавказа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 294 с.
10. Рыжиков В.В., Белогузов В.А. Краткий физико-географический очерк Грозненской области // Изв. Грозненск. областного ин-та и музея краеведения. 1948. Вып.1. С. 13-30.
11. Тайсумов М.А., Астамирова М.А.-М., Байбатырова Э.Р., Умаров М.У. Экологический анализ ценофлоры Восточной части Российского Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2023. Том. 8. № 2 (32). С. 97-107.
12. Тайсумов М.А., Умаров М.У., Астамирова М.А.-М. Анализ видов природных и некоторых адвентивных представителей дендрофлоры зеленой зоны г. Грозного // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Том. 3. №5. С. 70-80.
13. Тайсумов М.А., Умаров М.У., Абумуслимов А.А., Гапаев Я.С. Список флоры лекарственных растений Урус-Мартановского заказника // Известия Воронежского отделения Русского Ботанического общества. 2023. Вып. № 10. С. 117-124.
14. Тайсумов М.А., Астамирова М.А.-М., Дудагова Э.Ш. Реликты в бассейне р. Аргун // Российская ботаника в меняющемся мире посвященная 300-летию РАН // Труды ботанического общества и конференции. Санкт-Петербург, 2023. Т. 1. С. 200-201.
15. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1974. 224 с.
16. Толмачёв А.И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. Новосибирск: Наука, 1986. 195 с.

17. Умаров М.У., Астамирова М.А.-М., Гапаев Я.С., Умаров Р.М. К флоре государственного биологического заказника Шалинский // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Том 7. № 3 (29). С. 88-96.
18. Хасанова М.И., Тайсумов М.А., Астамирова М.А.-М., Умаров М.У. Список видов флоры Урус-Мартановского заказника – Фиторазнообразие Восточной Европы. 2023. 17(2): 178–190.
19. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб: Мир и семья–95., 1995. 990 с.
20. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. 286 с.
21. Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики. Пермь, 1991. 80 с.
22. Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА Г. ЕССЕНТУКИ

© Д.С. Тасенко, Е.А. Скрипчинская, Е.С. Паташова
СКФУ, Ставрополь

Аннотация. В статье рассматривается современная структура экологического каркаса города Ессентуки. На основе проведенного картографического исследования были выделены экологические ядра 1-го и 2-го порядка, а также транзитные коридоры и буферные зоны. Предложены мероприятия, направленные на сохранение и формирование целостного экологического каркаса города Ессентуки.

Ключевые слова: экологический каркас, ядро экологического каркаса, буферная зона, транзитный коридор, зеленые насаждения, средостабилизирующая функция экологического каркаса, устойчивость природной среды, урболандшафт.

Введение

Основная проблема современных городов – разрыв связей между природными вкраплениями во внутригородском пространстве. Экстремальное уплотнение застройки изничтожает часть «коридоров», что приводит к истощению природных ядер [1].

На урболандшафты положительно влияют городские парки, скверы, бульвары, городские леса, садоводства, огороды и малоэтажные застройки с участками, а отрицательно сказываются свалки, гаражи, производственные зоны [2].

Одна из важнейших проблем современного градостроительства – улучшение окружающей человека среды и организация здоровых и благоприятных условий жизни при высокой требовательности к их архитектуре и к ландшафтной архитектуре, в частности. В решении этой задачи приоритетное место принадлежит зеленому строительству, охватывающему широкий круг вопросов архитектурно-планировочного, инженерного и биологического характера. Зеленые насаждения оказывают значительное влияние на регулирование теплового режима, понижение солнечной радиации, очищение и увлажнение воздуха. Кроме того, единая система зеленых насаждений задерживает до 86% пыли, и, таким образом, уменьшает запыленность воздуха под кронами до 40%, снижает силу ветра, защищает воздух от загрязнения вредными газами и выполняет шумозащитную роль [3].

Материалы

Экологический каркас (ЭК) города – это средостабилизирующая территориальная система, целенаправленно формируемая для улучшения экологической ситуации урбанизированных территорий, состоящая из различных по типу (пригородные леса, парки, пойменные лесолуговые пространства), размерности (крупные межмагистральные клинья и «пятна» растительности придомовых пространств) и функциональному значению (озеленительные, рекреационные, санитарно-защитные и инженерно-защитные)

элементов культурного ландшафта, пространственно связанных в единую «живую» сеть из «ядер» и «коридоров» [4].

Структура экологического каркаса территории представлена тремя типами элементов (рис. 1):

- узлы или ядра каркаса, выполняющие средообразующую и информационную функции (лесопарки, водохранилища с береговой зоной и т.д.);
- транзитные коридоры – основные магистрали обмена веществом и энергией, связывающие территории узлов в единую геодинамическую систему, выполняющие транспортную функцию (улицы, бульвары, реки, каналы, системы дворов и т.д.);
- буферные территории, как зоны охраны транзитных коридоров, выполняют средозащитную роль (площади, парки, дворы, пруды, сады и т.д.).

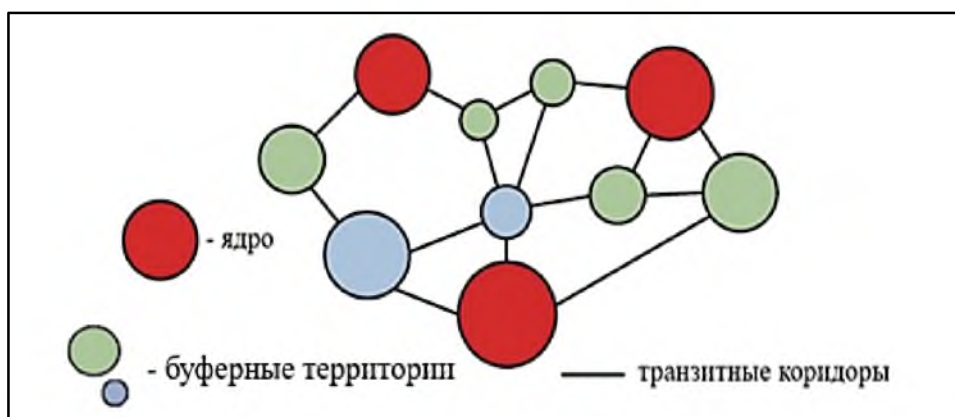


Рис. 1. Структура экологического каркаса территории

Экологический каркас города должен выполнять ряд важных функций, главными из которых являются:

- средоформирующая функция, определяющая качество каркаса как системы, способствующей созданию благоприятного экологического состояния городской среды;
- функция поддержания устойчивости природной среды, определяющая способность каркаса как системы, в силу ее целостного состояния, поддерживать устойчивость природных комплексов;
- средозащитная функция, характеризующая способность экологического каркаса поддерживать оптимальное состояние входящих в него градоэкологических систем;
- средостабилизирующая функция системы, на наш взгляд, направлена, в первую очередь, на потенциально уязвимые природные территории (овраги, оползни, промоины, промзоны и др.) а также на решение экологических конфликтов, вызванных антропогенной деятельностью.

Формированию экологического каркаса должно предшествовать эколого-функциональное зонирование городской территории, которое предполагает ранжирование экосистем с позиции их устойчивости и рекреационной ценности, с дальнейшей разработкой индивидуального режима природопользования для каждого участка, предотвращая потерю биоразнообразия и деградацию ландшафта (табл. 1) [5].

Таблица 1

Сравнительные типы функциональных элементов экологического каркаса

Функциональные элементы экологического каркаса	Структура природного комплекса экологического каркаса города
Экологические коридоры	Долины и русла крупных (в пределах города) и малых рек, а также их притоков, лесопосадки вдоль транспортных путей
Межмагистральные клинья	Самосевные и заболоченные пространства, перемежающиеся с частной деревянной застройкой, территории бывших питомников, карьеры, элементы «зеленых» полос вдоль автомагистральных и железнодорожных путей
Ядра экологического каркаса	Крупные парки города, городские леса
Буферные зоны	Водоохранные зоны, охранные зоны городских лесов и парков, рекреационные зоны, санитарно-защитные, охранные зоны водозаборов и др.
Точечные элементы экологического каркаса	Памятники природы различного профиля, зеленые зоны небольших районных парков, скверы, бульвары, придомовые пространства, охраняемые объекты неживой природы, памятники истории и культуры
Система рекреационных зон	Парки, система мест отдыха у воды, скверы, бульвары и др.
Бедленды	Золотовалы, пустыри, отстойники, шламонакопители, свалки городского значения, промзоны, природные комплексы, находящиеся под постоянным неблагоприятным экологическим воздействием
Зелёное кольцо города	Элементы водно-зеленого диаметра, леса зеленого пояса, городские окраинные парки, пригородные леса, сельхозугодья, садово-огородные товарищества

Методы исследования

Картографический, ГИС-технологии. Для решения задач по определению современного состояния экологического каркаса урболандшафта города Ессентуки, применен метод дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), по данным спутниковой системы Landsat 8.

Результаты и анализ

Достаточно благоприятные природные условия – зона умеренного увлажнения, которая способствует произрастанию на территории города Ессентуки богатого ассортимента древесно-кустарниковых пород, а также различных видов травянистых растений.

Большая часть лесов города Ессентуки, в соответствии с местоположением и выполняемыми ими функциями, относится к защитным, основное назначение которых – сохранение и усиление средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических и иных полезных природных свойств леса в интересах охраны здоровья человека.

Ядра первого порядка – совокупность природных территорий, которые являются единой градоформирующей системой природоохранного, оздоровительного и рекреационного значения – Курортный парк, парк Победы, городское Озеро и прилегающая территория.

Ядра второго порядка представлены природными территориями, к которым относятся:

- Пограничный сквер;
- Эссентукский сквер;
- кладбища Франчиha, Городское;
- территория школы №7;
- территория городской больницы;
- территория инфекционной больницы;
- жилой комплекс в 1-ом и 2-ом микрорайонах города;
- сквер площади Возрождения.

Экологические коридоры. Аллеи, группы деревьев и отдельно стоящие деревья, из которых возможно конструирование линейных объектов каркаса – «экокоридоров» или «зелёных коридоров». Они будут являться связующим звеном между дизъюнктивными ключевыми ядрами, обеспечивая территориальную целостность всех структурных элементов экологического каркаса для поддержания вещественно-энергетического обмена между ними. Если отдельные территории будут пространственно изолированы, то в биоте может возникнуть «островной» эффект.

В городе Эссентуки прослеживается два **экологических коридора первого порядка**:

- долина реки Бугунта;
- долина реки Подкумок.

На большей части данных территорий произрастает дендрофлора.

Экологические коридоры второго порядка:

- посадки вдоль улиц;
- лесополосы вдоль железной дороги и на окраинах города;
- зеленых насаждений на территориях общественных зданий и приусадебных участках.

Буферные зоны представлены в центральной, северо-западной и северо-восточной частях города.

Основной характеристикой города Эссентуки является его опорный каркас – система ядер и экологических коридоров разного порядка. Каркас города имеет особое значение при решении задач развития и совершенствования системы его внешних и внутренних экологических связей (рис. 2).

Главный общегородской центр города – Курортный парк, который является основным ядром, вокруг которого исторически формировалась планировочная структура города.

Главной ландшафтно-планировочной осью территории города является река Подкумок, протекающая в южной части города с юго-запада на северо-восток. Река служит границей между городом Эссентуки и станицей Эссентукской. Долина реки Подкумок является естественной природной планировочной осью, вдоль которой происходило основное заселение территории и исторически формировалось городское пространство.

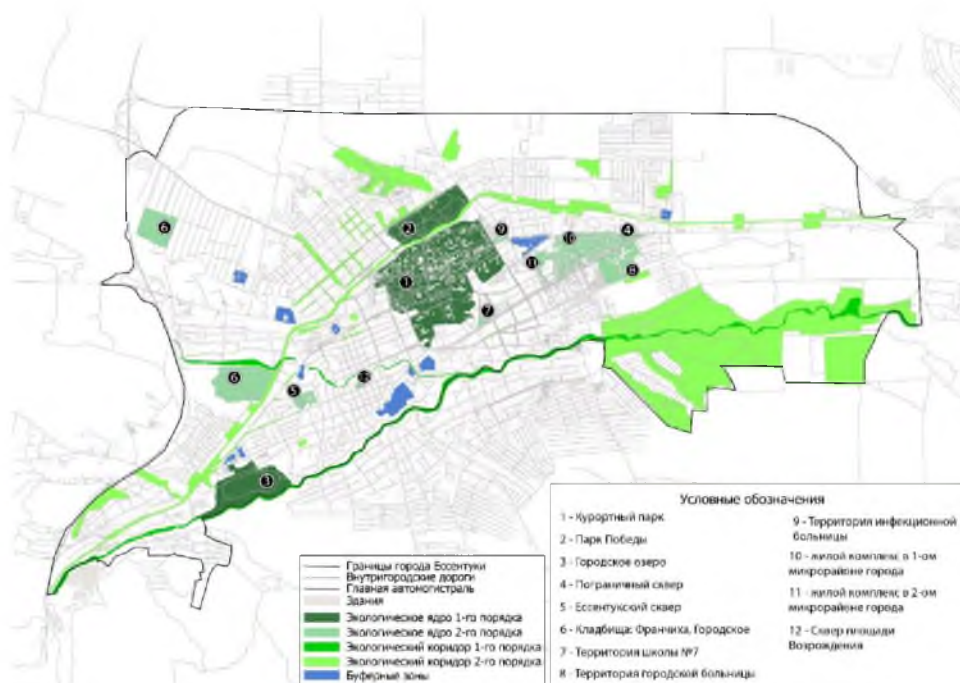


Рис. 2. Структурные элементы экологического каркаса города Ессентуки

Подводя итог исследованию элементов экологического каркаса, находящихся в пределах города Ессентуки, выявлено, что:

- в городе расположено 5 ядер первого и 11 ядер второго порядков, 11 буферных зон;
- экологическими коридорами соединены не все ядра различного порядка;
- наблюдается недостаточное количество таких элементов, как ядра на северо-западе города, а также экологических коридоров – бульваров и скверов, которые могут создать планомерное покрытие с четко прослеживающейся сеткой каркаса.

Заключение

На основании данного исследования целесообразно сформулировать выводы, о необходимости проведения мероприятий, направленных на формирования полноценного экологического каркаса города:

- сохранение существующих и реабилитация утраченных ландшафтов долин крупных и малых рек в качестве экологических коридоров, являющихся важнейшим связующим звеном его структуры, обеспечивающим поддержание и возможность восстановления биологического и биотипического разнообразия территорий ЭК, их устойчивость и экологическую эффективность, восстановление; очистка и реконструкция русел, освобождение пойм и притеррасных понижений от несанкционированной застройки и объектов промышленной инфраструктуры;

- реабилитация и создание новых крупных городских парков (как площадных ареалов экологического каркаса внутри города) взамен стареющих и утраченных, особенно в районах новой застройки;

- формирование в контактных зонах ЭК и урбанизированных территориях малозастроенных и озелененных зон, способствующих снижению нагрузок на природный комплекс;
- развитие системы внутриквартального озеленения и озеленение пешеходных зон, улиц, технических зон, инженерных коммуникаций;
- сохранение и создание новых озелененных территорий общего пользования (бульваров, скверов) и специального назначения (защитных полос вдоль железнодорожных путей, инженерно-технических зон и коммуникаций);
- выявление и включение в состав территорий ЭК ценных природных объектов – дендрофлоры, водных источников, фрагментов ландшафта, мест произрастания и обитания редких растений и животных.

Главная задача экологического каркаса состоит в минимизации антропогенного влияния в пределах урболандшафта. Таким образом, в пределах города должен формироваться природно-экологический каркас, элементы которого будут выступать буферными территориями. В структуре каркаса города выделяются площадные (ядра первого и второго порядка) и линейно вытянутые элементы (экологические коридоры первого и второго порядка). Необходимость существования экологических коридоров, проложенных вдоль малых рек города, и требование к их непрерывности диктуется не только эколого-рекреационными потребностями города, но и вопросами безопасности.

Литература

1. *Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А.* Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2018. Т. 63. № 2. С. 127-146.
2. *Георгица И.М.* Специфика городского экологического каркаса // Ярославский педагогический вестник. 2011. Т. 3. № 2. С. 133-136.
3. *Никулина, Е. М.* Формирование экологического каркаса города при ландшафтно-географическом подходе (на примере города Астрахани): специальность 25.00.26 "Землеустройство, кадастр и мониторинг земель": диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Астрахань, 2010. 179 с.
4. *Колбовский Е.Ю.* Ландшафтное планирование: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Экология», «Природопользование» направления подготовки «Экология и природопользование». Москва: Академия, 2008. (Высшее профессиональное образование. Ландшафтное строительство). ISBN 978-5-7695-3855-1.
5. *Паташова Е.С., Скрипчинская Е.А., Тасенко Д.С.* Экологический каркас города Изобильного: история формирования и современная структура // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. С. 244-247.

СТАТИСТИКА СЕЛЕВЫХ СХОДОВ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ КБР

© А.А. Ташилова

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. В работе проведен математико-статистический анализ числа схода селей дождевого генезиса в теплый сезон года в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии с 1953 по 2015 гг. Для развернутого анализа ряда была проведена оценка характеристик генеральной совокупности методом описательной статистики (модуль статистического пакета SPSS). Проведен регрессионный анализ, выявлена положительная тенденция роста схода селей, на 95%-ном уровне тренд статистически значим (Excel). Выявлены аномальные элементы (экстремумы) в рядах, превышающие верхнее пороговое значение. Тест Колмогорова-Смирнова показал распределение ряда, отличное от нормального. Для сравнения средних в двух подпериодах использован t-критерий, выявивший их статистическое неравенство и определивший ряд как нестационарный.

Ключевые слова: сели, описательная статистика, экстремумы, регрессия, тенденция.

Согласно оценке авторов [2], высокогорная зона Кабардино-Балкарии характеризуется высокой степенью селевой опасности. Катастрофические селевые процессы со значительными разрушениями неоднократно происходили в 20-начале 21 вв. на фоне регионального изменения климата (рост среднелетних температур, их абсолютных максимумов, рост ливневых осадков) [3, 4, 6]. Интерес к количественной оценке селевого риска в этом регионе всегда определялся освоением региона Приэльбрусья в качестве туристско-рекреационной территории, значительно активизировавшейся в последние годы.

В работе проведен статистический анализ числа схода селей дождевого генезиса в теплый сезон года (май-сентябрь) в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии (КБР) за период времени с 1953 по 2015 гг. по данным д.г.н. Кондратьевой Н.В. Уровнями ряда являются число схода селей с мая по сентябрь. Для анализа динамики процесса важно, чтобы временной ряд имел достаточную длину (с учетом конкретных целей исследования), не менее 50 значений за период наблюдений [1], в нашем случае – это 63 значения.

Для развернутого анализа ряда были использованы методы математической статистики с использованием функции «Анализ данных» Excel, а также модули статистического пакета SPSS [5]. Первое представление о природе временного ряда можно составить по его графику (рис. 1) с линейным трендом (при его наличии) и скользящим средним, при котором случайные отклонения погашаются. При сглаживании этим методом значения уровней ряда заменяются средними значениями, которые характеризуют срединную точку периода скользящего

На графике резко выделяющиеся значения обозначают периоды повышения селевой активности, что косвенно указывает на то, что ряд содержит циклическую компоненту. Для полного анализа структуры ряда и выделения возможных периодичностей необходимо в дальнейшем проведение спектрального анализа.

Из уравнения линейного тренда на рисунке 1 видно, что тенденция изменения количества схода селей положительна, количество селей увеличивается примерно на один за десятилетие ($a=0,8/10$ лет). Из результатов

регрессионного анализа (Excel) следует, что коэффициент детерминации ($R^2=0,067$) статистически значим на 5%-ном уровне ($\text{Sig}.0,041<0,05$), и увеличение числа селей происходит на статистически значимом уровне. Статистическая значимость – это вероятность «наступления» или «ненаступления» исследуемого события. Уровень $p \leq 0,05$ (в таблицах SPSS – significance «Sig.») часто используется в качестве критерия установления статистической значимости. Он означает, что с вероятностью 95 % можно утверждать: исследуемое событие произошло неслучайно, то есть оно связано с какой-то системой.

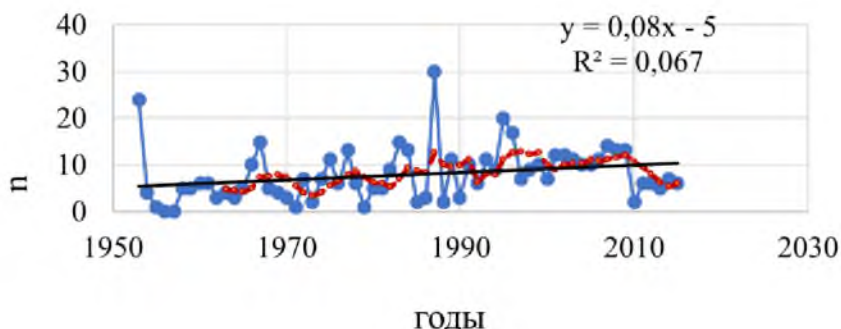


Рис. 1. Динамика числа селей(n) в высокогорной зоне КБР за 1953-2015 гг. с линейным трендом и 5-летним скользящим средним

Для получения статистических характеристик по данному ряду, определим, насколько однородна рассматриваемая выборка, то есть меру относительного разброса случайной величины. Для этого проведем расчет коэффициента вариации V :

$$V = \frac{\sigma}{\bar{a}} 100\%$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, $\bar{a}$ – среднее арифметическое значение выборки.

Если коэффициент вариации меньше 10%, то степень рассеивания данных считается незначительной; если от 10% до 20% – средней; больше 20% и меньше или равно 33% – значительной.

Используя данные $\sigma=5,67$ и $\bar{a}=7,92$, рассчитаем по формуле вариацию V . Полученный коэффициент вариации V числа схода селей $V=(5,67/7,92)100\%=71,6\%$ характеризует его неоднородность, то есть 71,6% составляет средний разброс случайной величины от среднего значения (7,92) этой величины.

На втором этапе определим стационарность временного ряда (постоянство по времени средних значений). Для этого ряд разбивается на две группы: составляются ряды данных за периоды 1953–1984 и 1984–2015 гг., и проверяется гипотеза о равенстве средних значений в этих группах (табл.1). Воспользуемся модулем SPSS «Анализ-Описательные статистики – разведочный анализ», результаты статистик в двух группах представлены в таблице 1.

Таблица 1.

– Описательные статистики числа селей для двух подпериодов (1953-1984 гг. и 1984-2015 гг.)

Статистики		1953-1984 гг.	1984-2015 гг.
N	Валидные	32	32
Среднее		6,38	9,63
Медиана		5,0	10,0
Мода		5,0	6,0 ^a
Стд. отклонение		5,20	5,70
Дисперсия		27,08	32,50
Асимметрия		1,53	1,48
Стд. ошибка асимметрии		0,41	0,41
Экссесс		3,03	4,21
Стд. ошибка эксцесса		0,81	0,81

a. Имеется несколько мод. Показана наименьшая.

Верность гипотезы о статистическом равенстве средних величин в двух подпериодах (n_1 для 1953-1984 гг. и n_2 для 1984-2015 гг.) проверяется с помощью одновыборочного t-теста (SPSS, модуль «Непараметрический анализ – одновыборочный t-критерий»). Проведенный t-тест показал уровень значимости $p=0,005<0,05$, то есть исходная гипотеза отклоняется с вероятностью ошибки 0,5 %, что значительно ниже уровня допустимой ошибки 5% (при 95%-ном доверительном интервале). Следовательно, исходная гипотеза о равенстве может быть отклонена, и средние значения ($n_1=6,38$, $n_2=9,63$), дисперсии ($n_1=27,08$, $n_2=32,50$) и стандартные отклонения ($n_1=5,20$, $n_2=5,70$) отличаются статистически значимо. Следовательно, исследуемый ряд – нестационарный.

Таблица 2

Одновыборочный t-критерий

	Проверяемое значение = 6,375					
	t	Степень свободы	Значимость (2-сторонняя)	Разность средних	95% доверительный интервал разности средних	
					Ниж. граница	Верх. граница
Количество сходов селей	3,036	30	0,005	3,14113	1,0279	5,2544

Далее перейдем к описательным статистикам в SPSS, с уточнением их методом бутстрепа. Метод бутстрепа применяется в случае небольшого количества элементов в выборке для их имитации в условиях недостаточного их количества и невозможности повторить выборку. В SPSS результаты основываются на 1000 образцах бутстрепа.

Таблица 3

Описательные статистики числа селей за период 1953-2015 гг.
методом бутстрепа

		Статистика	Стд. ошибка	Бутстреп			
				Смещение	Стд. ошибка	Доверительный интервал 95%	
						Нижняя	Верхняя
Среднее		7,92	0,714	-0,01	0,70	6,62	9,38
95% доверит. интервал для среднего	Нижняя граница	6,49					
	Верхняя граница	9,35					
5% усеченное среднее		7,43		0,04	0,66	6,25	8,87
Медиана		6,00		0,58	,93	5,00	9,00
Дисперсия		32,11		-0,54	8,69	17,44	51,01
Стд. отклонение		5,67		-0,10	0,77	4,18	7,142
Минимум		0					
Максимум		30					
Размах		30					
Межквартильный размах		7		0	1	5	9
Асимметрия		1,41	0,302	-0,164	0,442	0,305	1,994
Экссесс		3,17	0,595	-0,739	1,791	-0,748	6,012
a. Если не указано иное, результаты бутстрепа основываются на 1000 образцах							

Рассмотрим статистические характеристики числа схода селей в теплый сезон за 1953-2015гг. и тенденцию их изменений. Среднее значение количества сходов селей составило $n \sim 8$ со стандартным отклонением 0,7; нижняя и верхняя границы среднего при 95%-ном доверительном интервале имеют значения соответственно 6,49 и 9,35. Среднее и медиана описывают положение центра выборки, вокруг которого группируются значения переменной. Однако среднее чувствительно к выбросам, которые вносят в нее сдвиг, медиана в этом случае является более устойчивой характеристикой. В нашем случае среднее значение (7,92) превышает медиану (6,0), что указывает на наличие экстремально большого количества селей в некоторые сезоны.

Различие медианы и среднего является следствием несимметричного расположения данных выборки вокруг среднего. Имеется значительная правосторонняя асимметрия $As=1,41$ и положительный эксцесс $E=3,17$ с высоким острым пиком в распределении, следовательно, большое число схода селей сосредоточено вблизи осредненной величины, а также большее количество превышает среднее значение.

Как известно, климатический экстремум (экстремальное метеорологическое или климатическое) – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной. Из этого определения следует, что для каждого временного ряда

имеются свои экстремумы, рассчитанные для данного ряда и превосходящие (увеличение или уменьшение) некоторые пороговые значения ряда, например, 5 верхних экстремальных значений выше 95%-ного персентилия ($n=30, 24, 20, 17$ и 15 сходов селей) или рассчитанные квантильным методом [7]. Для нахождения экстремальных значений квантильным методом строится ранжированный ряд, разбивается на квантили (отрезки по 25%, 50%, 75%), находится разница между 75% и 25% квантилями. Значения, удаленные более чем на полторы разницы, являются выбросами. Значения, превышающие более чем на три разницы 75%-тый квантиль, являются экстремумами.

Методом квантильного анализа были выявлены аномальные элементы (выбросы), превышающие верхнее пороговое значение, построена бокс-диаграмма (рис.2). Бокс-диаграмма состоит из прямоугольника, занимающего пространство от первого до третьего квартиля (то есть, от 25% до 75%). Линия внутри соответствует медиане, выбросы отмечены кружочками.

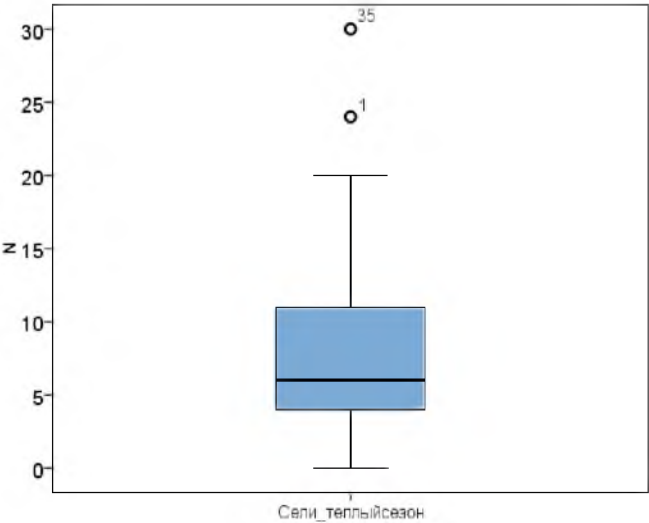


Рис. 2. Бокс-диаграмма аномальных элементов ряда

Из рисунка 2 видно, что имеются 2 аномальных элемента (выбросы), превышающие верхнее пороговое значение числа сходов селей $n \geq 24$, это: кружок на бокс-диаграмме $np=1$, (число сходов $n=24$ в 1953 г.) и кружок $np=35$ (число сходов $n=30$ в 1987 г.).

Результат теста Колмогорова – Смирнова (уровень значимости $Sig=0,001 < p=0,05$ при 95%-ном доверительном интервале) дает нам возможность считать распределение выборки отличным от нормального.

Таким образом, в результате математико-статистического анализа ряда количества селей в теплый период в высокогорной зоне КБР с 1953 по 2015гг. нами были получены следующие результаты. Среднее значение количества сходов селей составило $n \sim 8$ с границами доверительного интервала (95%-й уровень) соответственно 6,5 и 9,4. Среднее значение (7,92) превысило медиану (6,0), что указывает на наличие экстремально большое количество селей в некоторые сезоны. Коэффициент вариации V ряда числа схода селей $V=71,6\%$ характеризует его неоднородность, а неравенство средних в подпериодах – его нестационарность, тест Колмогорова-Смирнова подтвердил, что распределение

выборки отлично от нормального. Были выявлены аномальные элементы (выбросы), превышающие верхнее пороговое значение $n \geq 24$ в 1953 г. (24) и в 1987 г. (30). Визуальный анализ рисунка 1 позволяет заключить, что ряд содержит циклические компоненты. Для полного анализа структуры ряда и выделения возможных периодичностей необходимо в дальнейшем проведение спектрального анализа, что поможет в осуществлении прогноза динамики схода селей для практических целей.

Литература

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление: Пер. с англ. / Под ред. В.Ф. Писаренко. Кн. 1. М.: Мир, 1974. 406 с.
2. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Гедуева М.М. и др. Кадастр селевой опасности юга европейской части России. Москва: ООО «Феория», Нальчик «Печатный двор», 2015. 148 с.
3. Кондратьева Н.В., Федченко Л.М., Разумов В.В., Бекчиев М.Ю. Оценка возможных изменений активности селевых процессов на северном склоне Большого Кавказа в результате региональной климатической изменчивости // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. №49. С. 32-37.
4. Мальнева И.В., Докукин М.Д., Калов Р.Х. и др. Оценка проявлений опасных природных процессов на Северном Кавказе в 2002 и 2022 гг. Сб: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы Семнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций. Москва, 2022. С. 214-221.
5. Плеханов А.В. Математико-статистические методы обработки информации с применением программы SPSS: Практикум. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. 96 с.
6. Ташилова А.А. Анализ изменений климата в Терсколе за последние 60 лет В сборнике: Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, 2021. С. 468-474.
7. Ташилова А.А. Квантильный анализ экстремумов осадков на юге европейской части России // Успехи современного естествознания. 2021. №11. С.138-43.

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА ПЕРИОД 1961-2022 ГГ. ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ ВЛАДИКАВКАЗ

© Н.В. Теунова, Л.А. Кешева

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация. Климат является одним из характеристик нашей атмосферы, который наиболее подвержен изменениям. За последнее десятилетие многие среднесезонные и годовые климатические характеристики ряда метеорологических величин существенно изменились. России они касаются в большей степени, чем другие страны. Целью данной статьи является анализ изменений режима температуры, режима осадков и толщины снежного покрова за период 1961-2022 гг. по данным метеостанции Владикавказ, расположенной в предгорной зоне республики Северная Осетия (Алания), на высоте 680 м н.у.м. Аномалии климатических характеристик для сравнения рассчитывались для двух климатических норм: 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. За исследуемый период при использовании климатической нормы за 1991-2020 гг. в 2022 г. наблюдались положительные аномалии средних температур, тогда как при использовании климатической нормы за 1961-1990 гг. наблюдались исключительно отрицательные аномалии. Для сумм осадков в 2022 г. наблюдался дефицит в летний и осенний сезоны и небольшое увеличение зимой и весной. В период 1976-2022 гг. наблюдалось уменьшение скорости роста среднедекадной толщины снежного покрова до $-0,11$ см/10 лет, по сравнению с периодом 1961-2022 гг., когда скорость роста составила $0,13$ см/10 лет. Рекордно высокая аномалия толщины снежного покрова наблюдалась в 1973 г.

Ключевые слова: температура, режим осадков, толщина снежного покрова, метеостанция, тренд, аномалия, скорость изменения.

Изменения климата представляют собой одну из главных проблем современности. Исследования подтверждают, что среднемировая температура растет, начиная с середины 1900-х. Согласно данным Росгидромета, на территории России скорость повышения среднегодовой температуры в 2 раза выше, чем в целом на Земном шаре, примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. Изменения климата проявляются не только в росте приземной температуры воздуха, но и в других климатических характеристиках, таких как средние сезонные осадки и снежный покров [7].

В Докладе Росгидромета отмечается, что потепление наблюдается на всей территории России во все сезоны. Скорость роста среднегодовой температуры составляет $+0,49^{\circ}\text{C}/10$ лет, с вкладом в общую изменчивость 56%. Для России 2022 г. был 5-м в ранжированном по убыванию ряду среднегодовых температур с 1936 г. и аномалия среднегодовой температуры воздуха составила $0,87^{\circ}\text{C}$ по сравнению с новой климатической нормой (1991-2020 гг.), принятой Всемирной метеорологической организацией в 2022 г. [4].

Ранее для расчета климатических норм использовались значения базового 30-летнего периода с 1961 по 1990 гг., новые нормы рассчитаны на основе более свежих данных с учетом глобального потепления. Нормы являются основой для оценки того, насколько ежедневные, месячные и годовые климатические условия соотносятся с тем, что является нормальным для конкретного региона в сегодняшнем климате.

Для исследования изменения климата используются данные гидрометеорологических наблюдений за длительный период.

В данной статье анализируются изменчивость среднесезонных характеристик температуры воздуха в приземном слое, сумм осадков и толщины снежного покрова на метеостанции Владикавказ (Северная Осетия – Алания) за период 1961-2022 гг.

Данная работа является продолжением предыдущих исследований по изучению изменений климатических переменных в различных климатических зонах Северо-Кавказского региона [1, 2].

Временные ряды метеопараметров были исследованы методами математической статистики и дополнены линейными трендами. Коэффициент линейного тренда характеризует среднюю скорость изменения рассматриваемой величины за полный период исследования с 1961 по 2022 гг. и за период с 1976 по 2022 гг. Период с 1976 г. выбран условно в качестве начала современного потепления в соответствии с ходом глобальной температуры [3].

Тренды рассчитывались известным методом наименьших квадратов и были найдены параметры уравнений прямых, описывающих изменчивость исследуемых величин [5]. Характеристикой средней скорости изменения климатической переменной на рассматриваемом отрезке времени является угловой коэффициент уравнения линейного тренда и выражается при анализе температурного режима в градусах за десятилетие ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), для режима осадков в миллиметрах/месяц за десятилетие (мм/10 лет) и для среднедекадной толщины снежного покрова в сантиметрах за десятилетие (см/10 лет).

За исследуемый 62-летний период были получены средние значения, стандартные отклонения, нормы и аномалии средних температур, сумм осадков и среднедекадной толщины снежного покрова. При расчете аномалий использовались старые (1961-1990 гг.) и новые (1991-2020 гг.) климатические нормы.

Температурный режим

Данные годовых и сезонных средних температур, а также данные по изменению температурного режима на метеостанции Владикавказ приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Температурный режим и аномалии за 1961-2022 гг., Владикавказ

Температура, $^{\circ}\text{C}$	год	зима	весна	лето	осень
Средняя температура (1961-2022 гг.)	9,1	-1,6	9,0	19,5	9,6
Стандартное отклонение	1,1	2,0	1,2	1,4	1,3
Норма (1961-1990 гг.)	8,5	-2,4	8,5	18,8	9,1
Средняя аномалия при норме 1961-1990 гг.	0,6	0,8	0,5	0,7	0,5
Норма (1991-2020 гг.)	9,7	-0,9	9,4	20,1	10,1
Средняя аномалия при норме 1991-2020 гг.	-0,6	-0,7	-0,4	-0,6	-0,5
Угловой коэф-т тренда (1961-2022 гг.), $^{\circ}\text{C}/10$ лет	0,4	0,6	0,3	0,5	0,3
Угловой коэф-т тренда (1976-2022 гг.), $^{\circ}\text{C}/10$ лет	0,6	0,7	0,5	0,8	0,5

На метеостанции Владикавказ наблюдалось усиление скорости роста среднегодовых и среднесезонных температур в период 1976-2022 гг. по сравнению с периодом 1961-2022 гг.

Средняя зимняя температура увеличивалась с 1961 г. на $0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет, а с 1976 г. скорость ее роста достигла $0,7^{\circ}/10$ лет. Скорость роста весенних и осенних температур в период с 1961 г. по 2022 г. составляла $0,3^{\circ}\text{C}/10$ лет, увеличиваясь до $0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет с 1976 г. Скорости увеличения температуры воздуха в летний сезон на этих временных отрезках были равны $0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет и $0,8^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно, т.е. являются наибольшими. Скорость роста среднегодовых температур в период с 1961 г. по 2022 г. составляла $0,4^{\circ}\text{C}/10$ лет и увеличилась до $0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет с 1976 г.

При анализе средних температуры за период 1961-2022 гг. при использовании климатической нормы за 1961-1990 гг. аномалии имеют положительные значения. С учетом новой климатической нормы все аномалии имеют отрицательное значение.

На рисунке 1 приведены среднегодовые аномалии температуры за период 1961–2022 гг., относительно климатической нормы 1961-1990 гг. (рис. 1а) и новой нормы 1991-2020 гг. (рис. 1б).

На рисунке 1б видно, что, несмотря на то, что средняя аномалия (при норме 1991-2020 гг.) имеет отрицательное значения и число положительных аномалий меньше чем отрицательных (25:37), с 2012 г. наблюдались исключительно положительные аномалии среднегодовых температур. При анализе аномалий с использованием климатической нормы за период 1961-1990 гг. (рис. 1а) наблюдаются исключительно положительные аномалии с 1994 г. и число положительных аномалий более чем в 2 раза больше, чем отрицательные (44:18). Наибольшая аномалия среднегодовой температуры наблюдалась в 2010 г.

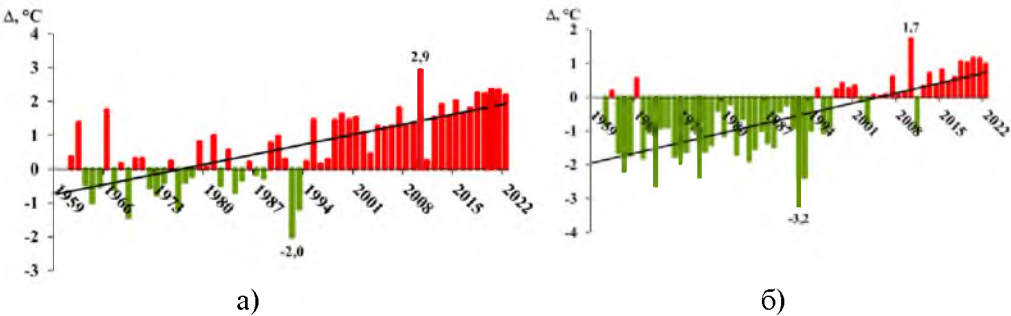


Рис. 1. Годовые аномалии средней температуры, 1961-2022 гг.

Интерес представляет исследование сезонных и годовых аномалий температур за 2022 г. на отдельно взятой м/станции. Во всех сезонах и в году на м/станции Владикавказ наблюдались положительные аномалии средних температур, за исключением весеннего сезона ($-0,7^{\circ}\text{C}$). Лидирует зимняя аномалия, за ней следует осенняя и летняя аномалии (рис.2).

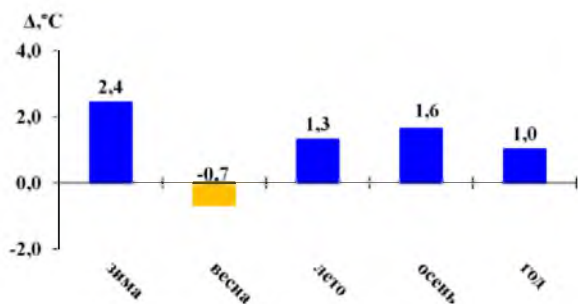


Рис.2. Сезонные аномалии средней температуры, 2022 г.

Был проведен анализ хода среднемесячной температуры и выбраны годы с максимальными и минимальными среднемесячными температурами. Результаты анализа за период с 1961 по 2022 гг. представлены в таблице 2.

Таблица 2
Максимальные и минимальные значения среднемесячной температуры воздуха

Периоды	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Год	2021	2002	2008	2012	2007	2019	2000	2006	2015	2012	2010	2010	2010
Max	2,1	4,5	9,3	14,3	18,2	21,7	23,6	24,8	19,7	13,8	9,8	5,6	11,4
Год	1972	1969	1985	1965	1981	1967	1985	1992	1998	1976	1993	2002	1992
Min	-12,6	-9,8	-2,4	5,5	11,6	15,4	17,4	9,5	11,8	5,2	-4,9	-6,4	6,5
Норма	-1,7	-0,8	3,9	9,6	14,8	18,7	21,2	20,5	16,1	10,5	3,7	-0,3	9,7

Из таблицы 2 видно, что в среднегодовых значениях температуры воздуха при норме 9,7°C минимум наблюдался в 1992 г. +6,5°C, а максимум в 2010 г. +11,4°C.

Можно отметить, что максимальные значения среднемесячной температуры наблюдались исключительно после 2002 г. (2002-2019 гг.), а минимальные значения до 2002 г. (1965-2002 гг.). Наибольшее отклонение от климатической нормы для минимальной средней температуры наблюдалось в январе 1992 г. со значением -11,0°C, для максимальной средней температуры в 2010 г. и составило 6,1°C.

Режим осадков

Осредненное значение величины среднегодовой суммы осадков за 1961-2022 гг. на м/станции Владикавказ составляет 930 мм при норме 954 мм. Максимум суммы осадков приходится на летний сезон – 379 мм, затем по убыванию идут весенний (290 мм), осенний (170 мм) и зимний (91 мм) сезоны (таблица 3).

В период с 1961 г. по 2022 г. наблюдалась положительная тенденция годовых сумм осадков (1,1 мм/10 лет) с ее дальнейшим усилением (6,6 мм/10 лет) в период 1976-2022 гг. Весенние суммы осадков также имели положительную тенденцию 6,2 мм /10 лет с 1961 г. с дальнейшим усилением до 11,2 мм/10 лет с 1976 г., в то время как летние и осенние суммы осадков приобрели отрицательные тенденции.

Так же как и в случае аномалий средних температур во все сезоны и году в целом, средние аномалии сумм осадков отрицательные при использовании новой нормы 1991-2020 гг. и положительные при норме 1961-1990 гг.

Таблица 3
Режим осадков и аномалии за 1961-2022 гг., Владикавказ

Осадки, мм	год	зима	весна	лето	осень
Сумма осадков (1961-2022 гг.)	930	91	290	379	170
Стандартное отклонение	173	34	74	109	57
Норма (1961-1990 гг.)	87	279	376	166	909
Средняя аномалия при норме 1961-1990 гг.	3,7	11,3	1,6	3,8	19,6
Норма (1991-2020 гг.)	954	95	304	383	172
Средняя аномалия при норме 1991-2020 гг.	-25,4	-4,3	-13,7	-5,4	-3,2
Угловой коэф-т тренда (1961-2022 гг.), мм/10 лет	1,1	1,5	6,2	-2,6	-3,3
Угловой коэф-т тренда (1976-2022 гг.), мм/10 лет	6,6	1,2	11,2	-2,3	-3,0

Проведенный анализ аномалий годовых сумм осадков за период с 1961 по 2022 гг. показал, что количество положительных и отрицательных аномалий за весь исследуемый период при климатической норме 1961-1990 гг. распределились примерно одинаково: 30 положительных и 32 отрицательных аномалий (рис. 3а). При анализе аномалий с использованием климатической нормы за период 1991-2020 гг. (рис. 3б) число положительных аномалии меньше чем отрицательных (23:39). Рекордно высокая положительная аномалия наблюдалась в 1967 г., а отрицательная в 1986 г. (рис. 3).

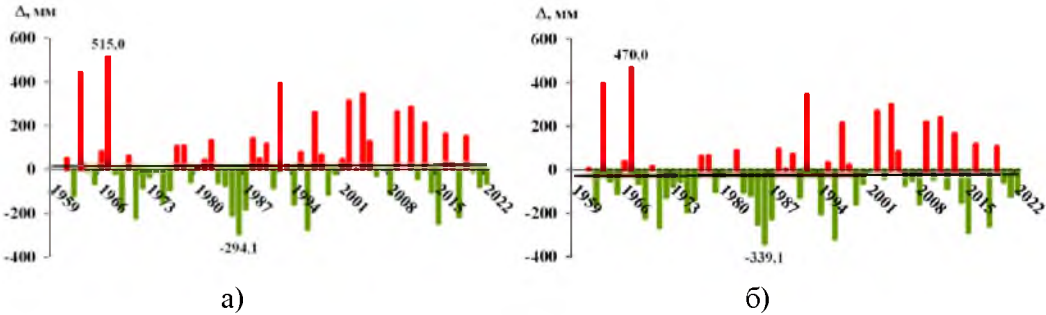


Рис.3. Годовые аномалии сумм осадков, 1961-2022 гг.

Линия тренда на протяжении всего периода наблюдений (рис. 3) свидетельствует о стабильности годовых сумм осадков.

Анализ аномалий сезонных и годовых сумм осадков за 2022 г. показал, что в этом году имел место дефицит сумм осадков в году, летний и осенний сезоны. В зимний и весенний сезоны имела место небольшая положительная аномалия (рис.4).

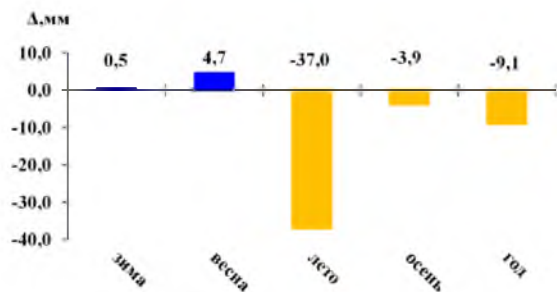


Рис. 4. Сезонные аномалии сумм осадков, 2022 г.

По результатам ранжирования среднемесячной суммы осадков составлена таблица 6, в которой представлены годы с максимальными и минимальными значениями сумм осадков за период с 1961 по 2022 гг.

Таблица 6

Максимальные и минимальные значения сумм осадков

Периоды	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Год	1989	1998	1966	2001	2013	2002	1963	1967	2009	1995	2006	1972	1967
Max	69	103	125	153	291	356	355	370	198	137	123	106	1424
Год	1999	1972	1986	1975	1995	2015	1971	2006	1994	1974	2010	2010	1986
Min	5	7	7	26	39	62	12	21	12	2	4	0	615
Норма	31	34	62	94	149	181	112	90	70	62	40	30	954

Из таблицы видно, что в годовых суммах осадков при норме 954 мм минимум наблюдался в 1986 г. – 615 мм, а максимум в 1967 г. – 1424 мм.

Наибольшее отклонение максимума от климатической нормы составило 280 мм и наблюдалось в августе 1967 г. со значением 370 мм, а отклонение минимума осадков от нормы (-119 мм) в июне 2015 г. со значением 62 мм.

Снежный покров

Состояние снежного покрова является такой же важной характеристикой регионального климата как температура и осадки. Наблюдения за снежным покровом начинаются в осенний период с момента появления первого (временного) снежного покрова и продолжаются до полного его исчезновения в весенний период. Для характеристики среднедекадной высоты снежного покрова вычисляют ее средние значения по декадам месяцев холодного сезона [6].

Анализ наблюдений режима толщины снежного покрова был проведен за период 1960/1961 гг. по 2021/2022 гг. Сезоны с октября по апрель 1960/1961 гг., 1961/1962 гг., ..., 2021/2022 гг. для краткости записываются как 1961, 1962, ..., 2022 гг. При анализе характеристики снежного покрова, например 1961 г., использовались данные октября, ноября, декабря 1960 г. и января, февраля, марта и апреля 1961 г. В таблице 5 представлены статистические характеристики толщины снежного покрова.

Таблица 5

Режим снежного покрова и аномалии за 1961-2022 гг.

Снежный покров, см	год
Толщина снежного покрова (1961-2022 гг.)	7,0
Стандартное отклонение	5,0
Норма (1961-1990 гг.)	6,0
Средняя аномалия при норме 1961-1990 гг.	0,6
Норма (1991-2020 гг.)	7,0
Средняя аномалия при норме 1991-2020 гг.	-0,4
Угловой коэф-т тренда (1961-2022 гг.), см/ 10 лет	0,13
Угловой коэф-т тренда (1976-2022 гг.), см/ 10 лет	-0,11

Как видно из результатов расчетов, наблюдалось уменьшение скорости роста среднедекадной толщины снежного покрова с 0,13 см/10 лет до -0,11 см/10лет с 1976 г. Осредненное значение среднедекадной толщины снежного покрова составило 7,0 см, что совпадает с климатической нормой (среднее 1991-2020 гг.) и на 1 см выше, климатической нормы, используемой ранее.

За исследованный период соотношение положительных и отрицательных аномалий примерно одинаково (32:30) при использовании климатической нормы 1961-1990 гг. (рис.5а) и (30:32) при климатической норме 1991-2020 гг. (рис.5б). Рекордно высокая аномалия наблюдалась в 1973 г. (рис. 5) .

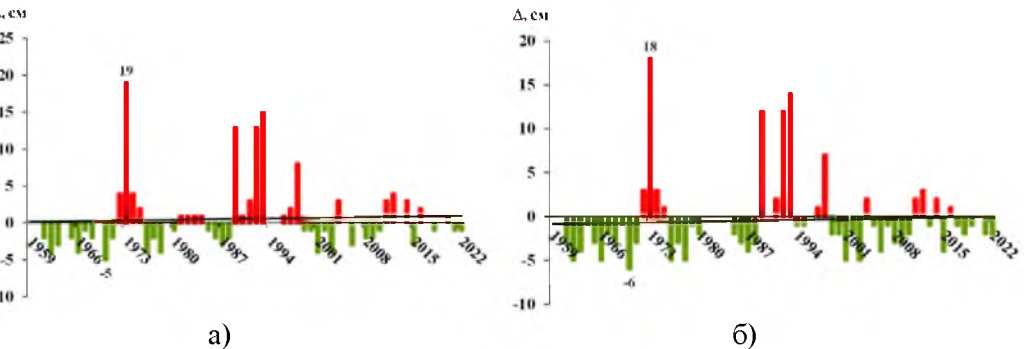


Рис. 5. Годовые аномалии толщины снежного покрова, 1961-2022 гг.

Вариация толщины снежного покрова за период наблюдений на предгорной м/станции Владикавказ составляет от 1,0 см (1970 г.) до 25,0 см (1973 г.), при среднем многолетнем значении 7,0 см.

На рисунке 6 приведены аномалии среднедекадной толщины снежного покрова по месяцам холодного периода 2021-2022 гг., который показал, что положительная аномалия наблюдалась только в январе и составила 1,5 см, а все остальные месяцы холодного сезона аномалии имели отрицательные значения от -1,0 см в октябре до -6,1 см в феврале.

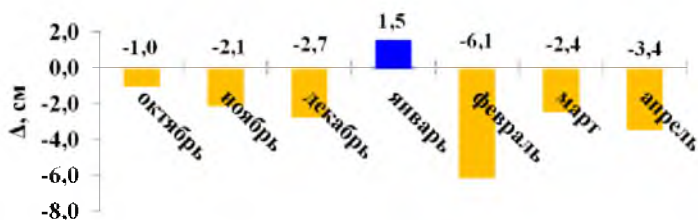


Рис. 6. Аномалии толщины снежного покрова по месяцам, 2022 г.

В таблице 6 представлены осредненные значения среднедекадной толщины снежного покрова по месяцам холодного сезона периода 1961-2022 гг.

Таблица 6

Среднедекадная толщина снежного покрова

Месяцы	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Среднедекадная толщина снежного покрова	1,2	3,4	5,6	7,4	8,4	4,8	2,4

Исследования по распределению среднедекадной толщины снежного покрова за исследуемый период показали, что наибольшее осредненное значение на м/станции Владикавказ получено в феврале – 8,4 см и январе – 7,4 см.

По результатам проведенного исследования получено, что на м/станции Владикавказ наблюдалось усиление скорости роста среднегодовых температур с 0,4°C/10 лет в период 1961-2022 гг. до 0,6°C/10 лет в период 1976-2022 гг. Число положительных аномалий меньше, чем отрицательных. Исключительно положительные аномалии среднегодовых температур во Владикавказе наблюдались при использовании старой климатической нормы с 1994 г., а при новой климатической норме с 2012 г. При анализе климатической нормы 1991-2020 гг. в 2022 г. наблюдались положительные аномалии средних температур во всех сезонах и в году, за исключением весеннего.

Наблюдалась положительная тенденция годовых сумм осадков 1,1 мм/10 лет с ее дальнейшим усилением до 6,6 мм/10 лет в период 1976-2022 гг. В 2022 г. наблюдался дефицит сумм осадков в летний и осенний сезоны и небольшое увеличение зимой и весной. В отличие от средней температуры для сумм осадков на протяжении всего периода наблюдений линия тренда свидетельствует о стабильности годовых сумм осадков.

Наблюдалось уменьшение скорости роста среднедекадной толщины снежного покрова с 0,13 см/10 лет в период 1961-2022 гг. до -0,11 см/10 лет с 1976 г. Рекордно высокая аномалия толщины снежного покрова наблюдалась в 1973 г.

С переходом на новые климатические нормы, которые рассчитываются на основе более свежих данных (1991-2020 гг.) с учетом глобального потепления, аномальные значения климатических характеристик заметно уменьшились.

Литература

1. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Анализ изменения приземной температуры воздуха и количества осадков в предгорной зоне Северо-Кавказского региона за период 1961-2019 гг. // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Том 7 (73). № 3. С. 230–240.
2. Ашабоков Б.А., Ташилова А. А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Современные изменения климата в Северо-Кавказском регионе Доклады IV Международной научной конференции «Проблемы физики атмосферы, климатологии и мониторинга окружающей среды». Ставрополь. 23-25 мая 2022 г.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. О современных изменениях климата. <https://climatechange.igce.ru>.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. Москва: Росгидромет, 2023. 104 с.
5. Метод наименьших квадратов: метод. указания / сост.: Л.В. Коломиец, Н.Ю. Поникарова. Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. 32 с.
6. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. СПб: Летний сад, 2009. Том II. С. 34.
7. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПЕРЕНОСА РАДОНА И ЕГО ДПР ТЕЧЕНИЯМИ АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ В ГОРНЫХ УЩЕЛЬЯХ

© В.А. Фоменко¹, А.В. Айбуш², А.А. Соколов¹,
В.А. Тимошина³, М.А. Аксенова¹

¹ЮФУ, филиал ЮФУ в Геленджике

²ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, ЦКП ФИЦ ХФ РАН, Москва

³КубГУ, Краснодар

Аннотация. В статье сформулированы основные тезисы и предпосылки для теоретического и экспериментального изучения эманаций и эксхалиций радона в горных территориях в рамках геоэкологического мониторинга с учетом специфики потоков воздуха в горных ущельях. В работе авторами рассматривается метод оценки переноса радона и его ДПР течениями атмосферных потоков в горных ущельях, с учетом специфики эксхалиций радона в условиях горных территорий. Значимость данного вопроса предопределяет дальнейшее изучение вопросов распределения радона и его ДПР с точки зрения их влияния на геоэкологию в части развития рекреационного потенциала горных территорий. В связи с мало изученностью данного вопроса авторы предлагают метод и алгоритм оценки переноса радона и его ДПР, с учетом предыдущих исследований в рамках реализации проекта по разработке экспресс-методов мониторинга техногенного загрязнения и оценки риска в геохимически аномальных зонах.

Ключевые слова: *Метод переноса радона, Унальское хвостохранилище, эманации радона, долинные ветра, алгоритм*

Повышение качества жизни человечества связано с решением невероятно большого количества взаимосвязанных задач. Одной из них является снижение и защита населения от ионизирующих космических, техногенных и природных излучений. Невидимым, без запаха и цвета, окружающий практически всех людей является противоречивый по действию убийца и лекарь – инертный и радиоактивный газ Радон, который находится в воздухе, воде, земной коре и на ее поверхности.

Тяжелые радиоактивные газы «рождаются» в основном в геологической среде и по трещинам и порам поступают в приземный воздух за счет процессов диффузии, конвекции, эффузии, всплытия и др. Образуются они при распаде радиоактивных элементов (нуклидов) радия - «радон», тория - «торон», актиния - «актинон», находящихся в почвах, горных породах, отходах горнодобывающих предприятий, в строительных материалах. Наиболее опасными из них в силу их радиоактивности и определенной длительности существования являются изотопы радон 222 и радон 220 (он же торон, по наименованию материнского нуклида). В последнее время рассматривается теория выноса этих газов на поверхность легкими газами, к примеру водородом, метаном, и в меньшей степени другими ювенильными газами [9]. По совокупному воздействию, как наиболее опасный для человека исследователями выделяется радиоактивный газ радон, который по сути являясь изотопом с момента рождения продолжает свой распад на дочерние продукты (ДПР) [6].

Радон — газ альфа-излучатель. В основном все его ДПР по отношению к земле имеют положительный заряд. Радон, как изотоп, обозначается в специальной литературе как ^{222}Rn представляет собою одноатомный инертный

газ, тяжелее воздуха в 7.5 раза, с периодом полураспада около 4 суток, хорошо растворимый в воде, плазме крови, активно адсорбируется на сорбенты, к примеру активированный уголь. Коварство радона заключается в том, что весь последующий ряд его ДПР — это элементарные положительно заряженные ионы или одноатомные металлы, которые активно взаимодействуют с микропылинками и аэрозолями, находящимися в воздухе, и легко переносятся ветром на большие расстояния. Этим объясняется его способность хорошо «притягиваться и прилипать» к отрицательно заряженным телам, имеющим физическую связь с «отрицательной» землей. Продукты радиоактивного распада радона испуская альфа-бета-частицы и гамма-лучи ионизируют воздух, вызывая различные явления в природе. Такими явлениями можно считать «синее свечение» над разломами во время землетрясений, наличие геопатогенных зон, недомогание во время летнего штиля и др.

Человек вдыхает радон, а его радиоактивные ДПР образуют в легких опасные микроожоги омываемые током крови. Объемная активность (ОА) ^{222}Rn измеряется в Бк/м³, что примерно соответствует количеству радиоактивных распадов в метре кубическом.

Объемная активность ^{222}Rn в атмосфере изменяется от 1 до 10 Бк/м³ (в среднем 4 Бк/м³), однако так не везде. На Северном Кавказе на территории КавМин вод, в некоторых местах зафиксированы значения 100 и более Бк/м³. Иногда наблюдаются также и «ураганные» значения объемной активности радона более 60000 Бк/м³ в местах разломов и геодинамических нарушений, к примеру, Северо-Западный Кавказ [8].

Такие большие концентрации радона на поверхности (эксхалации) связаны с различными эффектами и их сочетаниями, происходящие в геологической среде. К примеру, нарушение структуры геологической среды во время деформационных возмущений, связанных с изменением ее напряженно деформируемого состояния. Величина выхода радона из материнского тела (эманации) связана также со многими факторами, и одним из них являются акустические возмущения в среде, что свойственно горным территориям [7].

Такие возмущения возникают при выполнении различных работ, связанных с динамическим воздействием на грунт таких как: работа мощных вибраторов, напряженные автомобильные и железнодорожные участки дорог, буро взрывные и нефтегазодобычные работы, а также природные воздействия с изменением макро и микросейсмического фона участков и территорий от ближних и дальних землетрясений и др.

Радон и продукты его распада, попадая при вдыхании в организм человека, составляют примерно половину эффективной эквивалентной дозы от всех естественно природных источников ионизирующего излучения. Как ведет себя радон в горных условиях «горный радон» (термин вводится авторами впервые) особенно в нижней части ущелий предстоит пополнить эти знания исследователям. Строительство и функционирование различных баз рекреационной направленности в горных условиях должны гарантировать посетителям качественные услуги. Так на некоторых пляжах Средиземноморья есть информационные таблички «Free Radon», указывающие на безопасные концентрации радона в данном месте. К сожалению, в прибрежном и горном рекреационных кластерах этом направлении есть некоторые информационные проблемы.

К основным источниками загрязнения радоном природно-техногенного происхождения относится горнодобывающая промышленность, в частности отвалы мелкодисперсных отходов после обогащения руд. Большие концентрации мелкодисперсных отходов, превышающие эксплуатационные характеристики хвостохранилищ, нарушения норм технического обслуживания приводят не только к деградации почв и экосистем в целом, но и непосредственно негативному воздействию на человека из-за повышенных концентраций, различных переносимых ветром опасных соединений и радона.

На территории Республики Северной Осетии расположена Мизурская горно-обогатительная фабрика, которая на сегодняшний день не осуществляет свою деятельность, а относящееся к ней хвостохранилище, расположенное в левобережной части поймы пойме реки Ардон в районе села Нижний Унал содержит около 2 млн. т измельченных рудных фракций. После его рекультивации методом отсыпки поверхности грунтовым покрытием толщиной примерно в 2 м оно претерпевает процесс осушения. Изменение внутренней структуры тела хвостохранилища связанное с его иссушением приводит к накоплению внутренних напряжений в его массиве, увеличению его трещиноватости и раскрытию многочисленных трещин вертикальных векторов, что способствует практически свободному выносу радона на поверхность за счет аэрации. Измерения плотности потока радона на поверхности хвостохранилища затруднительны из-за постоянно дующих порывистых ветров, зачастую реверсивного характера, предположительно вызывающих повышенную эффузию в массиве хвостохранилища. Выполненные экспедиционные работы в июле 2022 г. выявили повышенное содержание радона в теле хвостохранилища методом измерения показателей эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в специально оборудованном приемке. Для проведения работ связанных с измерениями величин концентраций радона в ущелье реки Ардон необходим обоснованный выбор метода, который должен учитывать влияние ветров и местных природно-климатических условий. Научно-практическая значимость выполнения работ по измерению величин концентраций радона и его ДПР в ущельях очевидна. При этом необходимо учитывать свойства самого радона, его ДПР с учетом ионизации воздуха, что способствует активному осаждению их на поверхность различных тел в горных условиях. Аналогией работ могут служить ранее выполненные работы по распространению аэрозолей и мелкодисперсной пыли в условиях горных территорий.

Исследованием и моделированием горно-долинных ветров для оценки распространения различных загрязняющих веществ занимались как зарубежные, так и отечественные ученые. В работах [4, 10, 11, 14, 15, 17, 18] зарубежными авторами рассматривается моделирование циркуляции потоков воздуха при аэрозольном загрязнении в условиях горных территорий. Ученая Lili Jin из Китая с коллегами [10] подтверждают в своих исследованиях, что изменения в рельефе напрямую влияют на циркуляцию горно-долинных ветров, что обусловлено в первую очередь различными факторами «включая топографию, растительный покров, влажность почвы, солнечную радиацию, частичную окклюзию и энергетический баланс сложной поверхности, что вызывает необходимость введения поправочных коэффициентов в ветровые модели с учетом вышеупомянутых факторов. При обзоре работ [2, 12, 13, 16, 19] следует отметить, что в данных статьях рассмотрены разнообразные методы

статистического и корреляционного анализа роз ветров в участках со сложным рельефом, полученные данные могут быть объяснены метеорологическими и топоклиматическими параметрами, что исключает возможность использование поправочных коэффициентов, при таком методе обработки информации. Так же в этих работах рассматривается две модели: мезомасштабных и макромасштабных трансформаций, что так же находит отражение в работе [13], где K. Stattler S. Traup, B. Kruse делают упор на кластерный анализ, который показывает хорошие результаты в исследовании ветровых потоков при выборе мезомасштабной модели на территории со сложным рельефом. Скорость и направление ветра являются весьма сложными параметрами, для математического моделирования и внесения поправок в модель прогнозирования ветра. Опираясь на статью [5] можно ввести модель атмосферной дисперсии Гаусса, которая «может эффективно улучшить качество структуры распределения концентраций, уменьшив нормализованную среднюю квадратичную погрешность и смещения».

Lili Jin в статье Наблюдение и моделирование приповерхностного ветра и его изменения с топографией в Урумчи, Западный Китай.

Сезонные изменения поля поверхностного стока и горно-долинного ветра были проанализированы для города Урумчи с использованием среднечасовых данных о скорости и направлении ветра, полученных с 39 региональных автоматических станций с июня 2013 г. по март 2014 г. Те же процедуры контроля качества, были применены и для пяти метеорологических башен. Такое количество пунктов наблюдений значительно уменьшает ошибочные данные.

При анализе вектор ветра (u, v) рассчитывался по формулам:

$$\begin{aligned} u &= U \times \sin(W \times \pi / 180), \\ v &= U \times \cos(W \times \pi / 180), \end{aligned}$$

где u (м/с) и v (м/с) – вектор ветра, U (м/с) – значения скорости ветра, $W(0^\circ - 360^\circ)$ – значения направления ветра. Интерполяция данных для поля ветра осуществлялась методом интерполяции Крингнга. Основные работы применительно к ущелью реки Ардон выполнены В.И. Каменецким [4] на основе математического моделирования аэродинамики атмосферы и распространение загрязняющих веществ над сложной подстилающей поверхностью, где рассматриваются поведение атмосферных потоков именно в горных ущельях. Получение массива измерений и обработка данных является нашей целью, что предполагает в наших дальнейших работах разработку алгоритмов определения оптимального выбора условий измерения радона и его ДПР с учетом влияния атмосферных потоков горно-долинных ветров. В первую очередь работы необходимо выполнять на территории Унальского хвостохранилища расположенного в пойме левого берега р. Унал, которое относилось к Мизурской горно-обоганительной фабрике, Алагирского района, Республики Северной Осетии РФ. Размеры хвостохранилища: длина 733 м, ширина 310 м, площадь примерно 18,5 гектар, координаты $42^\circ 52'$, $44^\circ 09'$.

С помощью базы многолетних метеорологических данных построена роза ветров (Рис. 1), отражающая усредненное значение направления ветра в период с февраля 2015 г. по февраль 2023 г. Данные приводились по метеостанции Нижний Унал, высота над уровнем моря: 904 м.



Рис 1. Усредненное значение направления ветра в период с февраля 2015 г. по февраль 2023 г.

По усредненной розе-диаграмме значений ветрового направления можно сделать вывод, что преобладающие ветра по умолчанию по большей части имеют северо-западное и западное направления. Направления геострофического ветра и климатические факторы играют ведущую роль в формировании ветровых потоков в ущельях и имеют выраженную сезонную изменчивость. Исходя из этого следует рассмотреть более подробно розы преобладающих горно-долинных ветров летнего периода с фиксацией их параметров метеостанциями полевого исполнения по пикетам вдоль нижней части ущелья реки Ардон.

Предварительный алгоритм для выбора условий измерений представлен ниже (Рис. 2)

Приведенный алгоритм не является самым оптимальным при выборе условий измерения, но он отражает наиболее ключевые характеристики, которые будут важны при проведении полевых исследований. Направление ветра должно быть типичным для времени проведения работ, с набором климатических параметров, соответствующих данному времени, для исключения изменения концентраций рассеивания аэрозолей. Такой параметр, как скорость ветра должен быть в пределах 5-10 м/с, что соответствует умеренной силе ветра (4-5 баллов по условной 12-балльной шкале Бофорта). Во-первых, такое условие для скорости ветра было выбрано для комфортного проведения исследований, во-вторых, для минимизирования помех, связанных с распространением других аэрозольных и пылевых веществ. Перенос радона атмосферными потоками исследован в основном для равнинных территорий и значительно меньше для горных территорий. Поступление ^{210}Pb в верхний почвенно-растительный или органогенный слой для равнинных территорий связано в основном с атмосферными выпадениями [3].

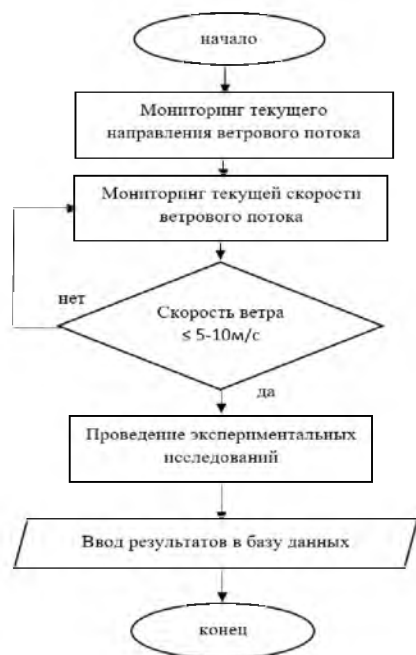


Рис 2. Разработанный алгоритм для проведения дальнейших работ

Переносимые концентрации ^{222}Rn радона в стесненных условиях ущелий оставляют свой «след» в виде осаживающихся ДПР на микропыли, аэрозолях, растительности, почве и др. превращаясь в радионуклид ^{210}Pb , который в цепочке ДПР один из более стабильных с периодом полураспада 20 лет. В атмосфере ^{210}Pb сорбируется аэрозольными частицами с эффективным радиусом 50-80 мкм [5]. Благодаря большому периоду полураспада ^{210}Pb при определенных ветровых и климатических условиях он может аккумулироваться и в условиях ущелий [1].

Определяя содержание ^{210}Pb в природных «ловушках» или осадках возможно с определенной долей, вероятности определить пути миграции «горного» радона и оценить величину его взаимодействия с природой ущелья при соблюдении предположений:

- определенные места отбора проб не подвержены значительным сезонным нарушениям;
- природно-климатические условия, в особенности количество осадков, в исследуемом ущелье не должны иметь аномальных изменений перед отбором проб;
- отбор проб желательно выполнять в осенний период по опавшей листве в ложбинках, где постседиментационная миграция ограничена.

Необходимо отметить, что переносимые ранее с не укрытого хвостохранилища пылевидные частицы значительно увеличили концентрацию геохимических загрязнителей вдоль всего ущелья, в том числе и обычных соединений свинца, что значительно усложняет решение поставленной задачи. В данной работе авторы ставят задачу и предлагают алгоритм предварительного решения определения путей миграции радона и оценить величину его взаимодействия с природой ущелий. с учетом многофакторности поставленной задачи.

Благодарность: исследования выполнены в Южном федеральном университете за счет средств Российского научного фонда (проект № РНФ/23-37-ГЛ, № 23-77-00015).

Вклад авторов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Баранов В.И., Виленский В.Д. ^{210}Pb в атмосфере и атмосферных выпадениях // Атомная энергия, 1968. Т. 24. Вып. 3. С. 503-506.
2. Дегтярева Т.В., Лиховид А.А., Лысенко А.В., Караев Ю.И. Региональные структуры миграции химических элементов в ландшафтах Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 4(38). С. 481-492. DOI 10.21177/1998-4502-2018-10-4-481-492.
3. Искра А.А., Бахуров В.Г. Естественные радионуклиды в биосфере. М.: Энергоиздат, 1981. 124с.
4. Каменецкий Е.С., Радионов А.А., Тимченко В.Ю. и др. Математическое моделирование распределения пыли по склонам горного ущелья от хвостохранилища, расположенного в Алагирском ущелье // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 11-1. С. 118-134. DOI 10.25018/0236-1493-2020-111-0-118-134.
5. Маковская А.П., Литвер Б.Я. Свинец 210 и полоний 210 в биосфере. М.: Атомиздат, 1978. С. 160.
6. О радиационной безопасности населения: ФЗ РФ от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 5 декабря 1995 г. // Рос. газ. 1996, 17 января.
7. Паровик Р.И., Швецов Б.М. Моделирование процессов массопереноса радона из фрактальной среды в атмосферу // Мат. моделирование 2009. №8. Т21 С. 30-36.
8. Попков В.И., Глазырин Е.А., Фоменко В.А., Попков И.В. Катастрофическое тектоническое событие в Керченско-Таманской грязевулканической области // Третья теконофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Тез. докл. Всеросс. конф. В 2-х томах. Т. 1. М.: ИФЗ, 2012. С. 411-414.
9. Шулейкин В.Н., Резниченко А.П., Пуцина Л.В. О связях метана, водорода и радона почвенного воздуха // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы: материалы Всеросс. конференции М.: ГЕОС, 2008. С. 545.
10. Brücher W., Kerschgens M.J., Steffany F., 1994. On the generation of synthetic wind roses in orographically structured terrain (research note). Theoretical and Applied Climatology 48, 203–207. <https://doi.org/10.1007/BF00867050>.
11. Hargreaves D. M., Wright N. G., 2007. On the use of the k-ε model in commercial CFD software to model the neutral atmospheric boundary layer, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. V. 95. I. 5. P. 355-369. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2006.08.002>.
12. Jin L., Li Z., He Q., Miao Q., Zhang H., Yang X., 2016. Observation and simulation of near-surface wind and its variation with topography in Urumqi, West China. Journal of Meteorological Research 30, 961–982. <https://doi.org/10.1007/s13351-016-6012-3>.
13. Okamoto S., Tanimoto H., 2016. A review of atmospheric chemistry observations at mountain sites. Progress in Earth and Planetary Science 3, 34. <https://doi.org/10.1186/s40645-016-0109-2>.
14. Ratto G., Maronna R., Berri G., 2010. Analysis of Wind Roses Using Hierarchical Cluster and Multidimensional Scaling Analysis at La Plata, Argentina. Boundary-Layer Meteorology 137, 477–492. <https://doi.org/10.1007/s10546-010-9539-3>.

15. *Sattler K., Traup S., Kruse B.*, 1999. A Cluster Space Calibration Scheme for Synthetic Wind Statistics Calculated with a Mesoscale Model and its Application to Regional Wind Climate Studies. *Meteorology and Atmospheric Physics* 71, 189–203. <https://doi.org/10.1007/s007030050055>.
16. *Shimada S., Seko H., Nakamura H., Aonashi K., Herring T.A.*, 2002. The impact of atmospheric mountain lee waves on systematic geodetic errors observed using the Global Positioning System. *Earth Planet Space* 54, 425–430. <https://doi.org/10.1186/BF03352433>.
17. *Sun WY., Sun O. M.*, 2015. Bernoulli equation and flow over a mountain. *Geoscience Letters* 2, 7. <https://doi.org/10.1186/s40562-015-0024-1>.
18. *Svoboda J., Chladova Z., Pop L., Hosek J.*, 2013. Statistical-dynamical downscaling of wind roses over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology* 112, 713–722. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0759-y>.
19. *Wang D., Miao J., Zhang, DL.*, 2015. Numerical simulations of local circulation and its response to land cover changes over the Yellow Mountains of China. *Journal of Meteorological Research* 29, 667–681. <https://doi.org/10.1007/s13351-015-4070-6>.

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТРАССАХАЛИНСКОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ В МАКАРОВСКОМ РАЙОНЕ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

© А.С. Харьбина¹, А.К. Юмашева²

¹*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва*

²*ИПНГ РАН, Москва*

Аннотация. В работе изучена статистика аварий, происходящих на магистральных трубопроводах. Приведены результаты ранее проводимых исследований, перечислены опасные геологические процессы, возникающие вдоль полосы землеотвода транссахалинской трубопроводной системы, а также предпосылки их формирования и риски, возникающие при активизации данных процессов. Представлены результаты создания базы данных опасных геологических процессов в программном обеспечении ArcGIS, а также результаты визуального осмотра трассы трубопровода на предмет аварийных разливов нефти. Установлено, что участки трассы трубопровода, подвергающиеся воздействию опасных геологических процессов, были учтены при проектировании и строительстве объекта, а также подлежат контролю и регулярному обслуживанию. Полученные результаты позволили судить о целостности трубопроводной системы, а также об активности опасных геологических процессов, воздействующих на нее, и, следовательно, позволили сделать прогноз технического состояния объекта исследования и разработать рекомендации.

Ключевые слова: опасные геологические процессы, остров Сахалин, транссахалинская трубопроводная система, геоэкологический мониторинг, сейсмическая активность, геoinформационная система.

По экспертным оценкам, ежегодно окружающую среду загрязняет более 1,5 млн. т нефти и нефтепродуктов. При аварийных разливах нефтяному загрязнению могут подвергаться объекты окружающей среды, в том числе: поверхность суши, водного объекта, донные отложения, сопредельные среды и территории. Статистика аварий российских трубопроводов (рис. 1) показывает, что стресс коррозия металла стенок труб в основном происходит на трубопроводах большого диаметра 700–1420 мм, свыше 80% разрушений трубопроводов с признаками стресс коррозии наблюдается на трубопроводах диаметром 1020–1420 мм.

Одним из факторов коррозионно-механического растрескивания металла стенок труб является наличие коррозионно-активной среды и ее доступ к поверхности металла. Ежегодно из-за стресс коррозии и усталостного разрушения от циклических перепадов внутритрубных давлений из нефтепроводов вытекает 10–15 млн. т нефти из добываемых в России 305 млн. т ($\approx 4\text{--}5\%$).

По опыту нефтепромыслов Западной Сибири в 60% случаев аварии происходят на нефтепроводах, проложенных на болотах и в 26,8% – на заболоченной местности, что объясняется повышенной коррозионной активностью почв в данных условиях. В 5,5% – при водных переходах, вследствие коррозии металла труб под действием солей и кислот, растворенных в воде.

Негативное воздействие опасных природных процессов (ОПП) на магистральные трубопроводы (МГ) проявляется в разнообразных формах, что связано как с особенностями конструкций МГ, так и с многообразием ОПП. Последствиями являются смещение, изгиб, деформация трубы, выпучивание или осадка свайного основания и крановых узлов, размыв обвалования, всплытие трубы, нарушение изоляционного покрытия и активизация коррозии металла при повышении уровня грунтовых вод.



Рис. 1. Причины аварий на российских трубопроводах

Остров Сахалин располагается в трех климатических поясах, его территория отличается сложными инженерно-геологическими, гидрологическими и климатическими условиями. Вместе с тем Сахалин является перспективным регионом добычи нефти и газа, который способен стать важнейшим пунктом для обеспечения Дальнего Востока. Здесь в 1994 г. была учреждена компания «Сахалинская Энергия» (оператор проекта «Сахалин-2») и подписано соглашение о разделе продукции, в 1999 началась первая добыча нефти, а после – газа [5]. В 2005 г. в эксплуатацию была сдана транссахалинская трубопроводная система (ТТС) и в 2009 г. отгружена первая партия российского СПГ.

ТТС имеет протяженность 807 км и соединяет добычные платформы, объединенный береговой технологический комплекс (ОБТК) и производственный комплекс «Пригородное», где происходит сжижение газа и отгрузка нефти.

Уровень геологических и гидрологических рисков для береговых нефтегазопроводов по проекту «Сахалин-2» чрезвычайно высок. Общая протяженность участков развития опасных экзогенных геодинамических и русловых, процессов составляет не менее 200 км. После уничтожения дернового покрова процесс их полного разрушения составляет от нескольких дней до 1 года и резко ускоряется при выпадении осадков [2].

Обеспечение безопасности сахалинских трубопроводов является важной задачей, поскольку данный объект расположен сложных инженерно-геологических условиях. Трасса трубопровода пересекает 19 тектонических разломов, также на целостность трубопровода оказывают влияние сложные климатические и геологические условия, зачастую являющиеся причиной образования опасных геологических процессов (ОГП) – оползней, селей, абразии [2, 8].

Особенно опасным с точки зрения риска порывов трубопровода является Макаровский район, по которому протекает ТТС. В данном сегменте трубопровод не только пересекает 5 разломов, особо охраняемые природные территории (ООПТ), 11 рек, имеющих важное промысловое значение, но и проходит через горные территории, для которых велик риск формирования перечисленных выше процессов.

Поэтому участок транссахалинской трубопроводной системы, находящийся на территории Макаровского района, а также полоса земледелия являются объектами изучения данной работы.

Исследования ОГП на Сахалине, в том числе на территории Макаровского района, проводились Дальневосточным отделением РАН. Тогда опасными процессами, выявленными на участке расположения транссахалинской трубопроводной системы, стали лавинные, селевые, оползневые и русловые процессы. Они были изучены в работе Н.А. Казакова и Ю.В. Генсировского [2].

Важно отметить, что случаи катастрофических разрушительных событий на территории Макаровского района уже случались. Оползни, селевые потоки, подъем уровней воды на реках и деформации их русел во время прохождения тайфунов «Оджин» и «Филлис» 1-7 августа 1981 г. вызвали разрушение десятков километров автомобильных и железных дорог, мостов, населенных пунктов и многочисленные человеческие жертвы. Поселок Березняки, расположенный на р. Буюклинка ниже трассы трубопроводов, был полностью разрушен (рис. 2). Исходя из этого, риск повреждения трубопровода в данном районе достаточно высок. Авторы работы предполагаемый срок службы трубопровода на исследуемом участке обозначал в 5-7 лет. Тем не менее постоянное обслуживание трассы трубопроводов, может продлить этот срок.



Рис. 2. Карсход на р. Буюклинка, разрушивший в августе 1981 г. п. Березняки [2]

Важнейшим элементом обеспечения безопасности линейных объектов, в том числе трубопроводных систем, является создание базы данных, содержащей информацию об опасных природных процессах, которые повышают риск повреждения трубопроводов и, следовательно, приводят к аварийным утечкам и разливам. [7]

Для создания базы данных была использована ГИС-система ArcGIS – комплекс геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI, содержащий инструменты, позволяющие пользователям искать, анализировать и редактировать цифровые карты, а также дополнительную информацию об объектах.

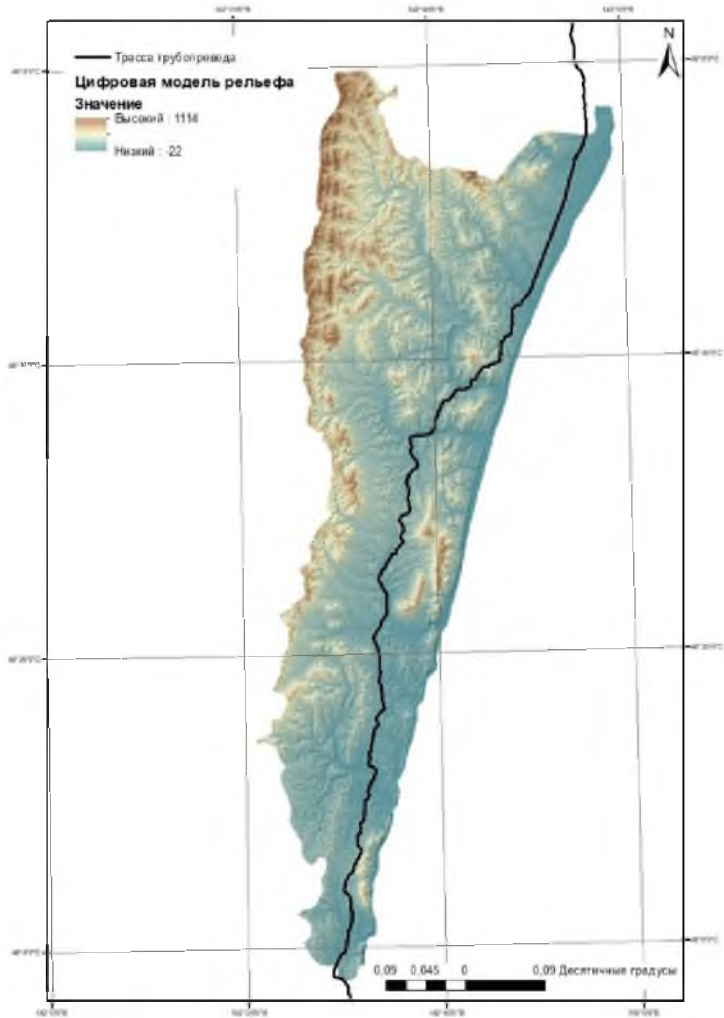


Рис. 3. Цифровая модель рельефа с примененной теневой отмывкой рельефа

Изначально для создания базы данных с помощью программного обеспечения SAS.Планета была загружена мозаика, скомпонованная из спутниковых снимков, полученных через портал Яндекс, для района интереса.

Затем в базу данных постепенно добавлялись новые слои: цифровая модель рельефа (ЦМР), данные эпицентров землетрясений, полученные из различных источников, ОГП и участки мониторинга, а также разливы, обнаруженные в ходе визуального мониторинга и описанные в отчетах.

Исходными данными для оценки склонов являлась Цифровая модель рельефа (ЦМР) (рис. 3), полученная на портале ALOS World 3D. Цифровые модели рельефа – это особый вид трехмерных математических моделей, представляющий собой отображение «рельефа» как реальных, так и абстрактных геополей (поверхностей).

После выявления особенностей рельефа изучаемой территории, в том числе углов поверхности, экспозиции склонов и кривизны поверхности, в онлайн режиме на портале Геологической службы США (USGS) EarthExplorer, который предоставляет доступ к снимкам Landsat-8, с помощью визуального метода была изучена полоса земледелия на территории Макаровского района на предмет выявления экзогенных процессов. Выявленные участки были занесены в базу данных.

Для того чтобы отследить динамику развития ОВП, а также коррективные меры, которые были применены на данных территориях, были использованы данные ежегодного мониторинга, проводимого в компании «Сахалинская Энергия». Участки, на которых осуществлялись мониторинговые мероприятия в 2019 и 2020 гг., были нанесены на исходную карту (рис. 4).

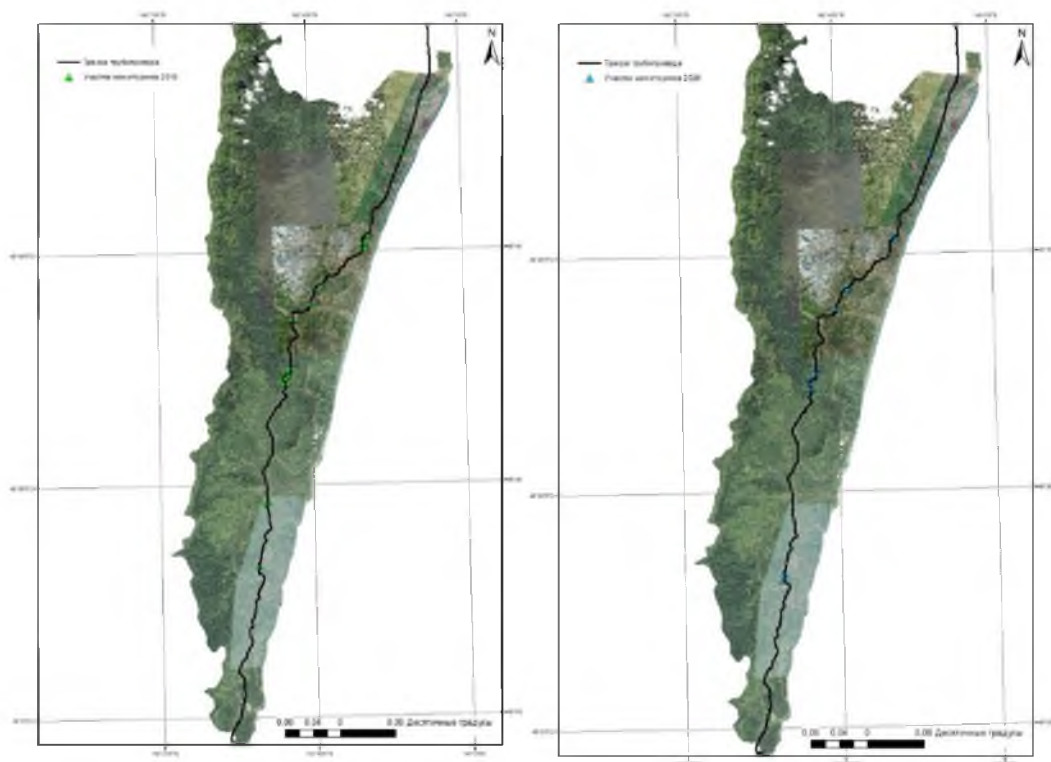


Рис. 4. Участки мониторинга в 2019 и 2020 гг.

Обнаружение утечек нефти может происходить в видимых цветах, псевдоцветах, а также при использовании вегетационных индексов. При этом могут быть использованы как визуальные, так и автоматические методы. При поиске утечек нефти предпочтение было отдано визуальному методу обнаружения с помощью порталов Геологической службы США EarthExplorer и Sentinel Hub. Данные также были занесены в базу.

Создание базы землетрясений на период 15.03.1924-26.02.2022, которая содержит информацию о времени, интенсивности и координатах сейсмических событий, происходило на основе исходных данных, полученных из открытых источников, таких как ФИЦ ЕГС РАН, Геологическая служба США (USGS). (рис. 5)

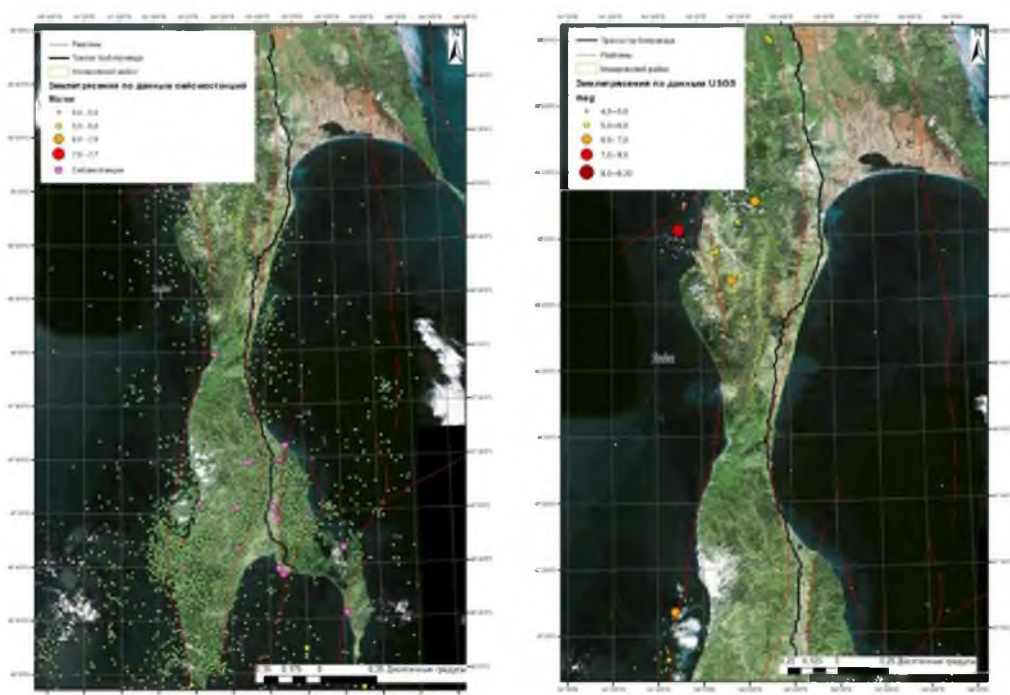


Рис. 5. Расположение очагов землетрясений относительно разломов на Сахалине:
 а) по данным ФИЦ ЕГС РАН (08.01.2003–31.12.2019 гг.);
 б) по данным Геологической службы США (15.03.1924–26.02.2022 гг.)

В процессе комплексного анализа полосы землеотвода, проходящей по территории Макаровского района, было установлено следующее:

1. Среди причин аварий на магистральных трубопроводах ведущее место занимают причины, заключающиеся во внешнем воздействии (34%), при этом данные эффекты прежде всего связаны с нарушениями в проведении строительных работ, но природные факторы, такие как подвижки вдоль разломов, оползневые процессы, также имеют существенное значение.

2. Воздействие трассы трубопровода на растительные сообщества, в том числе на территории ООПТ, снижено за счет оптимизации нитки трубопровода. При этом на территории Макаровского заказника на протяжении 11 км полоса землеотвода проходит по вторичным лесам, которые уже когда-то подвергались воздействиям вследствие пожаров, вырубок и другой антропогенной нагрузки.

3. Климатические особенности и рельеф (уклон поверхности $> 0,5^\circ$) на территории Макаровского района являются определяющими в формировании склоновых процессов, которые активизируются при подвижках в земной коре в зоне активных разломов. На данном участке трубопровод пересекает 5 разломов, общее смещение по которым в зоне заложения трубопровода оценивается от 0,7 до 2,1 м.

4. База эпицентров землетрясений (с 1927 по 2022 гг.), составленная по данным ФИЦ ЕГС РАН и Геологической службы США (USGS) показала, что на территории Макаровского района нет эпицентров крупных землетрясений, магнитуда не превышает значение 5. При этом максимальная сила землетрясений за 200 и 1000 лет для данного района определена в 8,5 и 9,8

баллов по шкале MSK-64. Им соответствуют пиковые ускорения грунта 0,3 g и 0,69 g.

5. Наиболее опасными с точки зрения воздействия на трубопроводы являются оползневые процессы и речная эрозия, участки проявления которых были выявлены вдоль полосы землеотвода. В рамках визуального осмотра территории обнаружено 32 участка проявления эрозионных процессов, которые были учтены при прокладке трубопровода. Здесь были использованы противоэрозионные меры – раскаты склонов, габионы, каменная наброска.

6. Мониторинговые мероприятия полосы землеотвода в 2019 и 2020 гг. включали контрольные и технические мероприятия на 14 участках, при этом только на одном из них отмечено удовлетворительное состояние и зарастание трещин растительностью, 3 участка являются относительно устойчивыми, за ними необходимы наблюдения, 9 участков относятся к нестабильным. Для 5 контролируемых в 2019 г. относительно стабильных участков в 2020 г. мониторинговые мероприятия не проводились.

7. На территории Макаровского района при визуальном изучении спутниковых снимков не было выявлено нефтеразливов, это может быть связано с двумя причинами. Во-первых, нефтепровод является новым и постоянно обслуживается, благодаря чему сохраняется его целостность. Во-вторых, территория Макаровского района является гористой, из-за чего нефть могла стекать в долины и не быть выявленной в ходе осмотра. Поэтому были изучены северные более низинные участки. На территории Смирныховского и Тымовского района обнаружены 4 подозрительных места на полосе землеотвода, где могли произойти утечки нефти в незначительных объемах.

8. Рекультивационные мероприятия по данным доклада РОО «Экологическая вахта Сахалина», примененные для территорий 5 утечек нефти на объектах ОАО «НК «Роснефть – Сахалинморнефтегаз» оказались не до конца эффективными и полными, из-за чего до сих пор на снимках выявляются ареалы, загрязненные нефтью и нефтяными пленками.

9. Биологическая рекультивация, проводимая компанией «Сахалинская Энергия» после прокладки трубопровода, эффективна не в полной мере, поскольку были применены не до конца изученные материалы. К ним относятся кокоматы и энкаматы, заявленного разложения которых через 1-2 сезона не произошло. [4] Очень часто данные биоматы становились причиной заиливания русел, что в свою очередь может привести к оползням и селям антропогенного характера. Несмотря на это, восстановление растительности на полосе землеотвода оценивается как хорошее.

Анализ методов и результатов экологического мониторинга трассы трубопровода, а также мер, применяемых в компании для снижения воздействия со стороны опасных геологических процессов, показал их эффективность [3], благодаря чему возможны продление срока службы трубопроводов и его безаварийная эксплуатация.

В решении задач обеспечения безопасного функционирования трубопроводного транспорта мониторинговые мероприятия и своевременное принятие мер по недопущению аварийных ситуаций или их деэскалации имеют решающее значение. При этом экологический мониторинг предпочтительнее выполнять с помощью новейших технологий, например, радарной интерферометрии [1] с целью обнаружения вертикальных подвижек земной поверхности в дополнение к классическим методам наблюдений, а также

инфракрасных (ИК) камер [9] для детектирования утечек метана из газопровода. Данные технологии позволяют свести к минимуму риски при эксплуатации нефтегазопровода в условиях повышенной тектонической активности и развития опасных склоновых процессов.

Литературы

1. Акматов Д.Ж., Николайчук В.В., Тихонов А.А., Шевчук Р.В. Радарная интерферометрия как дополнение к классическим методам наблюдений за сдвижением земной поверхности // Горная промышленность, 2020. С. 144-147.
2. Казаков Н.А., Генсировский Ю.В. Экзогенные геодинамические и русловые процессы в низкогорье о. Сахалин как факторы риска для нефтегазопроводов «Сахалин-2» // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология №6, 2008. С. 483-496.
3. Корзников К.А. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Исследование эффективности биологической рекультивации трасс нефтегазопроводов и оценка воздействия нефтяных разливов на растительный покров. Москва – Южно-Сахалинск Ноябрь, 2015. 120 с.
4. Лобкина В.А. Использование биоматов в закреплении склонов в условиях о. Сахалин // Геориск, 2014. № 4. С. 30-33.
5. Саматов А.Д., Андреева В.В. Управление экологическим воздействием при реализации проекта «Сахалин-2» // Глобализация, региональное развитие и проблемы окружающей среды. Сборник материалов международной научно-практической конференции, 2013. С. 197-200.
6. Харибина А.С., Ванчугов И.М., Жаркова В.В., Афанасьев А.В. Выявление геоэкологических рисков эксплуатации производственного комплекса «Пригородное» в рамках нефтегазового проекта «Сахалин-2» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 4 (313). С. 34-41.
7. Харибина А.С., Зеновская А.И., Юдаева В.В. Создание базы данных опасных геологических процессов для снижения рисков разрушения магистральных трубопроводов (на примере Макаровского района Сахалинской области) // Региональные аспекты географических исследований и образования. сборник статей по материалам XVII Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2022. С. 59-63.
8. Харибина А.С., Желтова А.И., Гук М.А. Развитие склоновых процессов в пределах полосы землеотвода транссахалинской трубопроводной системы на примере макаровского района // Актуальные проблемы нефти и газа. Сб. трудов V Всероссийской молодежной научной конференции. Москва, 2022. С. 153-156.
9. Щербакowa С.Н., Венгеров А.С. Анализ методов детектирования утечек метана // Российский химический журнал, 2021. С. 72-76.

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПЫЛЕГРЯЗЕВОГО ОСАДКА В РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

© А.В. Шевченко^{1,2}, А.А. Селезнев^{1,2}, Г.П. Малиновский², И.В. Ярмошенко²

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург

²Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Цель На городскую среду оказывают влияние различные антропогенные и природные факторы, которые, в частности, приводят к образованию твердого поверхностного осадка. Накопление осадка в городском ландшафте негативно сказывается на качестве городской среды и здоровье человека. Целью данного исследования является оценка интенсивности осадкообразования в городских условиях в разных климатических зонах России. Материалы и методы Для оценки интенсивности осадкообразования были использованы модели, основанные на принципах модели RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). Для оценки воздействия автотранспорта был использован подход, основанный на переносе энергии от автомобиля к дорожному полотну. Для оценки осадкообразования при использовании шипованных шин в зимний период был использован специальный индекс. В проведенной оценке также учитывались антропогенно нарушенные поверхности.

Результаты В результате проведенной оценки было получено характерное для каждой из климатических зон значение интенсивности осадкообразования в теплый и холодный периоды. Данные значения варьируются от 0,95 до 1,42 кг/м²/год. Также были определены вклады функциональных зон в процесс осадкообразования в городских условиях.

Ключевые слова: городская среда, осадкообразование, поверхностный пылегрязевой осадок, USLE.

1. Введение

Территории крупных городов подвергаются постоянному воздействию различных негативных антропогенных факторов: трансформации ландшафта, строительство, автотранспорт, высокая плотность населения и автомобилей, концентрация промышленности и т.д. [10, 19, 35]. Антропогенные факторы, особенно сконцентрированные на городских территориях, вызывают деградацию и эрозию почв, что инициирует образование твердого пылегрязевого осадка [7, 19, 20, 30].

Процесс образования твердого осадка носит как природный, так и антропогенный характер [28]. Помимо наличия природных факторов, таких как выветривание и эрозия, значительную роль в формировании осадка играют антропогенные факторы, в частности разрушение дорожных покрытий, газонов, тротуаров, истирание дорожного полотна шинами (в том числе шипованными), проведение земляных и ремонтных работ, строительство [6, 9, 11, 19, 22, 23, 30, 36]. В природно-техногенной катене городского ландшафта процесс седиментогенеза происходит по принципу каскада, и часть рыхлых наносов остается на различных функциональных зонах ландшафта и объектах инфраструктуры [21, 32, 33, 36].

Поверхностные отложения твердого осадочного материала в городском ландшафте снижают качество городской среды. Они вызывают ухудшение внешнего вида городской инфраструктуры, заиливание ливневой канализации, снижение плодородия городских почв, износ механизмов, транспортных средств, одежды и обуви [14, 22, 36]. Эти аспекты осадконакопления вызывают негативное восприятие окружающей городской среды многими людьми [20, 26]. Осадки обычно воспринимаются населением как грязь. Постоянное образование и накопление осадков в городской среде увеличивает финансовые затраты на уборку территорий и снижает качество дорожного покрытия, газонов, тротуаров [20, 22, 36].

Мелкие фракции пылегрязевого осадка могут накапливать потенциально опасные для здоровья человека вещества [11, 16, 29, 30]. Твердый осадок, образующийся на городских территориях, может переноситься в реки, водохранилища и другие водные объекты [8]. Это способствует образованию взвешенных частиц в водоемах. По этим причинам в последнее время рассматривается возможность использования взвешенного осадка в качестве геоиндикаторного компонента в экологических и геохимических исследованиях [1, 10, 12, 20].

Проблема осадкообразования и накопления грязеподобных веществ в урбанизированной среде является актуальной для российских городов. В четвертом по численности населения российском городе Екатеринбурге, объем накопления твердого осадка составил $3,2 \text{ кг/м}^2$ [28]. Значительные объемы осадка в российских городах возникают вследствие чрезмерного воздействия автомобильного транспорта на ландшафт, наличия большого количества нарушенных площадей, неудовлетворительной уборки, ремонтных и строительных работ без принятия мер по снижению образования пыли и грязи и т.д. [36].

Оценка интенсивности осадкообразования на городских территориях важна для разработки мероприятий по снижению общего количества твердых наносов и скорости их поступления. Экспериментальная оценка осадкообразования в городской среде затруднена из-за неоднородности городского ландшафта и отсутствия параметра или характеристики, напрямую связанных со скоростью осадкообразования. Для решения проблемы оценки этого показателя могут быть использованы соответствующие модели.

Существует три категории моделей для оценки потерь почвы на сельскохозяйственных землях: эмпирические модели, концептуальные модели и физически обоснованные модели [15]. Преимущество эмпирических моделей заключается в том, что они могут применяться в ситуациях с ограниченными данными и параметрами и особенно полезны в качестве первого шага при выявлении источников осадконакопления [28]. Одной из эмпирических моделей является универсальное уравнение потери почвы (USLE), разработанное в работе [34]. Его обновленной версией является пересмотренное универсальное уравнение потери почвы (RUSLE) [24]. USLE и его производные дают долгосрочную среднегодовую оценку потерь почвы под воздействием атмосферных осадков. Оно было разработано для малых склонов, но может быть использовано для моделирования эрозии и переноса наносов в масштабах водосбора.

Модель RUSLE использовалась в данном исследовании для оценки образования твердого осадка в результате воздействия атмосферных осадков на

различные городские поверхности. Для оценки образования осадков при снеготаянии использовалась модифицированная модель Ларионова Г. А. [2], разработанная Российским государственным гидрологическим институтом. Для использования модели RUSLE в городских условиях необходимо провести соответствующие модификации используемых коэффициентов.

Значительная часть поступающего осадочного материала приходится на воздействие автотранспорта [26, 30]. Взаимодействие движущегося транспортного средства с дорожным покрытием приводит к износу шин и повреждению верхнего слоя дорожного покрытия. Для оценки износа дорожного покрытия от воздействия шин в летний период может быть использован коэффициент, аналогичный коэффициенту эрозионной способности осадков (*R*-фактор) модели RUSLE, согласно которому влияние атмосферных осадков на покрытие рассчитывается с учетом переноса энергии атмосферных осадков. Шипованные шины вызывают значительный износ дороги [30]. Аггојо [4] и Carlsson [7] исследовали износ дорожного покрытия для дорог с различной интенсивностью движения автомобилей с шипованными шинами.

Учитывая важность городского пылегрязевого осадка как негативного экологического фактора и наличие инструментария для исследования процесса осадкообразования в различных условиях, была принята следующая цель: оценка интенсивности осадкообразования на городских территориях, расположенных в различных климатических зонах России.

2. Материалы и методы

2.1. Описание района исследования

Территория России включает в себя четыре климатических пояса: арктический, субарктический, умеренный и субтропический, которые включают в себя семь климатических зон: зона арктического климата, зона субарктического климата, зона умеренно-континентального климата, зона континентального климата, зона резко-континентального климата, зона муссонного климата и зона субтропического климата.

Для проведения оценки интенсивности осадкообразования, в каждой климатической зоне, кроме арктической, были выбраны характерные крупные города:

- зона 1 – субтропический климат – г. Сочи;
- зона 2 – умеренно-континентальный климат – г. Воронеж;
- зона 3 – континентальный климат – г. Тюмень;
- зона 4 – резко-континентальный климат – г. Красноярск;
- зона 5 – муссонный климат – г. Владивосток;
- зона 6 – субарктический климат – г. Норильск.

В арктической зоне России нет крупных городов и практически отсутствует антропогенное воздействие, поэтому для этой территории оценка не была проведена. Характеристики климатических зон приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики климатических поясов России

Климатический пояс	Климат	Регионы	Климатическая характеристика
Арктический	Арктический	Острова и северное побережье полуострова Таймыр	Арктические ветры; полярные день (лето, 0+4°C) и ночь (зима, -30-40°C); осадки преимущественно в виде снега, 250-300 мм/год.
Субарктический	Субарктический	Заполярье, в Сибири до 60-63°сш	Лето – континентальный перенос воздушных масс, +10+15°C; зима – арктические ветры, -20-30°C на западе, -30-40°C на востоке; все виды осадков, до 600 мм/год.
Умеренный	Умеренно-континентальный	Европейская часть	Западный перенос воздушных масс, иногда арктические ветры; летом +20+25°C; зимой -15-25°C; все виды осадков, до 800 мм/год на западе, 500 мм/год на востоке.
	Континентальный	Западная Сибирь	Меридиональный перенос воздушных масс; температурный режим севера и юга отличается на 5-10°C, средние сезонные показатели от -25 до +25°C; осадки от 300 на севере до 600 мм/год на юге.
	Резко-континентальный	Восточная и северо-восточная Сибирь	Континентальные воздушные массы, барический максимум Азии; летом до +30+40°C, зимой до -40-60°C; осадки 300-400 мм/год.
	Муссонный	Тихоокеанское побережье Дальнего Востока	Летом тихоокеанские воздушные массы, +16+20°C; зимой сибирские континентальные, -20-25°C; осадки до 800-1000 мм/год, летние преобладают.
Субтропический	Субтропический	Берег Черного моря от Сочи до Новороссийска	Черноморский перенос воздушных масс весь год; летом +20-+25°C, зимой +5+10°C; более 1000 мм/год осадков.

В настоящем исследовании используются два периода, учитывающих температуру воздуха – теплый и холодный. Теплый период соответствует времени, когда температура воздуха поднимается выше 5°C и заканчивается при достижении температуры ниже этой отметки. Холодный период, соответственно, наоборот. Такой выбор температурного режима выбран в соответствии с температурой, при которой в России законодательно необходимо использовать зимние шины.

2.2. Характеристика типичного городского ландшафта российских городов

Крупные российские города имеют схожую структуру жилых многоэтажных кварталов. В работе [36] было проведено масштабное исследование жилых кварталов в шести российских городах, расположенных в различных климатических и географических зонах. В каждом из этих городов было выбрано шесть экспериментальных площадок, представляющих различные географические районы города в различные периоды застройки. Однородность жилых кварталов российских городов позволяет говорить о том, что собранные данные являются представительными для всех крупных городов России [36]. Одним из результатов в работе [36] была представлена элементарная единица городского ландшафта (рис. 1), представляющая собой типичный жилой двор российских городов с одним или двумя многоэтажными жилыми домами с внутренним двором, включающим парковочные места (в т.ч. нелегальные на газоне), проезды, газоны, тротуары и детскую площадку, а также внешней частью, включающей в себя дорогу, газоны и тротуары, подверженных воздействию не только жителей и гостей домов, но и «транзитных» объектов (пешеходов, автомобилей и т.д.). Площадь такой единицы ландшафта определена как 10 000 м². Также, были учтены параметры, характеризующие, в частности, тип дорожного покрытия, долю нарушенной поверхности, состояние очистки, наличие возвышенностей и др.



Рис. 1. Схема элементарной единицы городского ландшафта жилых кварталов крупных российских городов

При проведении расчетов учитывались нарушенные участки функциональных зон, представляющие собой выбоины, ямы на твердых покрытиях, а также вытопанные или отсутствующие участки газонов, открытый грунт детских площадок. Доли нарушенных площадей приняты в соответствие с [36] и представлены в табл. 2.

Таблица 2

Доля нарушенных площадей функциональных зон
в рамках элементарной единицы городского ландшафта

Функциональная зона	Нарушенная площадь, %
Вне двора	16
Внутри двора	27
Дорога	3,6

2.3 Методы оценки интенсивности осадкообразования в городских условиях

2.3.1. Модель RUSLE

Модель USLE (Universal Soil Loss Equation) [34] была предложена в 1960 г. и обновлена в 1978 г. для количественной оценки потери почвы вследствие воздействия атмосферных осадков. В 1991 г. модель USLE была пересмотрена, и была предложена модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) [24]. RUSLE – это модель эрозии почвы, которая прогнозирует среднегодовые потери почвы в результате выпадения атмосферных осадков и поверхностного стока с сельскохозяйственных полей и пастбищ [24]. Уравнение модели RUSLE (1) состоит из шести факторов:

$$A_p = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

где A_p – среднегодовая потеря почвы, т/га/год; R – коэффициент интенсивности осадков, МДж мм/га в час; K – коэффициент устойчивости почвы к эрозии, т га ч/МДж мм, LS – длина склона и коэффициент крутизны, C – коэффициент растительного покрова и типа землепользования, P – коэффициент, учитывающий применение противоэрозионных мероприятий.

Так как в настоящем исследовании учитываются климатические зоны, различающиеся интенсивностью атмосферных осадков, R -фактор вносит наибольший вклад в результаты модели RUSLE и рассчитывается с помощью следующей формулы (2):

$$R = 0.0438 \times P^{1.61} \quad (2)$$

где P – среднегодовое количество атмосферных осадков, мм/год.

K - и LS -фактор были приняты одинаковыми для всех климатических зон, так как подразумевается, что однородные по устройству жилые районы по всей России незначительно отличаются друг от друга по структуре почвы и уклонам, так как во всех них верхний горизонт почвы представлен урбоземами, а уклоны газонов и покрытий регламентируются нормативными документами.

Значения C -фактора соответствуют данным работы [3] и получены путем сопоставления оценки потерь почвы в парковых зонах с помощью модели RUSLE и результатов расчетов накопления наносов в водохранилище с использованием трехмерной триангуляционной модели. Для непроницаемых твердых покрытий C -фактор равен 0, для газонов – 0,01, детской площадки (без покрытия) – 0,1, нелегальной парковки – 0,5.

В жилых городских районах данные противоэрозионные мероприятия не проводятся, поэтому P -фактор принимаем равным 1.

Для учета стока материала в период весеннего снеготаяния использовалась модифицированная модель (3), аналогичная USLE [2, 17]:

$$A_{sm} = h \times K \times LS \times C \times P \quad (3)$$

где h – поверхностный сток в период снеготаяния, K – коэффициент устойчивости почвы к эрозии, т га ч/МДж мм, LS – длина склона и коэффициент крутизны, C – коэффициент растительного покрова и типа землепользования, P – коэффициент, учитывающий применение противоэрозионных мероприятий.

Величина поверхностного стока h рассчитывается (4) следующим образом [2, 17]:

$$h = H \times D \times S^E \quad (4)$$

где H – содержание воды в снеге, мм; D и E – коэффициенты, зависящие от ландшафтной зоны и структуры почвы [17]; S – уклон, %.

2.3.2. Метод оценки осадкообразования от воздействия не шипованных шин

Для оценки количества образуемого твердого осадка при воздействии автомобильных не шипованных шин был использован авторский подход, основанный на принципе модели RUSLE, согласно которой, воздействие осадков на поверхность рассчитывается с учетом переноса энергии осадков. Для адаптации модели RUSLE предлагается вместо энергии осадков использовать оценку количества энергии, передаваемой от автомобиля к поверхности. Необходимо получить значение энергии при движении одного автомобиля, соответствующего размерным единицам модели RUSLE, используя величину энергии и ширину колеи. Полученные значения для каждой функциональной зоны представлены в табл. 3.

Таблица 3
Значения энергии, передаваемой поверхности при движении автомобиля

Функциональная зона	Энергия от 1 авт., МДж/га/ч
Дорога	54
Дворовой проезд	62
Нелегальная парковка	70

Для учета типа поверхности в расчеты необходимо ввести коэффициент интенсивности износа – I -фактор, зависящий от устойчивости покрытия к различным воздействиям. За основу коэффициента была взята формула расчета среднегодового уменьшения толщины покрытия вследствие износа (5) Корсунского М. Б.:

$$h_{an} = a + b \times \frac{N}{1000} \quad (5)$$

где h_{an} – среднегодовое значение уменьшения толщины покрытия вследствие износа, мм; a – коэффициент, зависящий в основном от устойчивости покрытия к неблагоприятным климатическим условиям [Корсунский]; b –

коэффициент, зависящий от прочности материала покрытия, степени его увлаженности, состава и скорости движения; N – интенсивность движения, автомобилей/сутки.

Значения износа на единицу энергии, передаваемой дорожному покрытию, рассчитывались на основе данных об уменьшении толщины покрытия в результате износа и энергии, передаваемой дорожному покрытию транспортным средством во время движения. Значения I-фактора для нарушенного и ненарушенного дорожных покрытий приведены в табл. 4. Территория незаконной парковки считается полностью нарушенной.

Таблица 4.
Значения I-фактора в зависимости от функциональной зоны (кг/МДж)

Функциональная зона	Ненарушенное покрытие	Нарушенное покрытие
Дорога	0,0000107	0,00128
Дворовой проезд	0,00000462	0,000555
Нелегальная парковка	–	0,000486

Окончательное уравнение для расчета износа дорожных покрытий для не шипованных шин выглядит следующим образом:

$$A_{sl} = (E \times N \times P_{us} \times I_{us}) + (E \times N \times P_{ds} \times I_{ds}) \tag{6}$$

где A_{sl} – среднегодовое производство осадка от истирания не шипованных шин, кг/м²/год; E – энергия, передаваемая поверхности при движении автомобиля, МДж/м²/год; N – количество автомобилей за теплый сезон; P_{us} и P_{ds} – площадь ненарушенной и нарушенной поверхности соответственно, %; I_{us} и I_{ds} – коэффициент интенсивности износа для площади ненарушенной и нарушенной поверхности соответственно, кг/МДж (табл. 4).

2.3.3. Метод оценки осадкообразования от воздействия шипованных шин

В большинстве регионов России зимой автовладельцы используют шипованные шины, при этом, 77% из них шипованные [5]. Для расчета износа твердых поверхностей под воздействием шипованных шин может быть использован индекс SPS [7]. Индекс SPS – это шведская аббревиатура, обозначающая удельный износ. Он может быть представлен как количество граммов абразивного износа асфальта на километр дороги и один автомобиль с шипованными шинами. SPS можно рассчитать по формуле (7) [7]:

$$SPS = \frac{AW \times LW \times RL \ (1\ km) \times BD}{AADT \times WP \times SF} \tag{7}$$

где AW – проектный износ покрытия; LW – ширина колеи; RL – длина участка (1 км); BD – плотность асфальтобетонной смеси покрытия; $AADT$ – среднесуточная среднегодовая интенсивность движения на полосе; WP – длительность периода использования шипованных шин; SF – доля автомобилей, оборудованных шипованными шинами.

Материал или тип дорожного покрытия, а также среднегодовая суточная интенсивность движения влияют на величину износа. Кроме того, на дорожном симуляторе было установлено, что вес шипа может привести к увеличению износа на 50% [7]. Современные шипы в большинстве своем облегченные и двухкомпонентные. Корпус шипа изготавливается из алюминия, а не из стали, а сердцевина из твердого сплава.

2.3.4. Итоговое уравнение для оценки интенсивности осадкообразования в городской среде

Окончательное уравнение для оценки образования осадка на городской территории выглядит следующим образом:

$$USP = \left(\frac{A_p + A_{sm}}{10} \right) + A_{sl} + (SPS \times N \times k) \quad (15)$$

где *USP* (*Urban Soil Production*) – количество образуемого твердого осадка в городе, кг/м²/год; *A_p* – среднегодовые потери почвы от атмосферных осадков, т/га/год; *A_{sm}* – среднегодовые потери почвы от снеготаяния, т/га/год; *A_{sl}* – среднегодовое образование наносов от истирания не шипованных шин, кг/м²/год; *SPS* – износ дороги от шипованных шин, г/км/автомобиль; *N* – количество автомобилей за холодный сезон; *k* – поправочный коэффициент длины и ширины дороги.

3. Результаты

Проведенная с помощью модели USP оценка скорости образования твердого осадка в квартале жилых районов в зависимости от принадлежности города к тому или иному климатическому поясу и его климатической зоне представлена на рис. 1. Согласно результатам модельных расчетов, осадкообразование в городах России по климатическим зонам находится в диапазоне от 0,95 до 1,42 кг/м²/год. Также, прослеживается четкая зависимость между величиной осадкообразования и продолжительностью холодного периода, в который автомобили оборудуются шипованными шинами. Расчеты проводились при одинаковой интенсивности движения (1300 автомобилей в час). На примере зоны 1 (г. Сочи) на рис. 2 показано влияние атмосферных осадков на процесс осадкообразования. Относительное увеличение осадкообразования в этом городе связано с максимальным количеством атмосферных осадков – более 1500 мм/год, что превышает аналогичные значения в других климатических зонах в 2-4 раза.

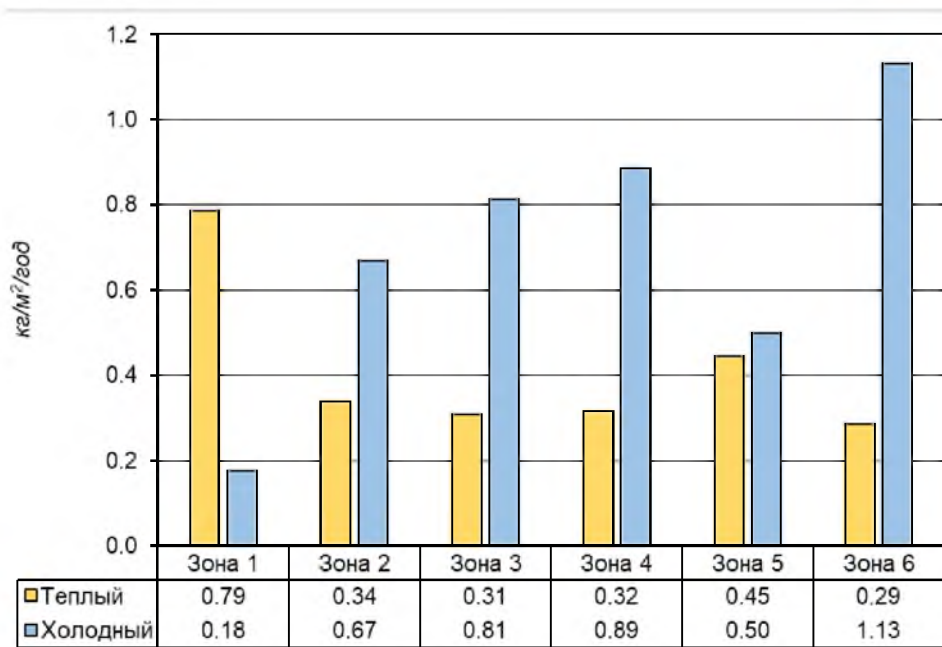


Рис. 2. Скорость образования твердого осадка в городских условиях в зависимости от климатической зоны (зона 1 – субтропический пояс, зона 2 – умеренный пояс (умеренно-континентальный климат), зона 3 – умеренный пояс (континентальный климат), зона 4 – умеренный пояс (резко-континентальный климат), зона 5 – умеренный пояс (муссонный климат), зона 6 – субарктический пояс)

На рис. 3 представлены вклады различных функциональных зон в районе многоэтажной застройки жилых кварталов городов, расположенных в разных климатических зонах. Зоны 2-4 – это зоны умеренного пояса со схожими климатическими условиями, поэтому усреднены и объединены для сравнения. Вклад основных функциональных зон в осадкообразование на элементарной единице городского ландшафта представлен на рис. 3. Согласно проведенному моделированию, эксплуатация сети городских дорог вносит от 73 до 87% в общее годовое поступление твердого осадка в зонах умеренного и субарктического поясов. Наименьший вклад сети городских дорог наблюдается в зоне субтропического климата – 38%, что обусловлено коротким холодным периодом и, соответственно, почти отсутствующей практикой использования шипованных шин. Также можно отметить, что значительная часть от общего поступления осадков приходится на осадки, образующиеся на территориях с открытым грунтом – нелегальная парковка и детская площадка.

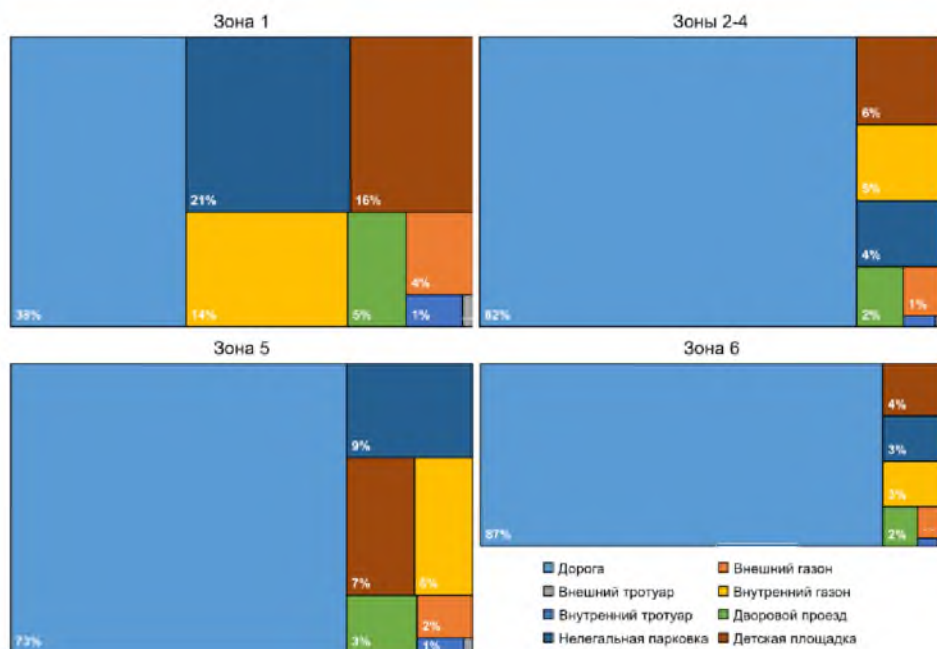


Рис 3. Вклады различных функциональных зон городов в образование твердого осадка, с учетом разных климатических зон

4. Обсуждение

В настоящем исследовании, для оценки интенсивности осадкообразования в городских условиях в разных климатических зонах, была использована модель USP, в которой учтены факторы и условия осадкообразования в современных российских городах.

Согласно результатам расчета, величина осадкообразования в современном российском городе варьируется от 0,95 до 1,42 кг/м²/год. По данным [25], выход наносов на городских территориях без ярко выраженных зимних условий определяется в диапазоне до 1,8 кг/м²/год с медианой 0,33 кг/м²/год. В активный период строительства – до 27 кг/м²/год с медианой 5,4 кг/м²/год [25]. В исследовании, проведенном в Британской Колумбии (Канада), на 1 м дорожного бордюра приходится более 1 кг осадка [21]. Можно отметить, что эти оценки близки к результатам, полученным в данной работе, а среднее производство осадка в крупных городах России выше медианного и близко к максимальному выходу осадка в других странах.

В целом российские города характеризуются высоким уровнем осадкообразования. Как показало моделирование, структура причин осадкообразования в значительной степени обусловлена негативным антропогенным воздействием. Интенсивное осадкообразование происходит как на сети улиц и дорог, так и на территориях дворов.

На долю дворов приходится от 12 до 58% образуемого твердого осадка. Парковка на газонах и плохое состояние асфальтовых и газонных покрытий являются основными причинами высокого уровня образования твердого осадка на дворовых территориях.

Увеличение количества образуемого твердого осадка является одним из основных факторов, снижающих качество городской среды. Накопление осадков связано с негативными экологическими, медицинскими, инфраструктурными, психологическими и другими проблемами. Сокращение образования осадка – важная задача благоустройства городской среды и, в целом, современного урбанизма как направления общественной жизни.

Введение полного запрета на парковку в жилых дворах позволит снизить антропогенное воздействие на поверхности, исключить парковку на газонах и, как следствие, уменьшить образование осадочного материала на нарушенных поверхностях. Для комплексов новых жилых зданий такой подход к решению проблемы загрязнения жилых дворов осадочным материалом широко используется. В этом случае такие комплексы оборудуются крупными подземными и внешними паркингами. В жилых районах, построенных ранее, например до 2000 г., наземные и подземные парковки зачастую не предусматривались. Поэтому меры по ограничению доступа автотранспорта во внутренние части дворов, построенных до 2000 г., вызовут негативную реакцию автовладельцев, а значит, вряд ли будут приняты большинством общества.

Ограничение использования шипованных шин может рассматриваться как первоочередная мера по снижению осадкообразования в регионах с продолжительным холодным сезоном. Однако такое решение связано с рядом организационных и технических трудностей. В настоящее время не существует достаточно недорогих дорожных покрытий инновационного типа, которые можно было бы использовать для обеспечения необходимого сцепления с дорогой не шипованных шин в условиях гололеда и обледенения. Не шипованные шины не обеспечивают необходимого сцепления с обледенелыми участками дорог и дворовых проездов. В целом следует отметить, что изменение практики зимней эксплуатации автомобилей требует дальнейших исследований и технологических инноваций.

Меры по снижению образования осадков должны применяться к различным частям городского ландшафта. В современных российских городах улицы, прилегающие к ним тротуары и газоны находятся в ведении городских властей. За качество внутриквартальных территорий и дворов отвечают домовладельцы. Отсутствие последовательности в управлении качеством окружающей среды может быть одной из причин неэффективности мероприятий по снижению образования твердого осадка.

5. Выводы

1. Проведена оценка интенсивности осадкообразования в городских условиях российских крупных городов, расположенных в разных климатических зонах (от субтропической до субарктической).
2. Согласно результатам моделирования, величина осадкообразования в российских городах варьируется от 0,95 до 1,42 кг/м²/год в зависимости от принадлежности к той или иной климатической зоне.
3. Определено влияние интенсивности атмосферных осадков, продолжительности холодного периода и эксплуатации автомобилей на осадкообразование в российских городах.
4. Определен количественный вклад различных функциональных зон в осадкообразование в городских условиях. Установлено, что на эксплуатацию

автомобилей приходится от 43 до 89% образования твердого осадка, а на дворовые пространства – от 12 до 58% образуемого твердого осадка.

Литература

1. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов, Москва: ИП Филимонов М.В., 2013. С. 208.
2. Ларионов Г.А. (1993) Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и противоэрозионные мероприятия, *Eurasian Soil Sci.* 4, 92–104.
3. Селезнев А.А., Шевченко А.В., Глухов В.С., Малиновский Г.П. (2022) Оценка поступления рыхлых наносов с водосбора в водоем на урбанизированной территории. *Траектория исследований – человек, природа, технологии*, 4(4). С. 13–29. [10.56564/27825264_2022_4_13](https://doi.org/10.56564/27825264_2022_4_13).
4. Arrojo GM (2000). Pavement wear caused by the use of studded tyres. DIVA. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-1204>.
5. AUTOSTAT OMNIBUS – 2020. Winter car tires: car owners' preferences (fourth wave). *Surveys | AUTOSTAT*. <https://www.autostat.ru/research/product/384/>.
6. Basic Information about Nonpoint Source (NPS) Pollution | US EPA. (2022, December 22). US EPA. <https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution>.
7. Carlsson A, Centrell P, Öberg G (1995) Studded tyres: socio-economic calculations. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
8. Cendrero A, Remondo J, Beylich AA, Cienciala P, Forte LM, Golosov V, Gusarov AV, Kijowska-Strugala M, Laute K, Li D, Navas A, Soldati M, Vergari F, Zwoliński Z, Dixon J, Knight J, Nadal-Romero E, Placzowska E (2022) Denudation and geomorphic change in the Anthropocene; a global overview. *Earth-Sci Rev*, 233, 104186. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104186>.
9. Corradini F, Meza P, Eguiluz R, Casado F, Huerta-Lwanga E, Geissen V (2019) Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Sci Total Environ*, 671, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>.
10. Crosby CJ, Fullen MA, Booth CN, Searle DE (2014) A dynamic approach to urban road deposited sediment pollution monitoring (Marylebone Road, London, UK). *J Appl Geophys*, 105, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.03.006>.
11. Di Miceli Da Silveira A, Pereira JA, Poletto C, De Lima JLMP, Gonçalves FaS, Alvarenga LA, Isidoro J (2016) Assessment of loose and adhered urban street sediments and trace metals: a study in the city of Poços de Caldas, Brazil. *J Soils Sediments*, 16:2640–2650. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1467-5>.
12. Dias-Ferreira C, Pato RL, Varejão JM, Tavares AO, Ferreira A (2016) Heavy metal and PCB spatial distribution pattern in sediments within an urban catchment—contribution of historical pollution sources. *J Soils Sediments*, 16(11), 2594–2605. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1542-y>.
13. Haynes HM, Taylor KG, Rothwell JJ, Byrne PJ (2020) Characterisation of road-dust sediment in urban systems: a review of a global challenge. *J Soils Sediments*, 20(12), 4194–4217. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02804-y>.
14. Hewett CJM, Simpson C, Wainwright J, Hudson S (2018) Communicating risks to infrastructure due to soil erosion: A bottom-up approach. *Land Degrad. Dev.*, 29(4), 1282–1294. <https://doi.org/10.1002/ldr.2900>.
15. Igwe PU, Onuigbo AA, Chinedu OC, Ezeaku II, Muoneke MM (2017) Soil Erosion: A Review of Models and Applications. *IJAERS*, 4(12), 138–150. <https://doi.org/10.22161/ijaers.4.12.22>.
16. Landrigan PJ, Fuller RA, Acosta NJR, Adeyi O, Arnold RM, Basu N, Baldé AB, Bertollini R, Bose-O'Reilly S, Boufford JI, Breyse PN, Chiles TC, Mahidol C, Coll-Seck AM, Cropper ML, Fobil JN, Fuster V, Greenstone M, Haines A, Zhong M (2017) The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462–512. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)32345-0).
17. Maltsev KA, Yermolaev O (2020) Assessment of soil loss by water erosion in small river basins in Russia. *CATENA*, 195, 104726. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104726>.

18. Merritt W, Letcher R, Jakeman A (2003) A review of erosion and sediment transport models. *Environ Modell Softw*, 18(8–9), 761–799. [https://doi.org/10.1016/s1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/s1364-8152(03)00078-1).
19. Murakami M, Nakajima F, Furumai H, Tomiyasu B, Owari M (2007) Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser. *Chemosphere*, 67(10), 2000–2010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.11.044>.
20. Owens PN (2020b) Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: a review of human impacts during a period of rapid global environmental change. *J Soils Sediments*, 20(12), 4115–4143. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02815-9>.
21. Owens PN, Caley KA, Campbell SN, Koiter AJ, Droppo IG, Taylor KG (2011) Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment. *J Soils Sediments*, 11(6), 1040–1051. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0383-y>.
22. Pereira PaA, Ferreira A, Sarah P, Cerdà A, Walsh RPD, Keesstra S (2016) Preface. *J Soils Sediments*, 16(11), 2493–2499. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1566-3>.
23. Polluted Runoff: Nonpoint Source (NPS) Pollution | US EPA (2023, March 16) US EPA. <https://www.epa.gov/nps>.
24. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JI (1991) RUSLE: Revised universal soil loss equation. *J Soil Water Conserv*. 46(1). 30–33.
25. Russell KM, Vietz G, Fletcher TD (2017) Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds. *Earth-Sci Rev*, 168, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.001>.
26. Seleznev AA, Ilgasheva E, Yarmoshenko IV, Malinovsky G (2021) Coarse Technogenic Material in Urban Surface Deposited Sediments (USDS). *Atmosphere*, 12(6), 754. <https://doi.org/10.3390/atmos12060754>.
27. Seleznev AA, Shevchenko AV, Gluhov VS, Malinovsky GP (2022) Assessment of the sediment supply from the catchment into a water body in an urban area. *TR-MNT*, 4, 13–29. https://doi.org/10.56564/27825264_2022_4_13.
28. Seleznev AA, Yarmoshenko IV, Malinovsky G (2019) Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge. *Environ. Process.*, 6(3), 581–595. <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00383-w>.
29. Seleznev AA, Yarmoshenko IV, Malinovsky G (2020) Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities. *Sci Rep*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4>.
30. Stojiljkovic A, Kauhaniemi M, Kukkonen J, Kupiainen K, Karppinen A, Denby B, Kousa A, Niemi JK, Ketzl M (2019) The impact of measures to reduce ambient air PM₁₀ concentrations originating from road dust, evaluated for a street canyon in Helsinki. *Atmos. Chem. Phys.*, 19(17), 11199–11212. <https://doi.org/10.5194/acp-19-11199-2019>.
31. Syvitski J, Ángel JR, Saito Y, Overeem I, Vörösmarty CJ, Wang H, Olago D (2022) Earth's sediment cycle during the Anthropocene. *Nat Rev Earth Environ*, 3(3), 179–196. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00253-w>.
32. Taylor K (2007) Urban environments. In: Perry C, Taylor K (eds) *Environ Sediment*, Wiley-Blackwell, Hoboken, 190–222.
33. Taylor KG, Owens PN (2009) Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *J Soils Sediments*, 9(4), 281–303. <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0103-z>.
34. Wischmeier WH, Smith DJ (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*, vol. 537, p. 62.
35. Wolman MG (1967) A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels. *Geogr Ann A*, 49(2–4), 385–395. <https://doi.org/10.1080/04353676.1967.11879766>.
36. Yarmoshenko IV, Malinovsky G, Baglaeva E, Seleznev AA (2020) A Landscape Study of Sediment Formation and Transport in the Urban Environment. *Atmosphere*, 11(12), 1320. <https://doi.org/10.3390/atmos11121320>.

БАЛАНС КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ И ЕГО РОЛЬ В ПАРНИКОВОМ ЭФФЕКТЕ НА ТЕРРИТОРИИ АБХАЗИИ

©Я.А. Экба^{1,2}, А.К. Ахсалба^{1,2}, С.И. Марандиди¹, Л.В. Хинтуба²

¹*Институт экологии АНА, Абхазия, Сухум*

²*Абхазский государственный, Абхазия, Сухум*

Аннотация. Основные потери энергии Земли и её атмосферы как целого в их общем энергетическом балансе связаны с тепловым излучением атмосферы в инфракрасной области спектра, который в основном обязан излучению атмосферной воды в виде пара и аэрозолей, а углекислый газ имеет второстепенное значение для этого процесса.

В результате удвоение содержания углекислого газа в атмосфере по сравнению с настоящим значением этой величины ведёт к росту средней температуры поверхности Земли на величину 0.4 ± 0.2 К при сохранении неизменными других параметров атмосферы, влияющих на климат Земли.

Накопление углекислого газа в атмосфере не является главным фактором, ответственным за изменение климата при современных условиях.

Последнее означает, что, если полностью прекратить выброс в атмосферу углекислого газа при сжигании ископаемого топлива, это слабо отразится на наблюдаемом изменении климата Земли.

Ключевые слова: Энергетический баланс, инфракрасный спектр, углекислый газ, изменение климата, ископаемое топливо.

Определяющую роль в энергетическом балансе Земли и атмосферы играет водяной пар [3], как основной парниковый газ. Определённую добавку к этому может дать углекислый газ атмосферы, поскольку наиболее интенсивная полоса поглощения молекул CO_2 находится в спектре теплового излучения Земли. Поглощение излучения молекулами воды и углекислого газа происходит в разных областях пространства, поскольку вода сосредоточена в тропосфере на высотах менее 10 км, а далее с увеличением высоты её концентрация резко падает.

Углекислый газ, наоборот, перемешивается с воздухом в результате конвективного движения последнего и большого времени жизни молекул углекислого газа в атмосфере. В результате углекислый газ поглощает тепловое излучение и становится его источником в атмосфере на больших высотах, чем молекулы воды [3].

Одним из главных процессов удаления углекислого газа из атмосферы является фотосинтез. Наряду с процессом фотосинтеза, удаление углекислого газа из атмосферы над океанами может быть связано с растворением его в океане, что ведёт к образованию карбонатов типа CaCO_3 . Разложение карбонатов создаёт поток углекислого газа в атмосферу. Другими каналами образования атмосферного углекислого газа являются процессы гниения, а также дыхания растений и микробов. [6, 27].



Рис. 1. Потоки углерода через атмосферу Земли в углеродном цикле.
 Указанные значения потоков выражены в млрд. т углерода в год

Деятельность человека также ведёт к накоплению углекислого газа в атмосфере. Большую часть потока CO_2 в атмосферу за счёт хозяйственной деятельности человека даёт сжигание ископаемого топлива (угля, нефти и газа) и углеродсодержащих материалов. При этом 35% выброса CO_2 в атмосферу составляет сжигание угля, 36% приходится на нефть, 20% на газ, 3% выбросов углекислого газа происходит при изготовлении цемента, остальное – при использовании дров, биотоплива и т.д. Существенный вклад в образование атмосферного углекислого газа вносит уничтожение лесов в тропических районах Южной Америки, Африки и Азии. Примерно $1.5 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ тропических лесов уничтожается ежегодно [7, 16].

При современной концентрации углекислого газа в атмосфере его поток в атмосферу по всем каналам превышает суммарный поток углекислого газа, удаляемого из атмосферы, таким образом в современных условиях концентрация молекул CO_2 в атмосфере увеличивается. В настоящее время атмосфера Земли содержит примерно $8 \cdot 10^{17} \text{ г}$ (100 млрд. т) углерода в форме молекул CO_2 . Для сравнения: средняя масса атмосферной воды равна $1.3 \cdot 10^{19} \text{ г}$, а масса атмосферного воздуха составляет $5.1 \cdot 10^{21} \text{ г}$. Время нахождения молекул углекислого газа в атмосфере составляет примерно 4 года. За это время углекислый газ перемешивается с воздухом в атмосфере так, что концентрация молекул CO_2 в атмосферном воздухе не зависит от точки её измерения вдали от источников углекислого газа и областей его поглощения [11, 34].

Наиболее полная информация относительно современной концентрации молекул CO_2 в атмосфере и её эволюции следует из измерений обсерватории Мауна Лоа (Mauna Loa), Гавайи, США [35]. При этом мониторинг концентрации атмосферного углекислого газа происходит непрерывно, начиная с 1958 г. Результаты этого мониторинга показывает, что концентрация молекул CO_2 в атмосфере изменилась с 316 ppm в 1959 г. до 402 ppm в 2015 г. ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$). При этом скорость накопления молекул CO_2 в атмосфере изменилась с 0.7 ppm в год в 1959 г. до примерно 2.1 ppm в год в 2015 г. [19, 28] Сезонные вариации концентрации молекул CO_2 в атмосфере происходят за счёт более высокой интенсивности фотосинтеза в северном полушарии по сравнению с южным. В

результате в период с мая по сентябрь, когда фотосинтез имеет место в северном полушарии, происходит уменьшение измеряемой концентрации молекул углекислого газа [21, 32, 33].

Средний ежегодный рост концентрации углекислого газа в атмосфере в настоящее время составляет 2.1 ppm в год, что соответствует сжиганию $4.4 \cdot 10^9$ т углерода. Это немногим меньше количества углерода, содержащегося в добытых в этом году ископаемых горючих топливах (уголь, нефть, газ) [10, 12].

Непрерывные измерения концентрации углекислого газа, проведённые в атмосфере прибрежной части территории Абхазии за период с 2011 г. по настоящее время с помощью многокомпонентного газоанализатора МАГ-6П показали, что содержание углекислого газа в годовом ходе сильно варьирует от минимальных значений 0,003% в мае месяце до 0,18% в декабре (рис. 2).

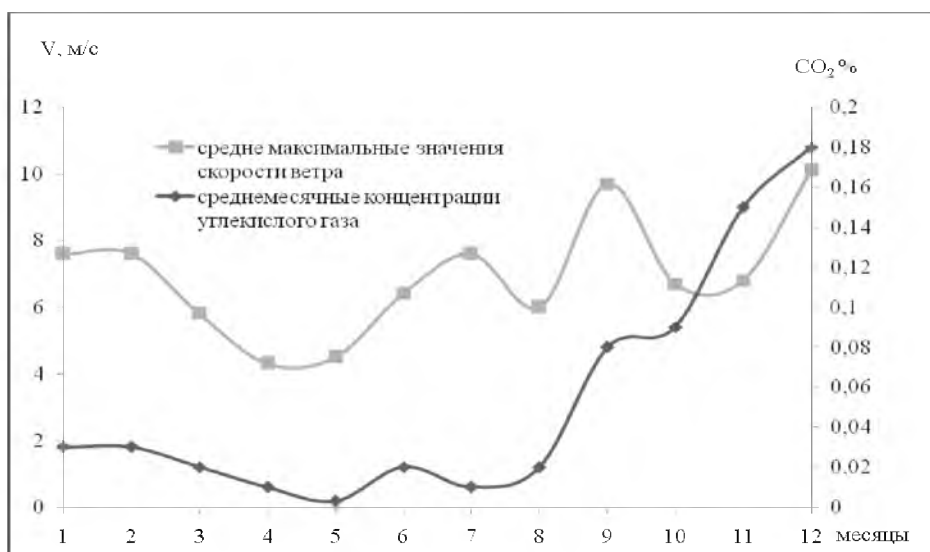


Рис.2. Годовой ход концентрации углекислого газа в прибрежной зоне г. Сухум

Максимальные концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе характерны для осенне-зимнего периода. Была также установлена высокая корреляционная связь между концентрацией углекислого газа в атмосфере и скоростью ветра, направленного на побережье.

Максимальные концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе, в десятки раз превышающие стандартное значение наблюдались в период штормовой погоды. Из анализа экспериментальных данных [1] можно сделать вывод, что эффект интенсивного выброса CO₂ в атмосферу во время штормов во много раз превосходит температурный эффект выделения углекислого газа в летний период. Тем не менее элементарные расчёты показывают, что для удвоения концентрации CO₂, относительно которого производятся расчёты парникового эффекта, необходимо накопление углекислого газа в течение сотен лет.

Наряду с мониторингом современного содержания углекислого газа в атмосфере определённое понимание эволюции этого параметра в прошлом даёт анализ содержания углекислого газа в ледниковых отложениях. Установлено, что среднее значение концентрации углекислого газа близко к его значению в нашей эре в преиндустриальную эпоху.

Излучение молекул CO₂ в воздушной атмосфере

Пока углекислый газ отсутствовал в атмосфере Земли, равновесное излучение, рассчитанное в рамках модели чёрного тела для излучающей атмосферы, характеризовалось температурой $T_{\uparrow} = 244 \text{ K}$. Это соответствует потоку уходящего теплового излучения, равному $J_0 = \nu T_{\uparrow}^4 = 200 \text{ Вт/см}^2$, как это следует из энергетического баланса Земли и атмосферы (здесь ν – постоянная Стефана-Больцмана, равна $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ K}^{-4}$). Проведённые расчёты показали, что введение углекислого газа в атмосферу ведёт к уменьшению уходящего потока излучения (рис. 3) и, соответственно, к росту температуры Земли.

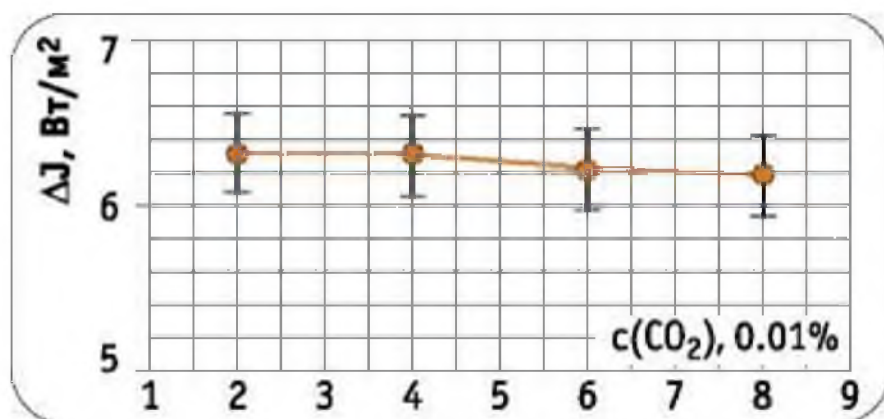


Рис. 3. Изменение уходящего потока теплового излучения атмосферы ΔJ в результате введения в атмосферу углекислого газа с указанной концентрацией, если сначала углекислый газ отсутствует в ней.

Как видно, изменение потока уходящего излучения ΔJ относительно мало, и поэтому увеличение температуры Земли ΔT в результате введения в атмосферу углекислого газа составляет

$$\Delta T = \frac{\Delta J}{4 J_0} \approx 1.8 \text{ K}$$

При этом увеличение или уменьшение вдвое концентрации молекул углекислого газа в атмосфере ведёт к изменению потока излучения, которое не превышает модельной ошибки результата. Тем самым правильное было бы считать, что указанные изменения концентрации молекул углекислого газа не ведут к изменению температуры Земли при современной концентрации углекислого газа. [5,6]

В то же время изменение средней температуры Земли при увеличении или уменьшении современной концентрации углекислого газа вдвое от его современного значения относительно невелико и не превышает ошибки расчётов, которая составляет примерно 0.1 K. Отсюда приходим к выводу, что удвоение современной концентрации углекислого газа не приведёт к изменению интенсивности уходящего теплового излучения Земли и связанному с этим, изменению средней температуры Земли [7, 9].

Тепловое излучение атмосферных молекул углекислого газа в сторону Земли

Теперь определим поток теплового излучения из атмосферы на Землю, который создаётся находящимися там молекулами углекислого газа.

В частности, при удвоении концентрации молекул CO_2 в атмосфере по сравнению с современным её значением увеличение глобальной температуры Земли составляет

$$\Delta T = 0.4 \pm 0.2 \text{ K}$$

По сути дела, рассматриваемая проблема атмосферного углекислого газа является одной из проблем изменения климата в результате изменения параметров Земли и атмосферы, в частности, происходящего в результате деятельности человека. Поскольку углекислый газ вносит малый вклад в энергетический баланс Земли, другие факторы могут быть более существенными при эволюции климата Земли, который меняется на наших глазах [22, 29].

Известно, что основным парниковым газом является не CO_2 , а водяной пар, вклад которого в парниковый эффект (ПЭ) составляет примерно 60% (В.Н. Малинин, С.М. Гордеева 2016). Вспомним, что глобальное потепление в XX в. проявлялось в нижних слоях атмосферы, а в верхнем слое тропосферы и стратосфере, наоборот, происходило похолодание. Если содержание CO_2 и других парниковых газов практически постоянно по все толще атмосферы, то водяной пар убывает по экспоненциальному закону и выше тропосферы его содержание пренебрежимо мало. Отсюда следует, что именно водяной пар может служить определяющим ПЭ фактором [2].

В соответствии с работой [2] глобальная ПТВ за период 1988–2004 гг. увеличилась на $0,28^\circ\text{C}$. За это же время влагосодержание над океаном возросло на 0,6 мм. Отсюда следует, что при повышении влагосодержания на указанную величину глобальная ПТВ увеличивается на $0,3^\circ\text{C}$ т.е. отмечается удивительное согласие фактического роста ПТВ и вычисленной по изменениям ВА. Следовательно, даже простой модельный расчет показывает, что изменения водяного пара как сильного парникового газа вполне могут приводить к наблюдаемым в современный период изменениям температуры воздуха. Возможно, игнорирование роли водяного пара экспертами МГЭИК в формировании ПЭ как раз связано с его малыми изменениями. Поскольку в реальных условиях рост концентрации CO_2 и ВА происходит согласованно и в одной фазе, то очевидно их воздействие на ПТВ осуществляется совместно. Поэтому определить, какой из этих парниковых газов оказывается «главным» по влиянию на ПТВ, вряд ли возможно.

Энергетический баланс Земли и атмосферы в основном зависит от атмосферной влаги, поэтому изменение её содержания в атмосфере отражается на изменении климата. [8,25] При этом водяной пар выступает в энергетическом балансе Земли и её атмосферы как источник инфракрасного излучения, тогда как аэрозоли, в том числе входящие в состав облаков, влияют на энергетический баланс Земли [15, 24, 26] не только как эффективный источник теплового излучения, но и как отражатель солнечного излучения. Отметим, что содержание аэрозоля в атмосфере носит локальный характер [13].

В частности, концентрация аэрозоля в северном полушарии втрое больше, чем в южном. [30] Такую же роль может играть пыль в приземной атмосфере, хотя её действие обычно носит локальный характер. Другие парниковые газы дают небольшой вклад в тепловой баланс Земли, хотя их концентрация в атмосфере Земли увеличивается более быстрыми темпами, чем углекислого газа. Так, с 1750 г. концентрация атмосферного метана увеличилась более, чем на 150%. [31] Происходящее в настоящее время быстрое уменьшение содержания атмосферного озона также необходимо учитывать в энергетическом балансе Земли, поскольку озон является одним из парниковых газов. [18,23]

Таким образом имеется много факторов, которые следует принимать во внимание при анализе изменений климата Земли. Удобно выбрать один из них в качестве параметра, характеризующего изменение параметров атмосферы, которое приводит к изменению энергетического баланса Земли. [14,20]

Обратим внимание на трудность измерения параметров Земли, характеризующих и влияющих на её климат. Это в первую очередь относится к водяному атмосферному пару и аэрозолям, основным компонентам, определяющим тепловое излучение атмосферы. Флуктуации плотности этих величин значительно превышают точность определения их средних значений, что необходимо для определённых выводов. Такая же проблема сопровождает измерение средней температуры Земли, которая используется, как характеристика изменения климата. Очевидно, флуктуации температуры Земли, пространственные, суточные, сезонные, достигают десятков градусов, тогда как для анализа изменения климата требуется точность порядка десятой градуса. Тем самым для надёжного анализа необходим большой массив информации [4, 17].

Заключение

Проведённый анализ влияния атмосферного углекислого газа на энергетический баланс Земли приводит нас к следующим выводам. Основные потери энергии Земли и её атмосферы как целого в их общем энергетическом балансе связаны с тепловым излучением атмосферы в инфракрасной области спектра, который в основном обязан излучению атмосферной воды в виде пара и аэрозолей, а углекислый газ имеет второстепенное значение для этого процесса.

Наблюдаемое накопление углекислого газа в атмосфере при его современном содержании слабо влияет на поток инфракрасного излучения, уходящего за пределы атмосферы, и приводит к увеличению этого потока на поверхность Земли. В результате удвоение содержания углекислого газа в атмосфере по сравнению с настоящим значением этой величины ведёт к росту средней температуры поверхности Земли на величину 0.4 ± 0.2 К при сохранении неизменными других параметров атмосферы, влияющих на климат Земли. Это значительно меньше эмпирического изменения средней температуры Земли при удвоении содержания углекислого газа в атмосфере, который равен в среднем 3.0 ± 1.5 К и является аппроксимацией наблюдаемых значений изменения средней температуры Земли и концентрации углекислого газа.

Тем самым эмпирическое значение учитывает изменение других параметров, влияющих на климат Земли, наряду с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере. Отсюда следует, что накопление углекислого газа

в атмосфере не является главным фактором, ответственным за изменение климата при современных условиях.

Таким образом, концентрация углекислого газа в атмосфере является лишь удобным индикатором, который характеризует изменение условий энергетического баланса и, соответственно, климата Земли. Поэтому соотношение между наблюдаемой средней температурой Земли и текущей концентрацией углекислого газа в атмосфере нельзя воспринимать буквально. Последнее означает, что, если полностью прекратить выброс в атмосферу углекислого газа при сжигании ископаемого топлива, это слабо отразится на наблюдаемом изменении климата Земли.

Литература

1. *Ахсалба А.К., Марандиди С.И.* Динамика содержания углекислого газа и кислорода в прибрежных водах Чёрного моря // Материалы шестой научно-практической конференции. Ч.1. Майкоп, 2021. С. 31-38.
2. *В.Н. Малинин, С.М. Гордеева.* Глобальный экологический кризис. Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственные контракты № П726 от 20 мая 2010 г. и № 14.740.11.0201) по направлению «Океанология».
3. *Смирнов Б.М.* Физика глобальной атмосферы. Парниковый эффект, атмосферное электричество, эволюция климата. М.: Изд-во «Интеллект», 2017. 256 с.
4. Arrhenius S. On the Influence of Carbonic Acid upon Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine*. V. 41, 1896.
5. Bellouin N. et all. Global Estimate of Aerosol Direct Radiative Forcing from Satellite Measurements. *Nature*. V. 438, 2005.
6. Bidlack J.E., Stern K.R., Jansky S. *Introductory plant biology*. (New York, McGraw-Hill, 2003).
7. Blankenship R.E. *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*. (London, Wiley, 2014).
8. Dai A., Trenberth K.E., Karl T.R. Effects of clouds, soil, moisture, precipitation and water vapour on diurnal temperature range. *J. Climat*. V. 12, 1999.
9. Hall D.O., Rao K.K. *Photosynthesis*. (Cambridge, Cambr. Univ. Press, 1999).
10. Hahmann A.N., Dickinson R.E. RCCM2-BATS model over tropical South America: Applications to tropical deforestation. *J. Climate*. V. 10. 1997.
11. *Handbook of Photosynthesis*. (Boca Ratonm CRC Pressm 2005).
12. Hill R. Oxygen Evolved by Isolated Chloroplasts, *Nature*, V. 139, 1937.
13. Jones H.G. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. (Cambridge, Camb. Univ. Press, 1992).
14. Karoly D. J., 2003, Ozone and Climate Change, *Science*. V. 302.
15. Kauf- man Y.J., Tanré D., Boucher O. A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*. V. 419, 2002.
16. Lawlor D.W. *Photosynthesis*. (Oxford, BIOS, 2001).
17. Lawrence D., Vandecar K. Effects of Tropical Deforestation on Climate and Agriculture. *Nature Climate Change*. V. 5. 2015.
18. Lean J., Rowntree P.R. Understanding the sensitivity of a GCM simulation of Amazonian deforestation to the specification of vegetation and soil characteristics. *J. Climate*. 1997. V.
19. Ed. by D.H. Levinson and A.M. Waple. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85(6), S1 (2004); State of the climate in 2004.
20. Ed. by D.H. Levinson. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 86, S1(2005)
21. Lüthi D., Le Floch M., Bereiter B. et all. High-resolution carbon dioxide concentration record 650.000–800.000 years before present. *Nature*. V. 453. 2008.
22. Martyn D. *Climates of the World*. (Amsterdam, Elsevier, 1992); State of the climate in 2003.

24. Plass G.N. The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change. *Tellus*. V. 8, Issue 2. 1956.
25. Ramanathan V. et al. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*. V. 294, 2001.
26. Smith C.A., Haigh J.D., Toumi R. Radiative forcing due to trends in the stratospheric water vapour. *Geophys. Res. Lett.* V. 28. 2001.
27. Snyder M.A., Bell J.L., Sloan L.C. 2002. Climate responses to a doubling of atmospheric carbon dioxide for a climatologically vulnerable region. *Geophys. Res. Lett.* V. 29, 014431. 2002.
28. Wylie D.P. et al. Trends in global cloud cover in two decades of HIRS observations. *Journal of Climate*. V. 18. 2005.
29. [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Carbon Cycle/](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/).
30. <https://en.wikipedia.org/wiki/Global-warming>.
31. <https://www.wmo.int/pages/themes/climate/causes-of-climate-change.php>.
32. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7h.html>.
33. <http://www.ciesin.org/docs/004-038/004-038a.html>.
34. <https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse-effect>.
35. <https://www.ipcc.ch/publications-and-data/ar4/wg1/en/ch757-3.html>.
36. <https://en.wikipedia.org/wiki/Mauna-Loa-Observatory>.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОРТАЛ «ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ БАССЕЙНА Р. ОСЁТР»

© Ю.Д. Юрова¹, В.А. Широкова^{1,2}, Р.С. Широков¹

¹Государственный университет по землеустройству, Москва

²ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва

Аннотация. Идея базируется на фундаментальных физико-географических и геоэкологических понятиях, анализе и обобщении отечественного и зарубежного опыта в данной сфере исследований. Ввиду наличия большого количества данных о прошлом и современном состоянии водосборного бассейна р. Осётр, возникает необходимость в систематизации сбора, хранения, анализа и представления разнотипной информации о данном водном объекте. Одним из широко используемых решений для реализации этой комплексной задачи является создание соответствующего геоэкологического портала. Геопортал «Геоэкологический паспорт бассейна р. Осётр» – специализированная ГИС, аналогичная государственному водному реестру открытого пользования, состоящая из актуальных данных о состоянии водного объекта (качество воды рыбохозяйственного и культурно-бытового значения, влияние климатических факторов на изменение стока воды в водном объекте, влияние донных отложений на качественный состав воды рыбохозяйственного и культурно-бытового значения, загрязнение уровня снежного покрова и дальнейшего поступления загрязняющих веществ в водный объект, газогеохимическое состояние и экологические функции почв водосборной территории и др.) и его природной защищённости и антропогенной нагрузки на территорию водосбора, необходимых для обеспечения оперативного контроля за экологическим благополучием водного объекта, прогнозирования эокризисных ситуаций и раннего предупреждения об экологических опасностях при его оценке. В составе ГИС будет сформирована база геоданных, на основе которой для водосборной территории бассейна р. Осётр будет создан комплект электронных тематических, аналитических и синтетических карт по изменению природной среды водосборного бассейна р. Осётр с выделением суббассейнов и тестовых участков. Актуализированный геопортал приобретает научно-прикладное значение при оценке степени антропогенного воздействия на водосборные бассейны малых и средних рек и проведении геоэкологического мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: Геоэкология, природопользование, гидрология, гидрохимия, геоэкологический паспорт, многокомпонентная методика

Введение

Работы по разработке научно-информационных систем и геоэкологических баз данных для управления речными бассейнами, в последние годы находят широкое применение и направлены на совершенствование методов и средств сбора, хранения и обработки информации.

В исследованиях по оценке состояния водосборов малых и средних рек с помощью ГИС-технологий на примере различных стран и созданию геоэкологических паспортов, научно-информационных систем, геоэкологических баз данных, геоинформационных моделей, геопорталов бассейновых геосистем, геосистем малых и средних рек следует отметить исследования ученых А.Ю. Шелестова, А.Н. Кравченко, Н.Н. КуССуля (2007); Е.Н. Сутырина (2010); М. Романова, F. Switala (2015) и др., студентов и сотрудников МИИГАиКа, МГУ, КФУ, ИВЭП РАН, ИВП РАН, ИЭВБ РАН,

НГУ, ИГ СО РАН, ИВПС КарНЦ РАН, ИВЭП СО РАН, БрГУ им. А.С. Пушкина, СГУГиТ, АУ «Управление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики», РГО.

В работах по обоснованию экологической паспортизации городских водоемов с целью оценки их экологического состояния и дальнейшего рационального использования (Розенберг, Гелашвили, Зинченко, 2001; Зятькова, Лесных, 2004; Курбатова, 2009) авторы предлагают проводить паспортизацию речных систем по единой программе, создавая типовые геоэкологические паспорта с отражением как физико-географических условий расположения речных систем, так экологический прогноз, оценку, природоохранные рекомендации. Данные материалы необходимы для базы данных центров геоинформационных систем природопользования, для геомониторинга речных бассейнов; для предотвращения нежелательных последствий влияния АТФ на русловые процессы; для составления водного, земельного, городского кадастров.

Опыт и подходы создания атласов экологических карт бассейнов рек на примере бассейна р. Западной Двины; геоинформационного картографирования в геоэкологических исследованиях региона на примере Алтайского края; картографической модели бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены; разработки концепции создания комплексного научно-справочного эколого-географического атласа: "Татнефть и устойчивое развитие"; информационной системы и электронного атласа по состоянию и использованию ресурсов Белого моря и его водосбор; разработки «Интерактивной программы «Экологический паспорт водоема» на примере Куйбышевского водохранилища; региональных электронных эколого-географических атласов на примере «Эколого-гидрографического атласа Брестской области», «Ландшафтно-экологического атласа бассейна реки Щара» и атласа «Факторы и особенности развития агроэкотуризма в Брестской и Гродненской областях»; атласа Каспийского моря на основе геопортальных технологий; ГИС-проекта для программы комплексного экологического мониторинга Забайкальского национального парка; экологического паспорта реки Усы нашли отражение в работах А.В. Высоченко, Ж.А. Капилевич, М.Е. Фейгельман (2003), О.П. Ермолаева, Н.П. Торсуева (2005), О.В. Никитина (2012), Н.Н. Филатова, А.В. Толстикова, М.С. Богдановой и др. (2014), С.М. Токарчук, О.В. Токарчук, Е.В. Трофимчук (2015), С.А. Седых (2015); О.П. Ермолаевой, К.А. Мальцевой, С.С. Мухарамовой (2018), В.В. Ивановской, А.Р. Аляутдинова, Л.А. Ушаковой (2018); Т.Д. Зинченко, С.В. Саксонов, С.А. Сенатор и др. (2019).

Важным результатом при создании ГИС водных объектов являются следующие работы: геопортал «Речные бассейны Европейской России» КФУ (2015-2017); «Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек европейской территории России и его опасных проявлений (МГУ)» (Фролова, Киреева, Самсоновым и др., 2021); «Создание геоинформационной модели и интерактивной карты экологических рисков бассейна реки Оки» (МИИГАиК, 2021) [1-3].

Вопросам создания цифровых тематических и комплексных атласов водосборов речных бассейнов при создании комплексного цифрового геоэкологического атлас системы речных бассейнов установили научные принципы картографического моделирования геоэкологических условий речных

бассейновых систем и их изменений под влиянием хозяйственной деятельности и трансформации климатических условий посвящены работы И. Ковальчук, А. Ковальчук, Ю. Андрейчук (2016-2022). И. Ковальчук, А. Ковальчук, Ю. Андрейчук (2022).

Многими зарубежными учеными цифровые атласы (фактически географические информационные системы) активно создаются для систем крупных речных бассейнов в Индии (India-WRIS. Атлас речных бассейнов Индии, 2012), в странах Юго-Восточной Азии, Африки и Северной и Южной Америки: Экологический атлас реки Мистик, 2008-2015; Атлас реки НРЕЛ, 2015; Атлас планирования Нижнего бассейна реки Меконг, 2011; ЮНЕП. Водный атлас Африки, 2010; Бассейн реки Замбези, 2013).

Использование и отличительная роль современной картографии в исследовании эколого-географических проблем состоит в том, что она позволяет с помощью карт, построенных на принципах системного пространственно-временного моделирования, исследовать свойства природных комплексов, их изменения во времени, связи и пространственные отношения. Актуальность используемых подходов к решению проблемы связана с необходимостью обеспечения единства и непрерывности информационного, нормативно-методического пространства Российской Федерации в сфере использования и охраны водных объектов, систематизации материалов о состоянии водных объектов и составе водохозяйственных и водоохраных мероприятий.

Создание ГИС сплошного покрытия с возможностью накопления больших объемов пространственной информации о природных системах, комплексных сведений о состоянии бассейнов малых рек, изучения отклика бассейновых геосистем на антропогенное воздействие и происходящие климатические изменения в различных ландшафтных зонах является актуальной задачей современного развития российского картографирования.

Методы и подходы исследования

В методологически-информационную основу создания специализированной геоинформационной системы (ГИС) – геопортала «Геоэкологический паспорт бассейна р. Осётр», для формирования геоэкологической оценки антропогенного воздействия на водосборный бассейн реки Осётр, входят [4-6, 11]:

- законодательные акты и нормативные документы (Приказ Минсельхоза от 13.12.2016 № 552, СанПиН 2.1.5.980-00, ГН 2.1.5.1315-03, ГОСТ 17.1.3.07-82, ГОСТ 17.1.3.13-86, СанПиН 2.6.1.2523 - 09, МР 01-19/52-17, РД 52.24.309-2016, Р 52.24.867-2017, СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ 17.1.1.02-77 и др.); отчеты НИР за 2019-2021 гг. (ФГБОУ ВО ГУЗ);

- фондовые материалы и научные отчеты – Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Министерства экологии и природопользования МО, Администрации Зарайского района, ООО «Рязаньпроект, РусГидро, ГПБУ «МОСЭКОМОНИТОРИНГ», аналитических лабораторий «Мещерский научно-технический центр» и ИЛ «ЭкоЦентр», Федерального агентства водных ресурсов, Федерального агентства лесного хозяйства;

- результаты интегральной оценки рекреационных зон и оценке антропогенного влияния на экологическое состояние выделенных

рекреационных зон на примере реки Осётр в Московской области (Широкова, Хуторова, Юрова, Донцов, 2017; Головатюк, Широкова, 2019); геоэкологической оценки антропогенного воздействия на бассейн реки (Yurova, Shirokova, 2020); научно-учебной значимости уникальных природных объектов НУБ «Горное» (Юрова, Широкова, Хуторова, 2020); естественно-исторического мониторинга памятника природы «Залесённый овраг у д. Власьево» (Московская область, городской округ Луховицы) (Озерова, Куклина, 2019); геоэкологического скрининга состояния бассейнов малых и средних рек для оценки воздействия эксплуатации гидротехнических сооружений (Shirokova, Yurova, 2020; Юрова, Широкова, 2021; Юрова, 2021); эколого-гигиенической диагностики ландшафтов водосборной территории бассейна р. Осётр Зарайского и Луховицкого районов Московской области (Юрова, 2021); геоэкологической оценки территории НУБ «Горное» Зарайского района Московской области (Юрова, Широков, 2021); комплексной геоэкологической оценки водосборной территории р. Осётр в условиях антропогенного воздействия (Shirokova, Yurova, 2020; Юрова, 2020, Широкова, Юрова, 2021; Юрова, 2022);

- методологические основы применения интегральных показателей для оценки экологического состояния водных объектов, разработанных участниками проекта (Юрова, Широкова, Хуторова, 2017; Головатюк, Широкова, 2019 и др., Юрова, 2018-2020); разработки геоэкологического паспорта как основы устойчивого развития землеустройства (на примере водосборного бассейна реки Осётр) и геоэкологической научно-информационной базы паспортизации водных объектов для комплексной геоэкологической оценки водосборных территорий бассейнов малых и средних рек при недостаточности репрезентативных стационарных и полевых исследований (Юрова, Широкова, 2022; Юрова, 2022);

- научные концепции по оценке туристско-рекреационного потенциала (Арманд, 1975; Шарыгин, 1995; Дроздов, 2000; Богданов, 2005; Колбовский, 2006; Худеньких, 2006; Воронин, 2014; Дирин, Крупочкин, Голядкина, 2014; Ушакова, Золотарев, Вдовин, 2014; Афанасьев, 2016; Гудковских, 2017; Рожков, 2021 и др.); геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков (Карпенко, 2018); разработке экологического паспорта реки Усы (Зинченко, Саксонов, Сенатор и др., 2019 и др.).

Методической основой актуализации базы геоэкологических данных по бассейну р. Осётр и создания геопортала «Геоэкологический паспорт бассейна р. Осётр» – специализированной ГИС станет актуализируемая многокомпонентная методика геоэкологической оценки антропогенного воздействия на водосборный бассейн р. Осётр [7-10].

Результаты исследований

Обзор современного состояния и направления исследований в мировой науке показывает, что планируемые в рамках научного проекта результаты соответствуют разработкам мирового уровня в области пространственного анализа компонентов геосистем водосборов использованием ГИС-технологий, причем на водосборной территории р. Осётр подобные исследования проводятся впервые.

Проблема, на решение которой направлено исследование, связана с необходимостью разработки интерактивного геоэкологического портала «Геоэкологический паспорт бассейна р. Осётр» – интерактивной геоэкологической научно-информационной базы паспортизации водных объектов для комплексной геоэкологической оценки водосборной территории бассейна р. Осётр, при недостаточности репрезентативных стационарных и полевых исследований, как обязательной составляющей геоэкологического мониторинга, геоэкологической оценки окружающей среды и рационального природопользования.

Ввиду наличия большого количества данных о прошлом и современном состоянии водосборного бассейна р. Осётр, возникает необходимость в систематизации сбора, хранения, анализа и представления разнотипной информации о данном водном объекте. Одним из широко используемых решений для реализации этой комплексной задачи является создание соответствующего геоэкологического портала [4-6, 11].

Впервые при недостаточности репрезентативных стационарных и полевых исследований будет создан геоэкологический портал, представляющий интерактивную геоэкологическую научно-информационную базу паспортизации водных объектов для комплексной геоэкологической оценки водосборных территорий бассейнов малых и средних рек, в основе которого лежит актуализированная многокомпонентная методика геоэкологической оценки антропогенного воздействия на водосборный бассейн и разработанный экологический каркас бассейна [6, 9].

При реализации комплексной геоэкологической оценки водосборного бассейна р. Осётр, ГИС-технологии позволят объединить разнородные данные в многослойном проекте, подключить модули обработки данных с целью наглядного картографирования территорий с повышенными уровнями геоэкологической напряжённости и выявления участков, наиболее чувствительных к поступлению загрязняющих веществ [7, 9-11].

Методика создания специализированной геоинформационной системы (ГИС) позволит на основе данных ДЗЗ и многолетнего банка геоэкологических данных о локальных объектах (тестовые участки, суббассейны) создать базу данных, провести ее геопространственный анализ, визуализировать результаты в виде интерактивной карты региона – *веб-ресурса*.

Геопортал «Геоэкологический паспорт бассейна р. Осётр» – специализированная ГИС, аналогичная государственному водному реестру открытого пользования, состоящая из актуальных данных о состоянии водного объекта (качество воды рыбохозяйственного и культурно-бытового значения, влияние климатических факторов на изменение стока воды в водном объекте, влияние донных отложений на качественный состав воды рыбохозяйственного и культурно-бытового значения, загрязнение уровня снежного покрова и дальнейшего поступления загрязняющих веществ в водный объект, газогеохимическое состояние и экологические функции почв водосборной территории и др.) и его природной защищённости и антропогенной нагрузки на территорию водосбора, необходимых для обеспечения оперативного контроля за экологическим благополучием водного объекта, прогнозирования экокризисных ситуаций и раннего предупреждения об экологических опасностях при его оценке [6].

В составе ГИС будет сформирована *база геоданных*, на основе которой для водосборной территории бассейна р. Осётр будет создан комплект электронных тематических, аналитических и синтетических карт по изменению природной среды водосборного бассейна р. Осётр с выделением суббассейнов и тестовых участков [1-3, 6, 8-11]:

- серия морфометрических картосхем (площадь бассейна и суббассейнов, распределение высот, уклоны, глубина и густота долинного расчленения, продольная и профильная кривизна, эрозионный потенциал, экспозиция склонов);

- гидроклиматические картосхемы (температура воздуха, среднегодовые осадки, температурные и влажностные тренды, др.);

- гидрологические картосхемы (порядок речной сети, сток взвешенных наносов, расход воды, средний многолетний сток, средний многолетний модуль стока, средний многолетний объем стока за год, коэффициент стока, средний многолетний коэффициент стока);

- гидрохимические картосхемы (рН, минерализация, кислород, марганец, железо, аммоний ион, нитрит-ион, нитрат-ион);

- эколого-геохимические картосхемы (тяжелые металлы, углекислый газ, метан);

- ландшафтные картосхемы (речные суббассейны, гидрологические посты, гидротехнические сооружения, цифровая модель рельефа, почвенная карта, основные типы растительного покрова; общегеографическое содержание, граница территории исследования, лесистость территории, назначение земель, распаханность водосбора и урбанизированность, типы землепользования, потенциальная эрозия почв, экологический каркас бассейна);

- картосхемы геоэкологического районирования (степень загрязнённости поверхностных вод рыбохозяйственного и культурно-бытового значения по гидрохимическим показателям (ИЗВ, УКИЗВ, коэффициент самоочищения), степень загрязнённости почвенного покрова (ИЗП), степень загрязнённости донных отложений (УКИЗДО), степень загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова (ИЗА), агроэкологический и природо-ресурсный потенциал, доля антропогенного воздействия, уровни геоэкологической напряжённости).

Актуализированный геопортал приобретает научно-прикладное значение при оценке степени антропогенного воздействия на водосборные бассейны малых и средних рек и проведении геоэкологического мониторинга окружающей среды. Геопортал может быть актуален для водопользователей и государственных органов при управлении природопользованием для проведения геоэкологического мониторинга окружающей среды Московской, Тульской и Рязанской областей, при недостаточности репрезентативных стационарных и полевых исследований, с целью предотвращения, минимизации или ликвидации вредных и нежелательных экологических, и связанных с ними, социальных, экономических и других последствий, и сохранения оптимальных условий жизни населения, а также определения и планирования первоочередных и приоритетных водоохранных мероприятий на федеральном и региональном уровнях [5].

Литература

1. Ермолаев О.П. Геопортал «Речные бассейны Европейской России». Казань: КФУ, 2017. URL: <https://bassepr.kpfu.ru/>.
2. Малинников В.А., Загребин Г.И., Кузнецова Г.Д. и др. Создание геоинформационной модели и интерактивной карты экологических рисков бассейна реки Оки. М.: МИИГАиК, 2021. URL: <https://oka.miiгаik.ru/>
3. Фролова Н.Л., Киреева Н.Л., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Лурье И.К., Семин В.Н., Повалишников Е.С., Сазонов А.А., Харламов М.А., Григорьев В.Ю. Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек европейской территории России и его опасных проявлений. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. URL: <http://autolab.geogr.msu.ru/water-regime-ctr/index.html>.
4. Широкова В.А., Юрова Ю.Д. Комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории р. Осётр в условиях антропогенного воздействия // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 4. С. 601–616. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-601-616. URL: <http://reg-geosystems-journal.ru/index.php/journal/article/view/93/89>.
5. Юрова Ю.Д. Геоэкологическая оценка антропогенного воздействия на водосборный бассейн реки Осётр: дис. ... канд. геогр. наук: 1.6.21 (25.00.36). М.: ГУЗ., 2022. 131 с.
6. Юрова Ю.Д., Широкова В.А. Разработка геоэкологической научно-информационной базы паспортизации водных объектов для комплексной геоэкологической оценки водосборных территорий бассейнов малых и средних рек при недостаточности репрезентативных стационарных и полевых исследований // Тематические карты и атласы: современные концепции научного содержания, новые технологии создания и использования / Материалы XI международной научной конференции по тематической картографии (28 ноября – 2 декабря 2022 г., Иркутск): электронное издание. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022. С. 231-233. EDN: DAHYWF. URL: http://www.irigs.irk.ru/download/conference_materials_XI.pdf.
7. Abouzar Nasiri, Vera A. Shirokova, Nadezhda A. Ozerova. Creating Geo-Information Base of an Internet Resource "Ancient Waterways in the North-West of Russia" // International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT). 2019. P. 55-57. DOI: 10.1109/EnT.2019.00016.
8. Komarov S.I., Lepekhn P.P., Shirokov R.S., Information basis for assessing the resource potential of agricultural land // Land management, cadastre and land monitoring №. 7 2021. DOI:10.33920/sel-04-2107-05.
9. Shirokov R.S., Vasiliev A.A. Using GIS-technologies to create a scientific and information geoecological base in western Yamal to identify the effects of climate change // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 579. P. 012154–012154. DOI 10.1088/1755-1315/579/1/012154.
10. Shirokova V., Nizovtsev V., Erman N., Ozerova N.. Geoinformation database is the basis of creation of virtual museums on historical waterways of Russia // GeoConference SGEM. 2018. Vol. 18, no. 2.3.P. 401–407. DOI: 10.5593/sgem2018/2.3/s11.051.
11. Shirokova V.A., Yurova Y.D., Shirokov R.S., Gurov A.F., Ozerova N.A. Geoecological passport for small and medium river basins // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 867. № 1. P. 012056. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012056. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/867/1/012056>.

**IV. ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ
НАУК О ЗЕМЛЕ**



ИСТОРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ НАДМАЙКОПСКИХ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© Е.В. Белуженко ¹, Т.Н. Пинчук ²

¹*Сев. Кав. РМСК, Ессентуки*

²*КубГУ, Краснодар*

Аннотация. Рассматривается история изученности надмайкопских (среднемиоцен-плиоценовых) неогеновых отложений западной части Северного Кавказа (Западный Кавказ, Западное и Центральное Предкавказье).

Ключевые слова. История изученности, надмайкопские (среднемиоцен-плиоценовые) неогеновые отложения, западная часть Северного Кавказа

Неогеновые отложения Северного Кавказа достаточно хорошо изучены. Полоса их выходов на поверхность неоднократно покрыта геологическими съемками различных масштабов, поисковыми работами, а на закрытой территории Предкавказья разрез неогена вскрыт многими (первые тысячи) скважинами различного назначения. В данной работе рассматривается история изученности надмайкопских (среднемиоцен-плиоценовых) неогеновых отложений западной части Северного Кавказа (Западный Кавказ, Западное и Центральное Предкавказье). В административном плане это площади Краснодарского и Ставропольского краев и смежных с ними республик (Адыгея, Карачаево-Черкессия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия). Восточная граница рассматриваемой территории условно определяется долиной р. Сунжа (Северная Осетия), а северная – долиной р. Маныч. В силу объективных причин, восточная часть Северного Кавказа (Ингушетия, Чечня, Дагестан), особенно в последние годы, изучалась не так интенсивно, как западная и центральная. В частности, она слабо затронута геологическим доизучением площадей 200 000 масштаба (ГДП-200) [3]. Учитывая традиционную обособленность майкопских неогеновых (нижнемиоценовых) отложений от вышезалегающих "надмайкопских", история изученности этих отложений рассмотрена нами ранее [4]. Территориальный выбор площади обусловлен тем обстоятельством, что авторы на протяжении многих лет принимали активное участие в изучении рассматриваемых отложений именно в западной части Северного Кавказа [2-5].

Настоящая статья не претендует на полную объективность и всесторонность изложения истории изученности неогеновых отложений рассматриваемого региона. В ней приведены наиболее значимые авторы и их работы (с точки зрения авторов статьи), с которыми мы знакомились в процессе своей многолетней работы по вопросам истории изученности, стратиграфии, и палеонтологии. Меньшее внимание уделено полезным ископаемым неогена, в том числе УВ и воде, которые имеют очень большое значение в этом регионе. Авторы просят прощения у тех, чьи имена были не названы, или чья роль изложена недостаточно полно.

История изученности

Неогеновые отложения впервые были установлены на Северном Кавказе еще в начале-середине XIX в. Первые сведения о неогене этой территории

приведены в работах академика Палласа (1795 г.), горных инженеров В.И. Воскобойникова и С.Г. Гурьева (1832 г.), Фоллендорфа (1835), Анисимова (1845), Г.В. Абиha (1852, 1858, 1863, 1865, 1873 гг. и др.), Ф.Г. Кошкуля (1865 г.), Г.Д. Романовского (1873 г.), А.М. Коншина (1888 г.), Д.А. Иванова (1886, 1887 гг.) и других исследователей. В настоящее время эти работы представляют лишь исторический интерес. Особую роль и значение для стратиграфии неогеновых отложений юга России имеют работы выдающегося российского геолога Николая Ивановича Андрусова [1]. В своих трудах (1884-1923 гг.) он разработал основы современной стратиграфической шкалы неогена. В конце позапрошлого – начале прошлого веков Н.И. Андрусов проводил исследования неогеновых отложений Крыма, Таманского полуострова и прилегающих районов Кубани.

Разработанная им стратиграфическая схема легла в основу всех последующих исследований неогена. Изучив комплексы фауны и особенности литологии, проведя их сравнение с фауной и осадками современных морей, Н.И. Андрусов восстановил характер бассейнов, сменявших друг друга в течение неогена, и показал цикличность смены условий осадконакопления. К нижнему и среднему миоцену им были отнесены тарханский, чокракский, караганский и конкский горизонты, к верхнему миоцену – сарматский и мэотический ярусы, а к плиоцену – понтический, киммерийский, куяльницкий и апшеронский ярусы. Н.И. Андрусов впервые наметил в развитии моллюсковой фауны миоцена три цикла, связанных с колебаниями солености на фоне общего постепенного опреснения бассейна. Каждый цикл начинается отложениями с богатой фауной и заканчивается породами с сильно обедненной фауной, состоящей из небольшого числа видов. Подводя итоги изучения неогеновых отложений на юге России, Н.И. Андрусов публикует (с 1906 по 1908 гг.) серию статей под общим названием "Южнорусские неогеновые отложения".

Систематическое изучение территории Западного Кавказа и Предкавказья началось с начала XX в. (с 1906 г.), когда группа геологов Геологического Комитета России, под руководством профессора К.И. Богдановича, провела большую работу по составлению геологической карты предгорной части Кубанской нефтеносной области (Майкопского горного округа) [4]. До начала Великой Отечественной войны вся полоса выходов неогеновых отложений от Тамани до р. Белой была покрыта геологическими съемками различных масштабов (преимущественно верстовой, масштаба 1: 42 000). В этой работе принимали участие геологи И.М. Губкин, А.В. Ульянов, Н.Б. Вассоевич, М.М. Чарыгин, К.А. Прокопов, С.Т. Коротков, А.Н. и С.Ф. Федоровы, П. Я. Шибинский, А.Н. Афанасьев и многие другие. В восточных районах Западного Кавказа (от р. Белой до Центрального Ставрополя) геологическая съемка проводилась В.А. Дановым, В.В. Колесниковым, Н.А. Григорович-Березовским, Н.С. Волковой и др. Эти работы позволили значительно уточнить и детализировать схему стратиграфии нижнего-среднего миоцена и плиоцена. В тридцатых-шестидесятых годах XX в. были опубликованы исследования Н.Б. Вассоевича (1927, 1930, 1933), А.Н. Федорова (1927), А.В. Ульянова (1927), С.Т. Короткова (1932, 1934, 1936), Е.В. Ливеровской (1937, 1938), В.П. Колесникова (1931, 1933, 1940), А.Г. Эберзина (1938, 1940), Н.Н. Субботиной (1934, 1935, 1936) и многих других, посвященные неогену региона.



Н.И. Андрусов



А.Г. Эберзин



В.П. Колесников



Б.П. Жижченко



Н.Б. Вассоевич

В 1940 г. вышел из печати XII том «Стратиграфии СССР. Неогеновая система», в котором авторы разделов, посвященных рассматриваемому региону (Б.П. Жижченко, В.П. Колесников и А.Г. Эберзин) подвели итоги многолетнего изучения неогеновых отложений юга СССР. В принятой ими стратиграфической схеме неогеновых отложений тарханский, чокракский, караганский и конкский горизонты были отнесены к тортонскому ярусу. Выше по разрезу выделялись сарматский, мэотический, понтический, киммерийский, акчагыльский, куяльницкий и апшеронский ярусы.

После Великой Отечественной войны изучение неогеновых отложений Северного Кавказа было продолжено. В это время были опубликованы работы А.К. Богдановича (1947, 1948 и др.), Г.И. Попова (1947, 1948), Г.Ф. Шнейдера (1949), Р.Г. Дмитриевой (1950), Б.П. Жижченко (1953, 1958, 1959, 1964), Н.И. Лупарева (1957), Г.Н. Родзянко (1959), Волковой Н.С. (1959) и других. Продолжались масштабные работы по изучению нефтегазоносных площадей Предкавказья. В частности, в 1953 г. в Краснодарском крае было открыто уникальное по масштабам Анастасиевско-Троицкое нефтегазоконденсатное месторождение. Оно является многопластовым, все залежи нефти и газа приурочены к песчано-алевритовым коллекторам неогена (от чокрака до киммерия). По добыче нефти Анастасиевско-Троицкое месторождение быстро заняло ведущее место и уже в 1960 г. его продукция составляла более половины всей добытой нефти в Краснодарском крае. Оно эксплуатируется и в настоящее время. Позднее на площади Западного Предкавказья было установлено значительное количество месторождений углеводородов, приуроченных к неогеновым отложениям, но уже не такого масштаба. Геофизическое изучение

деталей строения палеорельефа неогена привело к открытию в начале века, например, Прибрежного, Песчаного и других месторождений газа (побережье Азовского моря в районе Ачуево), приуроченных к склоновым конусам на северном борту Западно-Кубанского прогиба в чокракское время.

В 1956 г. МСК СССР был утвержден проект стратиграфической схемы неогеновых отложений юга СССР, выработанный под руководством А.Г. Эберзина. Схема сыграла большую положительную роль в дальнейшем изучении неогеновых отложений юга СССР, в том числе и рассматриваемого района. В 1958 г. была создана Неогеновая комиссия МСК, руководителем которой до 1970 г. также был А.Г. Эберзин. Комиссия проделала большую работу по организации изучения неогеновых отложений и совершенствованию стратиграфических схем, в результате чего в 1973 г. на совещании Неогеновой комиссии была принята региональная хроностратиграфическая схема неогена Юга СССР. Она была разработана под руководством Л.А. Невесской (Палеонтологический институт) и опубликована в 1975 г. Впоследствии Л.А. Невесская долгие годы возглавляла работу по совершенствованию стратиграфической схемы неогена России и опубликовала много работ, посвященных стратиграфии неогена Восточного Паратетиса.

Продолжалось изучение полезных ископаемых неогена Западного Кавказа и Центрального Предкавказья. В частности, было разведано значительное количество месторождений нерудных полезных ископаемых (преимущественно, строительных материалов), в том числе строительных, силикатных, а также чистых кварцевых формовочных и стекольных песков (Таманский полуостров, Ставрополье); раковинно-детритовых известняков, песчаников, кирпичных и керамзитовых глин и других полезных ископаемых. В частности, были проведены тематические работы Н.Н. Мшвелидзе (1961) по кварцевым пескам Северного Кавказа. Сотрудниками Ростовского-на-Дону государственного университета (Бойко Н.И., Власов Д.Ф. и др., 1975) был составлен 2-х томный справочник по нерудным полезным ископаемым Западного Кавказа, среди которых значительное место занимают полезные ископаемые, приуроченные к неогеновым отложениям. В начале семидесятых годов впервые были изучены титан-циркониевые россыпи Ставропольского района (Казаринов и др., 1964), в результате чего впервые было выявлено Бешпагирское месторождение.

В конце 50-х – начале 70-х проводятся геологические съемки масштаба 1: 50 000 на всей территории Западного Кавказа и Центрального Предкавказья, в результате которых получен огромный фактический материал, в том числе и по стратиграфии неогена. Авторы этих отчетов по Западному Кавказу: М.В. Усков (1946); Г.И. Малбиев (1958, 1960 и др.), М.И. Бахтин (1958, 1960 и др.), Н.М. Череповский и др. (1976) и другие, по Центральному Предкавказью – В.И. Оробей (1948, 1949); К.С. Барковская (1950); А.Е. Ткачук (1953-1957 и др.); М.С. Буньков (1948-1954), В.Н. Королёв (1951), Б.П. Лучников (1959), Б.М. Ерёмин (1964), по примыкающей к нему районах (Северная Осетия, Ингушетия) Е.И. Коваленко (1962, 1977), В.В. Шелховской (1963) и другие.

В 60-ые – 80-ые годы прошлого века в предгорной полосе Западного и Центрального Предкавказья в значительных масштабах проводились структурное, поисковое и разведочное бурение на нефть и газ. В результате этих работ было получено большое количество фактического материала по стратиграфии неогеновых отложений. Необходимо отметить отчеты по

структурному и колонковому геологическому бурению, охватившие значительные площади Предкавказья (авторы А.Е. Быстржицкий, П.М. Осадченко, Н.И. Одинцов, А.С. Николаевский, Н.Е. Митин, С.Н. Митин, И.И. Хандус, И.В. Чередеев, Л.В. Чередеева, Н.М. Галактионов и др.).

Кроме того, проводились тематические работы, посвященные стратиграфии и литологии неогеновых отложений Западного Кавказа. Все имеющиеся материалы по стратиграфии и литологии неогеновых отложений Западного Предкавказья были обобщены в одном из томов фундаментального стратиграфического отчета Краснодарского филиала ВНИИгаз (Егоян, Ростовцев, Буряк и др., 1964 г.). Эти материалы приведены также в кандидатской диссертации В.Н. Буряка (1965 г.): "Стратиграфия неогеновых отложений Западного Предкавказья". В этой работе приводится описание неогеновых отложений от Тамани до Кубани, подробно характеризуется их изученность, литология, фауна и стратиграфическое положение. Эта работа до настоящего времени не утратила своего значения. Необходимо также отметить и другие работы этого автора, много лет изучавшего неогеновые отложения Западного Кавказа (Буряк, 1959, 1960, 1965 и др.). Совместно с А.К. Богдановичем, В.Н. Буряк является соавтором разделов по стратиграфии неогеновых отложений Западного и Центрального Предкавказья в монографии: "Стратиграфия СССР. Неогеновая система" (1986) [7], в которой были обобщены все имеющиеся материалы. Палеонтологические исследования в основном проводились А.К. Богдановичем (фораминиферы) и В.Н. Буряком (моллюски), в результате которых были составлены комплексы ископаемых характерные неогеновым отложениям Западного и Центрального Предкавказья.



Н.А. Лебедева



Л.А. Невесская



А.К. Богданович



В.Н. Буряк



Г.Н. Родзянко

Много работ было посвящено континентальным отложениям верхнего миоцена – плиоцена и эоплейстоцена Западного Предкавказья. Значительный вклад в дело изучения континентальных отложений мио-плиоцена и эоплейстоцена Западного и Центрального Предкавказья внесли такие

исследователи как Г.Н. Родзянко (1943, 1959), Е.М. Великовская (1960, 1962, 1964 и др.), Н.А. Лебедева (1959, 1961, 1963, 1972, 1978 и др.), И.Н. Сафронов (1964, 1972 и др.). Необходимо отметить также работы Н.Г. Митина (1958 г., 1962 г. и др.), Л.И. Алексеевой (1959, 1977), Н.Н. Найденой (1962 и др.), Стеклова А.А. (1961, 1966), Ю.Б. Файнер (1995), Г.С. Январев (2007) и многие другие. В IX томе «Геология СССР, Северный Кавказ» (1968) В.П. Жижченко, В.А. Сереженко, Э.В. Чувилова провели обобщение стратиграфии неогеновых отложений Северного Предкавказья. В работах Н.А. Лебедевой приведена подробная характеристика континентальных неогеновых и четвертичных отложений Предкавказья, а в работах И. Н. Сафронова сведения о геоморфологии и палеогеоморфологии Северного Кавказа неоген-четвертичного времени.

В начале 60-х – 80-х годов прошлого века были подготовлены к изданию, а впоследствии и опубликованы Государственные геологические карты масштаба 1:200 000 Западного Кавказа и Центрального Предкавказья (первое издание), на площади которых развиты неогеновые отложения. Авторами карт и записок к ним на Западном Кавказе и в Предкавказье были И.Н. Сафронов – листы L-37- XXXIII, -XXXIX (1957, 1959), В.Е. Хаин и др. (1962) – лист L-37-XXXIV, В.В. Друщиц и др., (1962) – лист L-37-XXXVI; В.А. Сереженко, П. П. Кузубов (1964) – лист L-37-XXVI; А.Ф. Земченко (1974) – L-37-XXVII. Впоследствии эта работа была продолжена на ряде планшетов Западного Предкавказья: А.Н. Губкина, В.И. Черных, Е. В. Белуженко (1987, 1990, 1991) – листы L-37-XX, - XIV, -XV, -XVI, -XXI, -XXII, -XXVIII; Ю.В. Мельников, М.Х. Срабонян и др., (1994) – лист L-37-XXXV. На площади Центрального Предкавказья аналогичные работы были выполнены Н.И. Лупаревым и Н.М. Прохоровой (листы L-38-XX, 1958; L-38-XXVII, 1960; L-38-XXVI, 1961; XIX, 1962); Н.С. Волковой (L-37-XXX, 1951), Мельник В.М., Файнером Ю.Б. и др. (лист L-37-XXIV, 1994), а на прилегающих с востока площадях – В.В. Шелховским (лист K-38-V, 1963), Е.И. Коваленко (L-38-XXXIII, 1976), А.Н. Губкиной (L-38-IX, 1989) и др.

В конце прошлого века было продолжено практическое изучение гидрогеологии неогена, результаты которого изложены в производственных отчетах. Это работы западно-кавказских гидрогеологов, посвященные подземным водам киммерийского водоносного комплекса Азово-Кубанского водоносного бассейна (В.А. Лободина и др., 1969); обобщению всех геологических материалов по Азово-Кубанскому артезианскому бассейну (Суханов, Крашин и др. 1980, 1990); гидрогеологические отчеты по отдельным районам Западного Предкавказья В.Ф. Суханова, В.А. Лободина (1964 и др.), Н.Н. Тытянка, Н.Н. Кутепова (1977, 1978), А.С. Кондаурова (1994) и др.; гидрогеологические и инженерно-геологические съемки 50 000 и 200 000 масштабов территории Краснодарского края (Сандецкий и др., 1981; Сандецкая и др., 1983, Сандецкая и др., 1990) и др.

Проведена комплексная оценка сырьевых ресурсов нерудных ископаемых Северного Кавказа (Н.Н. Ярчук, 1980), составлена минерагеническая карта Северного Кавказа масштаба 1: 500 000 на нерудное сырьё (стройматериалы) (Н.Н. Ярчук, 1983), а также объяснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Ставропольского края масштаба 1:600 000. (Мартыненко А.А. и др. 1985). Значительная часть всех нерудных полезных ископаемых приурочена к неогеновым и четвертичным

отложениям. В 1984 г. был составлен отчет об исследованиях по разработке гидрогеологической и инженерно-геологической стратификации верхнеплиоцен-четвертичных отложений Центрального сектора Северного Кавказа (в пределах Ставропольского края) (авторы Р.П. Лизогубова, А.Б. Островский, Ю. Б. Файнер и др.).

Большое количество фактического материала по стратиграфии неогена собрано и обобщено в отчетах краснодарских нефтяных и газовых организаций, посвященных отдельным перспективным районам Западного Кавказа и Предкавказья. Это отчеты В.Л. Гординского (1987-1995), С.Н. Митина (1982-1989 и др.), работы П.В. Бигуна, В.П. Колесниченко (1998) и многих других. В.И. Резниковым и В.М. Семеновым (1992) была составлена рабочая опорная легенда Ставропольской серии листов Госгеолкарты-50, в которой основное внимание было уделено неогеновым отложениям, выходящим здесь на поверхность. В 1994 г. ими были опубликованы описания и стратотипы неогеновых свит Центрального Ставрополья. Впоследствии эти описания были дополнены И.Ф. Рудяновым (2000?). Большое значение имеют работы специалистов центральных организаций, посвященные стратиграфии и палеогеографии неогена как всего Восточного Паратетиса, так и его отдельных частей. Это работы сотрудников Палеонтологического института Л.А. Невесской и др., (1975-2005), И.А. Гончаровой (1989-2019), С.В. Попова с соавторами (1993-2023), Л.Б. Ильиной (1996, 2000) и др.; ГИН РАН: В.Н. Холодова, Р.И. Недумова (1996), Э.А. Вангенгейм, М.А. Певзнера и др. (1990, 2000), В.А. Крашенинникова и др. (2003).



И.А. Гончарова



Л.А. Головина



Н.Ю. Филиппова



Н.И. Бойко



В.А. Крашенинников

В апреле 2002 г. бюро МСК России была утверждена «Региональная стратиграфическая схема неогеновых отложений Южных регионов Европейской части России», которая была впоследствии опубликована (Невесская и др., 2004, 2005). Схема была составлена большим коллективом авторов многих

производственных и научных организаций (в том числе ГИН и ПИН РАН, ВСЕГЕИ и др.) под руководством Л.А. Невесской и Е.И. Коваленко [5]. В работе по ее составлению активное участие принимали и авторы данной монографии. С 1995 г. по настоящее время на Западном Кавказе и Предкавказье проводятся работы по составлению и подготовке к изданию «Госгеолкарт-200» второго поколения, которое характеризовалось комплектом геологических карт и их электронными вариантами. В настоящее время эта многолетняя работа, в которой принимали участие многие геологи, практически завершена. Первые листы, на площади которых выходят и неогеновые отложения, были подготовлены в самом начале нашего века (Рудянов и др., 1999, 2001; Лаврищев и др., 2000; Письменный и др., 2001, Корсаков и др., 2004). Впоследствии эти работы были продолжены и продолжают и в настоящее время. Руководили этими работами были начальники партий «Кавкагеолъемки» С.Г. Корсаков, И.Ф. Рудянов, В.А. Лаврищев, А.Н. Письменный, В.Ф. Печенюк. Кроме них, в работах принимали участие и другие геологи, среди которых необходимо отметить С.Е. Калюгу, Г.А. Письменскую, И.Н. Семенуху, В.В. Семенова, Н.С. Письменную, Терещенко В.В., В.И. Черных и многих др. Особое значение имеет доизучение листов Центрального Предкавказья (L-38-XIX, -XX, -XXVI, -XXVI), в процессе которых были дополнительно изучены титан-циркониевые россыпи Ставропольского района (Рудянов и др., 1999, 2001). Впоследствии здесь было доизучено Бешпагирское месторождение (Васильев и др., 2006), которое в настоящее время является одним из крупнейших месторождений титан-циркония России. Первооткрыватели месторождения: Л.Н. Казаринов, Г.А. Черных, А.Н. Малашевский; А.Т. Васильев, А.Г. Забирко. Перспективными остаются и другие проявления.

В процессе этих работ олигоцен-неогеновые отложения изучались и картировались с применением современных методов их изучения, прежде всего палеонтологических. Основными результатами этой работы явилось то, что для неогеновых отложений предложена существенно уточненная схема структурно-фациального районирования отложений; для всего Западного Кавказа и, частично, Предкавказья в майкопских и неогеновых отложениях были выделены (в случае их отсутствия), описаны и откартированы местные стратиграфические подразделения – свиты, реже толщи (Белуженко, 2002-2005; Белуженко, Коваленко, 2005; Белуженко, Пинчук, 2006; Белуженко и др., 2008 и др., Колесников, Пинчук и др., 1998). Кроме этих публикаций и подготовленных к изданию листов, описания всех этих местных стратиграфических подразделений приведены в последних вариантах легенд Кавказской и Скифской серий, утвержденных ВСЕГЕИ [6].

Результаты изучения органических остатков новых перспективных видов освещены в работах сотрудников ГИНа: по наннопланктону – Л.А. Головиной и др. (1998-2009); по споре и пыльце – Н.Ю. Филипповой (1998-2010); палеомагнитные исследования неогеновых отложений проводились в последние годы В.Н. Трубихиным и др. (2009 и др.). Континентальные отложения неогена Западного Предкавказья в последние годы изучались А.Е. Додоновым и др. (2006), А.С. Тесаковым (2004-2023), В.В. Титовым (2006 и др.) и др. Литолого-стратиграфические вопросы миоцена Западного Кавказа рассматривается в работах, в том числе в докторской диссертации, сотрудника МГУ Ю. В. Ростовцевой (2006, 2007, 2009 и др.). Проблемам литологии, в том числе исследованиям рифогенных формаций и проявлений титан-циркониевый

россыпной минерализации в неогеновых отложениях Ставрополя и Таманского района посвящены работы сотрудника Ростовского-на-Дону университета Н.И. Бойко (2004, 2006 и др.) и др.

В последние годы были проведены исследования неогеновых отложений на отдельных разрезах Западного Кавказа и Центрального Предкавказья, а также опубликована коллективная монография «Региональная шкала неогена Восточного Паратетиса, стратиграфия и палеонтологическое обоснование» (авторы: С.В. Попов, Л.А. Головина и многие другие, 2022), в которой приводятся актуальные данные. К сожалению, в области производственной деятельности на Северном Кавказе, наблюдается значительный спад, обусловленный исчезновением многих геологических предприятий. В частности, это «Кавказгеолсъемка» (бывшая Центральная геологосъемочная экспедиция, г. Ессентуки), в свое время являющаяся ведущей организацией в плане проведения геологосъемочных и тематических работ на Северном Кавказе. В настоящее время на всей территории Северного Кавказа геологические работы регионального плана, да и то в крайне ограниченном масштабе, проводятся только Сев. Кав. ПГО (г. Ессентуки). Значительно снижена активность в подготовке к изданию новых комплектов геологических карт 200 000 масштаба, не говоря уже о тематических и других работах [2, 3].

Несколько слов об авторах статьи и их роли в изучении неогена Северного Кавказа. Е.В. Белуженко (ЦГСЭ, «Кавказгеолсъемка», г. Ессентуки) с 1984 по 2007 гг. принимал участие в подготовке к изданию многих листов «Госгеолкарт-200» Западного Кавказа и Центрального и Предкавказья, Восточного Кавказа (как первого, так и второго изданий), а также тематических и поисковых работах, специализируясь на стратиграфии и полезных ископаемых неогена. Он является активным сторонником свитного расчленения неогеновых отложений и, совместно с соавторами, им были выделены и описаны свиты в неогеновых и эоплейстоценовых отложениях (от Тамани до Кубани). Его кандидатская диссертация (2006 г.) посвящена континентальным верхнемиоцен-эоплейстоценовым отложениям Западного Предкавказья. Им, совместно с соавторами, было опубликовано несколько десятков работ (в том числе и 3 монографии), посвященные этим отложениям. Т.Н. Пинчук, работая в нефтегазовых производственных организациях г. Краснодара с 1984 г., активно занималась изучением неогеновых отложений Западного Предкавказья, специализируясь на изучении фораминифер. Ею, в соавторстве, опубликованы десятки работ по их стратиграфии и палеонтологии, в том числе она принимала участие в составлении нескольких монографий. В своей кандидатской диссертации (2000 г.) обобщила все имеющиеся материалы по стратиграфии и нефтегазоносности разреза неогена Западного Предкавказья. В настоящее время является сотрудником Кубанского университета.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность всем коллегам и соавторам по отчетам и публикациям, с которыми мы много лет работали, занимаясь стратиграфией, палеонтологией и полезными ископаемыми неогеновых отложений Северного Кавказа. Это С.Г. Корсаков, Н.С. Письменная, А.Н. Письменный, Г.А. Письменская, В.А. Лаврищев, В.В. Соколов, В.Н. Токарев, И.Н. Семенуха, В.И. Черных и др. («Кавказгеолсъемка», Ессентуки); И.А. Гончарова, С.В. Попов (ПИН РАН); Л.А. Головина, Н.Ю. Филиппова, А.С. Тесаков, В.Н. Трубин (ГИН РАН); Ю.В. Ростовцева, А.М. Никишин (МГУ) и многие другие. Хочется вспомнить добрым словом ушедших

из жизни специалистов, занимавшихся неогеном Северного Кавказа, с которыми авторам довелось вместе заниматься изучением неогена. Это Л.А. Невесская, Л.Б. Ильина (ПИН РАН), Э.А. Вангенгейм, М.А. Певзнер, А.Е. Додонов (ГИН РАН); А.К. Богданович, В.Н. Буряк (г. Краснодар); И.Г. Волкодав (Майкопский университет); П.В. Бигун (СевКавНИПИгаз, г. Ставрополь), А.Н. Губкина, Н.А. Гладких, Е.И. Коваленко, С.А. Либерман, В.В. Семенов, Э.С. Паниев, В.Ф. Печенюк, В.Н. Резников, И.Ф. Рудянов («Кавказгеолсъемка») и другие.

Примечание: Фото специалистов из открытых источников и семейных архивов.

Литература

1. Андрусов Н.И. Избранные труды. Т. I, II. Изд. АН СССР, М., 1963. 644 с.
2. Белуженко Е.В. Совершенствование корреляционной части стратиграфической схемы неогеновых отложений Северного Кавказа и Предкавказья в XXI веке – достижения и проблемы // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII. М.: ИИЕТ РАН, 2018. С. 19-28.
3. Белуженко Е.В., Письменная Н.С. Использование местных и вспомогательных стратиграфических подразделений неогеновых отложений Северного Кавказа и Предкавказья при геологической съемке // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2018. Т. 89. Вып. 1. С. 21-34.
4. Белуженко Е.В., Пинчук Т.Н. История геологической изученности майкопских (олигоцен-нижнемиоценовых) отложений западной и центральной частей Северного Кавказа // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XI. М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 471-479.
5. Невесская Л.А., Коваленко Е.И., Белуженко Е.В. и др. Региональная стратиграфическая схема неогена юга Европейской части России // Отечественная геология. 2005. № 4. С. 47-60.
6. Письменная Н.С., Греков И.И., Пичужков А.Н. Легенды Кавказской и Скифской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (издание второе). "Кавказгеолсъемка", г. Ессентуки. 2009.
7. Стратиграфия СССР. Неогеновая система (полутом 1) (редакторы М.В. Муратов, Л.А. Невесская). М.: Недра, 1986. 420 с.

ВКЛАД К.П. КАЛИЦКОГО В НЕФТЯНУЮ ГЕОЛОГИЮ ЮГА РОССИИ: К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

© И.П. Второв

Геологический институт РАН, Москва

Аннотация. К 150-летию юбилею рассмотрена научная работа геолога-нефтяника К.П. Калицкого, работавшего в 1901-1926 гг. в районах Северного Кавказа и Прикаспия. Его геологическая съёмка и описания по-прежнему актуальны. Используются материалы рукописи «Казимир Петрович Калицкий: жизнь и труды (1873-1941)», подготовленной почти 80 лет назад его женой и коллегой В.П. Калицкой. В ней подробно описаны экспедиции, публикации, разведка месторождений и формирование научных идей учёного. Вклад К.П. Калицкого в геологию нефти, высшее образование и значение его теорий ещё недостаточно исследованы в истории геологии.

Ключевые слова: Казимир Петрович Калицкий, Вера Павловна Калицкая, история геологии, геология нефти, месторождения нефти, Геологический комитет, геологическая съёмка, нефтяные районы, Дагестан, Чечня, Северный Кавказ, Прикаспий.



Казимир Петрович Калицкий в разные годы
(фото из коллекции Группы истории геологии ГИН РАН)

Группа истории геологии Геологического института (ГИН) РАН подготовила к публикации монографию «Казимир Петрович Калицкий: жизнь и труды (1873-1941)». Автором книги была жена К.П. Калицкого – **Вера Павловна Калицкая** (в дев. Абрамова; 1882-1951). Калицких объединяла совместная работа в Геологическом комитете, Нефтяном институте (ВНИИ, НГРИ, современный ВНИГРИ в Санкт-Петербурге), общие коллеги и поездки в экспедиции.

Этот объёмный труд был написан в годы Великой отечественной войны по заданию дирекции Нефтяного института, а после смерти автора был передан в Кабинет истории геологии нашего института. В приложенном к рукописи заключении руководство института в 1946 г. указало: «Эта работа выполнена В.П. Калицкой с исключительной тщательностью и любовью. Представлен большой очерк, в котором с исчерпывающей полнотой приведены биографические данные об умершем ученом. <...> Этот очерк обладает несомненными литературными достоинствами, он будет читаться легко и с интересом всеми лично знавшими К.П. Калицкого или знакомыми с его научными трудами, однако, в своём настоящем виде работа В.П. Калицкого не может быть опубликована в печати и должна быть переработана с этой целью.

Она велика по объему, перегружена деталями биографического порядка и в то же время в ней отсутствует критический разбор научных достижений и взглядов К.П. Калицкого». Со временем именно эти детали биографии и сделали книгу важным источником дополнительной информации об учёном, они помогли лучше оценить рассматриваемый вклад К.П. Калицкого в геологию нефтяных районов юга России. При работе с рукописью тексты были выверены и дополнены пояснительными статьями, уточняющими ссылками на источники и постраничными примечаниями. Книга планируется к публикации в серии ГИН РАН «Очерки по истории геологических знаний» (Выпуск 36. Отв. ред. Ю.В. Евдошенко из журнала «Нефтяное хозяйство»). Книга уже доступна для ознакомления в электронном виде.

В истории геологии имя К.П. Калицкого тесно связано с его экспедиционными работами, научными публикациями и его оригинальной теорией происхождения нефти. Он был хорошо известен как автор первого в стране вузовского курса «Геология нефти» (1921-1923) и заведующий нефтяной секцией Геологического комитета (1920-1925, 1926-1928). Его приглашали для консультаций во многие нефтяные организации (Азнефть, Грознефть, Калининнефть, Средазнефть, Узбекнефть и др.). В предисловии к его итоговой монографии «Научные основы поисков нефти» (1944) указано, что это был «итог почти сорокалетним разносторонним исследованиям старейшего геолога-нефтяника нашего Союза. В этой работе Калицкому удалось привести в стройную систему свои оригинальные взгляды на происхождение нефти и формирование нефтяных залежей, которые он с большой страстью защищал» [18].

С конца 1940-х гг. (в период советских идеологических кампаний в науке) имя К.П. Калицкого широко упоминалось только в качестве противника принятых в СССР взглядов на происхождение и миграцию нефти [1, 7]. Только в 1958 г. он был включён в Словарь по геологии нефти (2-е изд.) и в Большую Советскую энциклопедию (2-е изд., доп. Т. 51). Затем оценили практические полевые работы К.П. Калицкого [27, 31]. В последнее время возвращается интерес историков к его научному наследию [3], особенно в Прикаспии, Закаспии и Северном Кавказе [6, 2, 32]. Именно на юге России начался его научный путь в геологию нефти, сюда он часто возвращался и описал регион в многочисленных публикациях и составленных им геологических картах.

К.П. Калицкий в 1899 г. окончил Горный институт в Санкт-Петербурге. С 1901 г. он начал работать в экспедициях Геологического комитета, в соответствии с новой программой систематического исследования нефтеносных районов Кавказа [30]. Его первая командировка была в Дагестан, где он 5 месяцев проводил геологическую съёмку окрестностей Петровска (совр. г. Махачкала) [11]. В 1901-1902 гг. исследования продолжились в районе Темир-Хан-Шуры (совр. г. Буйнакск) [12]. После этих работ К.П. Калицкого, как эксперта, привлекали к обсуждению вопросов получения артезианской воды в окрестностях Петровска [15].

На заседаниях Геологического комитета ежегодно утверждался новый план геологических исследований нефтеносных районов. К.П. Калицкий начал работать сначала как горный инженер по съёмке геологических карт и описанию разрезов, а уже через два года стал штатным сотрудником на выборных должностях. В 1904 г. он проводил исследования Грозненского нефтеносного района [14], где отметил признаки ограниченной миграции нефти. Это

натолкнуло его на идеи изучения первичных очагов, процессов миграции и выяснению вопросов происхождения и накопления нефти. Систематические наблюдения он продолжил уточнять на берегах и островах Каспийского моря.

После экспедиций в Среднюю Азию и Тифлисскую губернию, К.П. Калицкий вновь вернулся к работе в Дагестане в 1910 г. Он провёл геологическую съёмку по правому берегу реки Сулак в районе Султан-Янги-Юрт. Затем отправился в район Кавказских Минеральных вод, где примкнул к экспедиции Геологического комитета, которой руководил **Александр Павлович Герасимов** (1869-1942). Отряд занимался геологической съёмкой, изучением и расчисткой минеральных источников [4, 5].

Из книги В.П. Калицкого мы узнали, из воспоминаний очевидцев, что из Кисловодска экспедиция отправилась на лошадях вдоль реки Малка к подножию Эльбруса. К.П. Калицкий давно мечтал побывать на его вершине. Он был хорошим спортсменом, и решил попробовать заняться альпинизмом на высокогорном леднике. Необходимое для такого подъема снаряжение он ещё год назад привёз из командировки в Германию. Отговорить его от опасного одиночного восхождения было бесполезно. Хорошо запомнилось, как они «долго наблюдали его фигуру на блестящей поверхности ледника, наконец, человек превратился в точку, а потом и точка исчезла. И вдруг поздно вечером, уже в темноте, Казимир Петрович, страшно усталый, вернулся». Ему не удалось добраться до самой вершины из-за сильных приступов «горной болезни», но событие запомнилось участникам экспедиции. В память об этом, в честь геолога, на карту был нанесён находящийся недалеко от лагеря высокий (относительная высота > 200 м.) и хорошо заметный пирамидальный лакколит — «Пик Калицкого» (3581 м. над уровнем моря). Теперь этот пик является важной туристической достопримечательностью Национального парка «Приэльбрусье».

Зимой 1920 г. К.П. Калицкий начал обдумывать и набрасывать конспект учебного курса «Геология нефти», где большое место отводилось нефтяным районам юга России. Лекции, по этой тогда совсем новой теме, он читал в Горном институте Петрограда в 1921-1923 гг. [13]. Оригинальный курс был основан на практическом опыте К.П. Калицкого как полевого нефтяного геолога, содержал конкретные инструкции, и способствовал систематизации накопленных знаний по изучению месторождений и теориям нефтеобразования. Многие студенты в это время заинтересовались разведкой нефти, были обобщены сведения по нефтеносным районам России [23].

В 1923 г. К.П. Калицкий снова вернулся на Северный Кавказ. Новые геологосъёмочные работы по определению нефтеносности велись в основном в районах Буйнакска и Хасавюрта [10, 24, 26]. В экспедицию К.П. Калицкого входили коллектор **Василий Валерианович Вебер** (1899-1987), проводник-переводчик и В.П. Калицкая, которая описала в книге их научную работу и опасности того времени. К.П. Калицкий проработал в Северном Дагестане больше четырех месяцев, дважды побывал в Грозном и осенью 1923 г. вернулся в Петроград.

На следующий год были обследованы нефтяные месторождения Махачкалинского и Буйнакского регионов [16, 21, 22]. Затем они переехали в Грозненский нефтеносный район, где с рабочими пришлось пробить множество шурфов, так как исследуемый район станицы Самашкинской (совр. Самашки) был почти лишён геологических обнажений для подробных описаний.

Коллектором у К.П. Калицкого проходил практику, тогда ещё студент Горного института, **Игнатий Осипович Брод** (1902-1962), который оставил воспоминания об этих экспедициях, рассказав их В.П. Калицкой.

С лета 1925 по осень 1926 г. К.П. Калицкий вновь руководил съёмкой в Чечне и Дагестане, ему помогали студент **Пётр Яковлевич Авров** (1899-1968) и другие коллекторы. Необходимо было окончательно убедиться в том, что антиклиналь около Махачкалы действительно обещала быть нефтеносной. В списке работ К.П. Калицкого сразу 4 статьи рассказывают о возможном новом нефтяном районе около города Махачкалы [8, 9, 19, 20]. Причём этот факт удалось определить по геологическим описаниям без характерных внешних нефтепроявлений, указывающих на то, что на глубине может быть встречена нефть.

Прогноз К.П. Калицкого подтвердился не сразу. Долгая подготовка глубокого разведочного бурения, затем технические трудности и аварии, а также недоверие к его предложению доставили ему немало переживаний. В январе 1937 г. И.О. Брод опубликовал в Грозненской газете «Техника нефти», статью под заголовком «Быстрее разворачивать разведку Махач-Калы». Затем он сообщил в статье «О перспективах разработки газа и нефти вблизи Махач-Кала» (Дагестанская Правда, 22 мая 1940 г.) о необходимости новых разведочных скважин. В результате бурений сначала было вскрыто газовое месторождение, а в 1941 г. из глубин порядка 1500 м ударил мощный фонтан нефти. Новое Махачкалинское месторождение внесло серьёзный вклад в победу в Великой Отечественной войне. К.П. Калицкий посмертно был удостоен премии за открытие месторождения, её торжественно получила В.П. Калицкая. В Приказе Наркомнефти было указано: «Необходимо особо подчеркнуть роль старшего геолога Всесоюзного нефтяного исследовательского института (б. НГРИ) профессора Калицкого Казимира Петровича, как первооткрывателя месторождения, обосновавшего начало и план разведочных работ в Махач-Кала» [29].

В 1927-1928 гг. К.П. Калицкому удалось ознакомиться с разведкой и добычей нефти во время командировки в США, куда отправился через Германию и Францию, а возвращался через Кубу. Его интересное путешествие и встречи с учёными подробно описаны В.П. Калицкой. В книге цитируются непосредственные описания событий из писем К.П. Калицкого жене. Сравнение месторождений разных регионов мира, широкий кругозор и знакомство с обширной литературой были отражены в итоговой монографии К.П. Калицкого [18].

После ликвидации Геологического комитета в 1929 г. К.П. Калицкий с другими известными учёными был привлечен по так называемому «Делу Геолкома», и находился под арестом почти 3 месяца [17, 28]). В 1930 г. На базе расформированной Нефтяной секции Геолкома был создан Нефтяной институт, где заместителем директора стал К.П. Калицкий (он часто исполнял обязанности руководителя во время командировок и отпусков директоров).

С 1937 г. К.П. Калицкий перестал ездить на полевые работы, но продолжил работу над книгами и статьями. Вскоре на основе многих примеров из Северо-Кавказских экспедиций, вышла книга по актуальному вопросу о косвенных признаках определения нефтяных залежей [25].

Таким образом, К.П. Калицкий внёс большой вклад в изучение нефтяных районов юга России, других регионов Кавказа, Прикаспия, Поволжья и Средней

Азии. Составленные им геологические карты и описания до сих пор актуальны. Как автор первого специализированного вузовского курса по геологии нефти он сумел заинтересовать студентов, закрепить их знания в экспедициях и воспитать достойную смену. Его коллеги и ученики стали известными геологами и внесли большой вклад в геологию. Разработанные К.П. Калицким теоретические воззрения на процессы нефтеобразования и накопления нефти оказали большое влияние на изучение и разведку скрытых месторождений. Его оригинальные идеи по геологии нефти и вопросам происхождения и миграции нефти имеют большое значение для истории геологии. Они показывают, как знание смежных наук и источников, в сочетании с научными связями, полевым опытом и любознательностью, способствуют появлению новых гипотез, поиску их доказательств и прогрессу науки.

Литература

1. Бакиров А.А. Главнейшие этапы развития взглядов на происхождение нефти в отечественной науке: Другие направления в развитии взглядов на происхождение нефти // Происхождение нефти. М.: Гостоптехиздат, 1955. С. 65-80.
2. Булатов Б.Б., Гусейнов М.Ш. Российские учёные и развитие производительных сил Дагестана со второй половины XIX века по 1930 год // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. 2021. № 3 (211). С. 39-42.
3. Галкин А.И. Выдающийся геолог-нефтяник Казимир Петрович Калицкий: (К 135-летию со дня рождения) // Нефтяное хозяйство. 2008. № 3. С. 115-117; То же с дополнениями // История геологии нефти и газа в России: изученность и проблемы. Ухта: УПООМ, 2012. С. 224-239.
4. Герасимов А.П. Геологические исследования в районе Кавказских Минеральных вод: 1) в листе «Железноводск» в окрестностях г. Змиевки и Баталинского источника, 2) в листе XVII-26 1-верстной топографической карты Кавказа, басс. р. Малки и 3) источника Джылы-су под Эльбрусом // Известия Геологического комитета. 1911. Т. 30. С. 215-220.
5. Герасимов А.П., Калицкий К.П. О Михайловских минеральных водах // Известия Геологического комитета 1914. Т. 33. № 9. Протоколы. С. 287-290.
6. Гусейнов М.Ш. Помощь России в развитии нефтяной и газовой промышленности Дагестана 20-30-е гг. XX в. // Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 2: Гуманитарные науки. 2005. № 3. С. 37-46.
7. За творческое развитие советской передовой нефтяной геологической науки // Нефтяное хозяйство. 1951. № 9. С. 1-5.
8. Калицкий К.П. Возможный новый нефтеносный район в Дагестане // Известия Геологического комитета. 1924. Т. 43. № 3. С. 351-360.
9. Калицкий К.П. Возможный новый нефтеносный район в окрестностях Буйнакска Дагестанской республики // Нефтяное хозяйство. 1931. № 8/9. С. 89-92.
10. Калицкий К.П. Геологическая съемка в Дагестанской республике // Известия Геологического комитета. 1924. Т. 43. № 2. С. 136.
11. Калицкий К.П. Геологические исследования в окрестностях города Петровска, Дагестанской области, произведенные в 1901 г. // Известия Геологического комитета. 1902. Т. 21. № 9. С. 671-696.
12. Калицкий К.П. Геологические исследования в окрестностях города Темир-Хан-Шуры, произведенные в 1902 году // Известия Геологического комитета. 1903. Т. 22. № 1. С. 33-64.
13. Калицкий К.П. Геология нефти: лекции, читанные в Петроградском горном институте. Пг.: Типо-лит. НКПС, 1921. 224 с. (Сер. Библиотека журнала «Нефтяное и сланцевое хозяйство»).

14. *Калицкий К.П.* Грозненский нефтеносный район. СПб.: Геологический комитет, 1906. [4], 40 с. (Труды Геологического комитета; Вып. 24).
15. *Калицкий К.П.* Журнал присутствия Геологического комитета: Заседание 7.04.1906. III. // Известия Геологического комитета. 1906. Т. 25. № 4/5. Протоколы. С. 40-41.
16. *Калицкий К.П.* Исследовательская деятельность комитета: Работы по Нефтяной секции (118) [обследования нефтяных месторождений Махач-Калинского и Буйнакского округов Дагестанской республики] // Известия Геологического комитета 1925. Т. 44. № 2. С. 160.
17. *Калицкий К.П.* Личное дело в ГАРФ. Ф. Р-5515. Оп. 35. Д. 936.
18. *Калицкий К.П.* Научные основы поисков нефти / ред. С. И. Миронов. М., Л.: Гостоптехиздат, 1944. 244 с.
19. *Калицкий К.П.* О возможном новом нефтеносном районе в окрестностях города Махач-Кала (бывш. Петровск) Дагеспублики (Притаркинский или Махач-Калинский район) // Нефтяное и сланцевое хозяйство. 1924. № 8. С. 329-333.
20. *Калицкий К.П.* О возможно новом нефтеносном районе около Махач-Калы (бывш. Петровск) // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1924. № 9. С. 33-35.
21. *Калицкий К.П.* О некоторых нефтяных месторождениях северного Дагестана // Нефтяное и сланцевое хозяйство. 1925. № 4. С. 592-606.
22. *Калицкий К.П.* О нефтяных месторождениях типа Майкопской «рукавообразной» залежи // Нефтяное и сланцевое хозяйство. 1925. № 3. С. 446-455.
23. *Калицкий К.П., Чарноцкий С.И., Миронов С.И.* О нефтеносных районах России // Известия Геологического комитета. 1921. Т. 40. № 8/10. С. 25-33.
24. *Калицкий К.П.* О результатах осмотра нефтяных месторождений Северного Дагестана, произведенного в 1923-1924 гг.: (доклад на заседании Дагсовнаркома и Дагцика 2 августа 1924 г.) // Нефтяное и сланцевое хозяйство. 1924. № 10. С. 714-718.
25. *Калицкий К.П.* Поиски залежей нефти по протяжению горизонтов. Л., М. 1938. 32 с. (Труды НГРИ. Серия А; Вып. 108).
26. *Калицкий К.П.* Предварительный отчет о произведенном летом 1923 года обследовании нефтяных месторождений Присулакского района (Дылым, Миатлы, Напкунтан, Муцидалкал, Пирауз) // Известия Геологического комитета 1924. Т. 43. № 5. С. 425-440.
27. *Мишурнина З.А., Вебер В.В., Алферов Б.А., Акрамходжаев А.М., Бабаев А.Г.* Труды К.П. Калицкого и их практическое и теоретическое значение // Методы изучения коллекторов нефти и газа и их покровы. Л.: ВНИГРИ, 1974. С. 8-26. (Труды ВНИГРИ. Вып. 351).
28. Обвинительное заключение по делу Организации экономического шпионажа, контрреволюции и вредительства в Геологическом комитете ВСНХ СССР: 21 июля 1929 г. Ленинград: ОГПУ СССР, 1929.
29. Приказ Наркомнефти СССР № 873 от 31.12.1943 г. // РГАЭ. Ф. 7786. Оп. 2. Д. 1182. Л. 36.
30. Проект Программы геологических исследований нефтеносных районов Кавказа в 1901 году // Известия Геологического комитета. 1901. Т. 20. С. 113-116. К.П. Калицкий проводил съемку в пределах планшетов III и IV (верстовой съёмки Кавказского военно-топографического отдела).
31. *Саббатковский Г.К.* Значение трудов К.П. Калицкого в познании геологических нефтяных месторождений Туркмении // Труды Института геологии АН Туркменской ССР. Ашхабад: Изд-во АН Туркм. ССР, 1960. Т. 3. 148-158.
32. *Daykaev A.A., Aydamirova Z.G., Abubakarova E.A., Shaipov A.A., Movlaeva A.M., Bachaeva T.Kh., Zakriev Kh.I., Dzharnagaliev R.Z.* Starogroznsky oil and gas field: historical background and current status // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: (ISEES 2020). 2020. Vol. 905. 012012.

ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (XVIII В. – ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА XX В.)

© З.Ш. Гагаева¹, И.А. Керимов²

¹Академия наук Чеченской Республики, Грозный

²ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва

Аннотация. Цель работы заключается в анализе, обобщении результатов географических исследований Северного Кавказа, связанных с изучением климата на Северном Кавказе. Исследования охватывают первую половину XX в. В работе представлен анализ отдельных архивных материалов. Некоторые документы вводятся в научный оборот впервые.

Ключевые слова: Чеченская Республика, Кавказ, ученые-натуралисты, географические исследования, растительность, климат, почвенные исследования, ландшафты, перспективы развития.

Изучение климата Северного Кавказа неразрывно связано с процессом изучения его природы, что в свою очередь представляет неотъемлемую часть процесса географических исследований этой области России. Сведения о природе представляли чрезвычайно важный интерес для государства в период организации комплексных научных исследований в XVIII в. Несмотря на то, что целенаправленных исследований по климату Северного Кавказа до XX в. не проводились, однако следует отметить, что комплексные научные исследования природы региона [1-3, 6, 10-13] давали возможность иметь достаточно объективную картину и о его климате. Деятельность Петра Великого, последовавшие после него реформы в России, способствовали организации широкомасштабной кампании по сбору сведений о природе, ее богатствах и населении страны, в том числе и южных окраин Российской Империи. Деятельность академических экспедиций 2-ой половины XVIII в., охвативших почти всю территорию России, создала благоприятные условия для первоначального установления физико-географических и экономических районов Российского государства [5].

Среди сведений о природе Северного Кавказа, которые представили научному сообществу участники академических экспедиций, мы можем обнаружить отрывочные сведения о климате [18, 19].

Активно освещаются научные, события, касающиеся Кавказа, в записках и известиях КОИРГО, в которых можно обнаружить сведения, связанные с особенностями климата отдельных областей Северного Кавказа. Так, железнодорожный климат характеризуется как «окруженный лесом и подверженный двум ветрам: сухому – восточному и влажному – западному, он не имеет ни резкости, ни сухости открытых нагорных стран, ни излишней сырости низменных долин» [9, с. 234]. Здесь имеются упоминания о мягком, влажном климате, умеренной и непродолжительной зиме, не жарком, обильном дождями лете и благоприятных почвенных условиях Ичкерии и Веденского плато, как одних из плодороднейших уголков Северного Кавказа. Отмечается, что здесь имеются возможности производить «решительно все, что ни ткнешь в землю...» [17, с. 146].

Подробно описаны данные о выпавших осадках по областям Кавказа, в том числе Кубанской области, Ставропольской губернии, Терской, Дагестанской областям и др. К сведениям прилагаются 4 карты со сведениями, приводятся в разделе об атмосферных осадках на Кавказе весной и летом 1894 г.: 1) о среднем количестве осадков за весну (март-май, масштаб – 45 верст в дюйме); 2) осадками весной 1894 г.; 3) среднего количества осадков за лето (июнь-август, масштаб 95 верст в дюйме); 4) осадков на Кавказе летом 1894 г. [14]. Также некоторые представления о климате можно найти в очерках о Кавказе [4, 12, 24].

В XIX в. сведения о климатических особенностях Кавказских гор отразил в своих работах выдающийся исследователь В.В. Докучаева. В его работах, связанных с изучением почв Кавказских гор, представлены доказательства закономерной смены горных почв, которую он связывал с особенностями рельефа и климата, что впоследствии было подтверждено формулировкой мирового закона географической зональности [7, 8].

Общие сведения в контексте изучения климатов земного шара и в особенности России, даются в работе доктора физической географии Императорского Московского университета А.И. Воейкова. В ней автором даются описания заметных противоположностей между ЮЗ склоном Кавказского хребта (Мингрелия, Имеретия, Сванетия), где выпадает много осадков и поэтому накапливается много снега, и Дагестаном, где очень сухо и влажные ветра не достигают этих пространств. Приводятся также описания различных температурных аномалий на Кавказе.

Таким образом, можно отметить, что изучение климата в XVIII и XIX вв. в основном имело отрывочный (на уровне регионов) и обобщающий (в масштабах страны) характер. Отсутствовали детальные исследования климата по отдельным областям Северного Кавказа. Однако имеющиеся к XX в. сведения давали достаточные представления о климате Северного Кавказа.

Целенаправленно региональные исследования климата на Северном Кавказе, как и во многих регионах России, начались лишь после революционных событий 1917 г. Особое значение это имело в первую очередь для восстановления и развития сельскохозяйственного сектора страны. Так, например, в 20х годах XX в. активно проводились работы по изучению таких метеорологических показателей, как сравнительные температуры воздуха, составлялись сравнительные таблицы ветров и заморозков, ориентировочные фенологические таблицы в помощь колхозам и совхозам в целях проведения весенней и осенней посевной кампании (Кабардино-Балкарии и прилегающим районам Ставропольского края) [20-23] (рис. 1).

В 1-ой половине XX в. в Кабардино-Балкарии регулярно проводились работы, связанные с гидрометеорологическим обслуживанием, издавались ежедневные метеорологические бюллетени, проводился мониторинг, связанный с метеорологическими наблюдениями и др. работы. Таким образом, анализ материалов, в том числе и архивных, показывает, что изучение климата на Северном Кавказе имело не просто важное значение, но и контролировалось государственными органами [25].

Среднее, максимальное и минимальное число дней с
средней температурой не менее -5.0 и -10.0 района
М. Кабарды

таблица № 23

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ	Зат
средний срок	1 0	7 2	10 2	14 7	18 5	21 1	24 1	27 1	30 1	33 1	36 1	39 1	42 1	45 1	37	12
макс.	3 0	19 7	18 11	28 21	31 5	34 1	37 1	40 1	43 1	46 1	49 1	52 1	55 1	58 1	79	24
миним.	0 0	0 0	1 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	12	0
срок ср.	1 0	6 2	9 3	14 6	18 5	21 1	24 1	27 1	30 1	33 1	36 1	39 1	42 1	45 1	36	12
макс.	4 0	16 7	18 12	28 18	31 4	34 1	37 1	40 1	43 1	46 1	49 1	52 1	55 1	58 1	75	24
миним.	0 0	0 0	0 0	3 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	10	0

В виду того, что в некоторых случаях среднее число дней с температурой не менее -5.0 и -10.0 района М. Кабарды

Рис. 1. Таблица средних и максимальных чисел дней со средней температурой не менее -5.0 и -10.00 района Малой Кабарды [22, л. 19]

Работа выполнена в рамках госзадания ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2021-0002 «Оценка изменчивости агроклиматических условий Северного Кавказа в связи с глобальными изменениями климата»

Литература

1. Гагаева З.Ш. Географические исследования в Чеченской Республике // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2023. № 1 (60). С. 59-67. DOI: 10.25744/vestnik.2022.59.4.010.
2. Гагаева З.Ш. История изучения природы Северного Кавказа (XVIII в. – начало XX в.): периодизация и аналитический обзор // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2022. № 4 (56). С. 84–91. DOI: 10.25744/vestnik.2022.56.1.011.
3. Гагаева З.Ш., Керимов И.А. Географические сведения о Северном Кавказе: источниковая база (XVIII–XIX вв.) // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН 2022. Т. 7. 4 (24) С. 72-78. DOI: 10.21072/есо.2022.24.05.
4. Географические очерки России / Сост. А. Сергеев. Вып. 1-3. Санкт-Петербург: тип. т-ва "Обществ. польза", 1866. 3 т. Остзейский край и Литва; 2. Польша, Волынь и Подолия; 3. Малороссы и Малороссия; 4. Новороссийский край; 5. Таврида и ногайские степи; 6. Кавказ и Закавказье]. 111 с.
5. Гнучева В.Ф. Материалы для истории экспедиций Академии наук в XVIII и XIX веках. М.; Л., 1940. 310 с.
6. Головлев А.А. Горные ландшафты Чеченской Республики и особенности их освоения: дисс. ... д-ра геогр. наук: 25.00.23. Москва, 2005. 421 с.
7. Докучаев В.В. Картография русских почв. Объяснительный текст к почвенной карте Европейской России (В.И. Чаславского). СПб, 1879.
8. Докучаев В.В. Предварительный отчет об исследованиях на Кавказе летом 1899 г. // Изв. Кавказск. отд. Русск. географич. общ-ва, 1899. Т. 12. Вып. 3. С. 288-318.
9. Керимов И.А., Гагаева З.Ш. Академические экспедиции XVIII в. на Кавказе: ученые-путешественники (к 250-летию «физических» экспедиций академии наук) // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3. № 6 (14). С. 112-120.
10. Керимов И.А., Романова О.С., Гагаева З.Ш. Кавказские экспедиции В.В. Докучаева // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2017. № 2 (35). С. 53-59.
11. Краткий очерк Кавказского края в военном отношении: Из лекции полк. Милютинна в Имп. Воен. акад. Б.м., 1848. 168 с.

12. Ломоносов и академические экспедиции XVIII века / Авторы-составители: *О.А. Александровская, В.А. Широкова, О.С. Романова, Н.А. Озерова*. М.: Издательство «РТСофт», 2011. 272 с.
13. Обзор атмосферных осадков, выпавших на Кавказе в течение весны и лета 1894 г. // Записки КОИРГО. Кн. XVIII. Тифлис, Тип. Грузинского издательского Товарищества, 1896.
14. Очерки истории исследования природы Северного Кавказа / *Керимов И.А., Широкова В.А., Снытко V.A., Озерова Н.А., Собисевич А.В., Гагаева З.Ш., Постников А.В., Кобзева Ю.А., Савенкова В.М., Эрман Н.М., Низовцев В.А., Чеснов В.М.* М.: ИИЕТ РАН, 2022. 398 с.
15. П.С. Палласа, доктора медицины, профессора натуральной истории и члена Российской императорской Академии наук, и Санктпетербургского Вольного экономического общества, также Римской императорской академии испытателей естества и Королевского Аглинского ученого собрания, Путешествие по разным провинциям Российской империи. Санктпетербург: При Имп. Акад. наук, 1770-1788. Ч. 3, полов. 2: 1772 и 1773 гг. Ч. 3, полов. 2. 1788. 480 с.
16. *Россикова А.* Путешествие по центральной части горной Чечни / Записки КОИРГО. Кн. XVIII. Тифлис, Тип. Грузинского издательского Товарищества, 1896. С. 146.].
17. СПбФ АРАН. Ф. 3. Оп. 33. Д. 1. Л. 12. Физическая экспедиция проф. Гильденштедта 1768-1775 гг.
18. СПбФ АРАН. Ф.3. Оп. 34. Д. 16. Л. 139. Дела по экспедиции г. Академика Гмелина об отправлении его в Мазандрон.
19. ЦГА КБАССР. Фонд «Шуйский И.И.». Ф. Р-836. Оп. №1. Д. 4. Лл. 1-19. Таблицы сравнительных температур по КБАО и прилегающим районам Ставропольского края за 1924-1929 гг.
20. ЦГА КБАССР. Фонд «Шуйский И.И.». Ф. Р-836. Оп. №1. Д.7. Лл. 1-2. Сравнительные таблицы ветров и заморозков по КБАО за 1924-30 гг.
21. ЦГА КБР. Ф. Р-836. Оп. №1. Д. 9. Лл. 1-2. Сравнительные таблицы температур за март-октябрь 1925-29 гг. (фонд «Шуйский И.И.»).
22. ЦГА КБР. Ф. Р-836. Оп. №1. Д.19. Лл. 1-19. Ориентировочные фенологические таблицы в помощь колхозам и совхозам в проведении весенней и осенней посевной кампании (Фонд «Шуйский И.И.», 1925-1931 гг.
23. Чечня и чеченцы / Соч. А.П. Берже, правителя дел Кавк. отд. Имп. Рус. геогр. о-ва. Тифлис, 1859. 140 с.
24. ЦГА КБАССР. Фонд «Наркомзем». КБАССР. Ф. Р-315. Оп. №1. Д.18. Лл. 45-45об. О состоянии работы гидрометеорологической службы в КБАССР (Постановление Совета народных комиссаров КБАССР от 2 сент. 1943 г.).

НАУЧНЫЕ КРАЕВЕДЧЕСКИЕ ОБЩЕСТВА И СТАНОВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЧЕЧНЕ: 20-Е ГГ. XX В.

© Р.М. Исаева

Институт чеченского языка, Грозный

Аннотация. В статье предпринята попытка осветить роль добровольных научных краеведческих сообществ Чеченской автономной области в становлении сейсмических наблюдений в рассматриваемом регионе в 20-е гг. XX в. (на примере организации Грозненской сейсмической станции).

Ключевые слова: Грозненский научный кружок, Грозненское научное общество, Научное общество Чеченской автономной области, сейсмическая станция, сейсмические наблюдения.

Краеведение, как комплексная наука, является одной из важных отраслей познания.

На современном этапе краеведение определяется как «изучение природы, населения, хозяйства, истории и культуры какой-либо территории («края») или объекта, главным образом силами местного населения» [2].

В условиях глубоких изменений, которые происходят в общественной жизни нашей страны, к краеведению предъявляются новые требования. Неуклонно растет интерес к историческому опыту прошлого, в том числе и к краеведческому движению.

Особо следует выделить 20-е гг. XX в., считающиеся «золотым десятилетием развития краеведения» в истории России [21, с. 16]. По всей стране создаются добровольные краеведческие сообщества, деятельность которых была направлена на изучение родного края – «малой родины». Краеведческое движение становится массовым. Новая, советская власть придавала краеведческому движению большое значение.

Идейный вдохновитель создания краеведческих организаций в Северо-Кавказском регионе академик Н.Я. Марр подчеркивал, что «краеведение – это новое направление в советской науке, которое осуществляет «спайку науки с населением» [1, с. 22].

Неоценимое значение имело краеведческое движение в национальных окраинах, в том числе и в Чеченской автономной области, где к началу 20-х гг. XX в. отсутствовали научно-исследовательские учреждения.

В рассматриваемый период, в условиях успешной деятельности центральных и северокавказских краевых научных экспедиций в Чечне и в г. Грозном, наиболее активные представители интеллигенции, под благотворным влиянием краеведческого движения в стране стали инициаторами создания различных общественных союзов, в том числе и добровольных научных краеведческих обществ. Эти процессы особенно активизировались здесь во второй половине 20-х гг. XX в.

31 марта 1928 г. был создан Грозненский научный кружок при Доме работников просвещения. Обосновывая актуальность и необходимость его создания В.В. Власов, возглавивший Кружок, в интервью республиканской газете «Грозненский рабочий» отметил, что: «В Грозном до сего времени не было объединенного центра всех научных сил, через которого можно было бы

не только обмениваться своим опытом, но и заниматься научными исследованиями... Вот эту цель и поставил себе наш Научный кружок» [7].

Одной из основных задач Кружка явилась – «объединить все научные силы Грозненского округа...» [7]. Кружок «заручился поддержкой со стороны почти всех существующих в СССР научных обществ, в том числе и Главнауки, и Академии наук СССР и т.д.» [7].

Различные научные учреждения при Академии наук СССР выразили свое согласие на оказание «посильной помощи Кружку в его научной работе» [10, с. 6].

В послеоктябрьский период происходит интенсивное развитие сейсмологии. Растет сеть сейсмических станций. Для народного хозяйства важно было знать, можно ли ожидать в той или иной местности, конкретном пункте землетрясений, если – да, то какой силы [19, с. 10].

Особое значение имело развитие сейсмологии в сейсмоопасных регионах страны в связи с выполнением народнохозяйственных задач первой пятилетки.

Период «1928-1947 гг. – характеризуется началом интенсивного развития региональных сейсмических наблюдений» [20, с. 16].

В 1928 г. был создан Сейсмологический институт при Академии наук СССР (в настоящее время Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН), который стал основным центром отечественных научных исследований в области сейсмологии [14, с. 40]. В задачи Сейсмологического института входило исследование таких проблем, как всестороннее изучение механизма и условий возникновения землетрясений, а также их геологических и экономических последствий и др. [19, с. 11].

Территория Чеченской Республики, географически занимающая центральное место на Северном Кавказе, в геологическом отношении расположена на восточном склоне мегаантиклинория Большого Кавказа и центральной части Терско-Каспийского прогиба, и традиционно относится к территориям с высокой сейсмической активностью [16, с. 445]. Об этом ярко свидетельствуют сильные землетрясения, которые происходили на территории рассматриваемого региона [16, с. 446; 17, с. 57].

К наиболее сильным землетрясениям, зарегистрированных на территории Чеченской автономной области в 20-е гг. XX в. относится 7-ми балльное Аргунское землетрясение, произошедшее 5 октября 1928 г. [15, с. 44; 17, с. 57]. Кроме того, с начала 20-х гг. XX в., возникла проблема сейсмичности, обусловленной разработками нефтяных месторождений.

Поэтому не случайно перед Грозненским научным кружком с первых дней его создания были поставлены задачи, имевшие важное народнохозяйственное значение, в том числе: «организовать сейсмическую станцию» [7; 18, с. 161].

Так была начата организационная работа по проведению сейсмических наблюдений в рассматриваемом регионе.

Председатель Кружка В.В. Власов в интервью газете «Грозненский рабочий», в частности, подчеркнул, что – «Лето (1928 г.) было использовано на то, чтобы крепче связаться с центральными научными учреждениями. Одним из первых отозвалось Ленинградское общество мироведения, которое ответило своим согласием... прислать приборы для подготовки нами к открытию сейсмической станции» [8].

Сейсмологический институт при Академии наук СССР также поддержал инициативу Клуба о создании сейсмической станции и «согласился бесплатно предоставить необходимую аппаратуру» [10, с. 6].

Проблема сейсмичности оставалась в рассматриваемом регионе одной из актуальных, особенно после разрушительного крымского землетрясения 1927 г., и предметом обсуждения на различных уровнях. Свою лепту здесь внес и Грозненский научный клуб. Так, оживленный интерес вызвал доклад «Крымское землетрясение и сейсмические явления», с которым выступил В.В.Власов на одном из открытых заседаний секции географии и астрономии Клуба [10, с. 4].

Между тем, решение уставных задач, стоявших перед Грозненским научным клубом, потребовало выхода за рамки клубовой работы и перехода к более высокой организационной форме. Назрела необходимость расширения его деятельности.

13 ноября 1928 г. Грозненский научный клуб был реорганизован в Грозненское научное общество. Основной целью Общества было «объединение лиц, научно и практически работающих в области наук...» [10, с. 9].

Так деятельность Грозненского научного клуба была успешно продолжена, и среди намеченных плановых мероприятий Общества значилось: «организовать сейсмическую станцию» [10, с. 8].

На состоявшемся в декабре 1928 г. заседании президиума Грозненского городского совета председатель Грозненского научного общества В.В. Власов «проинформировал президиум о работе и положении Научного общества». Далее в сообщении об этом заседании газета «Грозненский рабочий» пишет: «Цели Общества – вести ученую работу по заданию Академии наук, Главнауки и др. Для достижения этих целей Общество намерено организовать народную обсерваторию, сейсмическую станцию, метеорологическую станцию. Но у Общества нет никаких средств» [9].

Заслушав и обсудив сообщение В.В. Власова члены президиума Грозненского городского совета «организацию Общества приняли с большим удовлетворением. Отделу местного хозяйства предложено подыскать помещение под сейсмическую станцию. Сумму (16 тыс. руб.), нужную на организацию станций и обсерватории и на содержание их в первый год (в следующем году сейсмическую станцию будет содержать уже Академия наук СССР) – президиум постановил внести в бюджет г. Грозного на 1928-1929 г.» [9].

Между тем, в целях объединения разрозненных сил и дальнейшего успешного организационного становления и развития краеведения в регионе 10 июля 1929 г., в результате слияния Чеченского краеведческого и Грозненского научного обществ было создано Научное общество Чеченской автономной области (ЧАО).

Основной целью Научного общества ЧАО явилось «объединение лиц для изучения производительных сил Чечни; истории ее народа и революционного движения; социально-бытовых условий; распространения знаний среди масс и пробуждения интересов к задачам общества в общественной среде» [12, с. 47].

Структура Общества отражала широкий спектр направлений его деятельности. При этом приоритеты были отданы изучению производительных сил и природных богатств Чечни, особенно в условиях провозглашения курса на индустриализацию страны.

Организационная работа по открытию сейсмической станции в г. Грозном была продолжена уже на новом уровне и входила в план работы Научного общества ЧАО [12, с. 55].

В этих целях «Обществу удалось заинтересовать ВСНХ, Грозненский нефтяной институт, Академию наук СССР и Научный комитет при Северо-Кавказском крайисполкоме» [11, с. 34; 4, л. 11].

Следует отметить, что при постройке сейсмической станции возникли проблемы, связанные с ее местоположением, «так как выбор места обуславливался некоторыми научными требованиями. Вопрос разрешился положительно договоренностью с Грозненским нефтяным институтом, который с согласия ВСНХ обязался бесплатно выстроить специальное помещение для станции во вновь строящемся флигеле» [13, с. 69].

Сейсмологический институт Академии наук СССР подтвердил окончательно свое решение об «учреждении сейсмической станции в Грозном, а не в г.Махач-Кале, как раньше предполагалось, и обязался, в случае постройки станции оборудовать ее приборами, включить в общую сеть и содержать персонал на свой счет» [13, с. 68; 5, л. 57; 11, с. 34; 4, л. 11].

Научный комитет при Северо-Кавказском крайисполкоме на оборудование и на внутреннюю отделку сейсмической станции выделил 1750 руб. [6, л.62; 11, с.34].

Непреодолимое значение в деле строительства Грозненской сейсмической станции, да и в целом в становлении сейсмических наблюдений в рассматриваемом регионе имело приезд в г. Грозный выдающегося ученого-сейсмолога, академика П.М. Никифорова, который приложил много сил и энергии для разработки систематического научного изучения территории СССР в сейсмическом отношении [19, с. 10].

П.М. Никифоров лично «осмотрел постройку» станции [3, л. 2], что, несомненно, способствовало заметной активизации работы по завершению ее строительства.

Так была «закончена постройка сейсмической станции, которая располагалась во флигеле Грозненского нефтяного института» [5, л. 57; 11, с. 34].

Таким образом, за сравнительно короткий период своей плодотворной деятельности добровольные научные краеведческие общества (Грозненский научный кружок, Грозненское научное общество и Научное общество Чеченской автономной области) внесли свою лепту в становление сейсмических наблюдений в Чечне. Одним из важных достижений обществ является научно-организационная работа по созданию Грозненской сейсмической станции, положившая начало планомерному инструментальному изучению сейсмичности в Чечне.

Литература

1. Ассоциация горских краеведческих организаций Северного Кавказа. Учредительный съезд. Пятигорск, 1924.
2. Большая российская энциклопедия. Т.15. М., 2010.
3. ГАРФ (Государственный архив Российской Федерации). Ф.А-2307. Оп.17. Д. 98. Л.2.
4. ГАРФ. Ф.А-2307. Оп.17. Д.98. Л.11
5. ГАСК (Государственный архив Ставропольского края). Ф. Р-1260. Оп.1. Д.30. Л.57.

6. ГАСК. Ф. Р-1260. Оп.1. Д.30. Л. 62.
7. Грозненский рабочий, 1928, 21 июня
8. Грозненский рабочий, 1928, 1 сентября.
9. Грозненский рабочий, 1928, 5 декабря
10. Грозненское научное общество. Грозный, 1929.
11. *Дубровский К.* Национальные краеведные организации в деле социалистического строительства // Северо-Кавказский край, 1931. №1.
12. Известия Научного общества Чеченской автономной области (журнал краеведения и научной жизни в области). №1. Грозный, 1929.
13. Известия Научного общества Чеченской автономной области (журнал краеведения и научной жизни в области). №2. Грозный, 1930.
14. *Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Бадаев С.В.* Сейсмическое районирование Северного Кавказа: история и современное состояние // Вестник Академии наук Чеченской Республики, № 2 (35), 2017.
15. *Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Бадаев С.В.* Сильные землетрясения на территории Чечни и Ингушетии в XVIII-XX вв.//Грозненский естественнонаучный бюллетень, № 1 (5), 2017.
16. *Керимов И.А., Гайсумов М.Я.* История изучения сейсмичности территории Чеченской Республики // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная конференция, 2009. М.: Анонс Медиа, 2009.
17. *Керимов И.А., Гайсумов М.Я.* Сильные землетрясения на территории Чеченской Республики // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2010. № 1(12).
18. Краеведение на Северном Кавказе, 1928, №1-2.
19. *Козенко А.В. П. М. Никифоров* – Основатель Сейсмологического Института АН СССР (К 125-летию со дня рождения) //История наук о Земле. 2009. Т.2. № 2.
20. *Старовойт О.Е.* Инструментальные сейсмические наблюдения в России // Вестник Владикавказского научного центра РАН. Т.4. №4. 2004.
21. *Шмидт С.О.* Золотое десятилетие советского краеведения // Отечество. Краеведческий альманах. М., 1990. Вып.1.

АКАДЕМИК Г.В. АБИХ – ИССЛЕДОВАТЕЛЬ ГЕОЛОГИИ КАВКАЗА**© И.А. Керимов***ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва*

Аннотация. В работе освещается научно-исследовательская деятельность выдающегося ученого, геолога, знатока Кавказа – академику Г.В. Абику, одному из основателей российской геологии. Он является одним из первых исследователей, стоявших у истоков сейсмотектоники, автор представлений о единой причине горообразовательных процессов и их приуроченности к определенным направлениям горных цепей, автор передовых теоретических и практических исследований в области нефтяной геологии.

Ключевые слова: академик Г.В. Абих, геология, Кавказ, грязевые вулканы, полезные ископаемые, нефть

Абих Герман Вильгельмович (Васильевич) (Отто Вильгельм Герман) родился 11 декабря 1806 г. в Берлине, немец по происхождению. Отец был горным советником, мать – дочерью химика М. Клапрота и сестрой путешественника и востоковеда Ю. Клапрота. Окончив курс Брауншвейгской гимназии, изучал естественные науки в Берлинском университете. Интерес к естественным наукам, в частности к геологии, к дальним путешествиям, у уроженца Берлина Отто-Германа Абиха возник еще в юношеские годы под влиянием отца, горного советника Вильгельма Абиха, а также деда по материнской линии, выдающегося немецкого химика Мартина Клапорта (1747-1817), и дяди, знаменитого востоковеда, большого знатока этнографии кавказских народностей Юлия Клапорта (1783-1835).

В дальнейшем, уже в качестве студента физико-математического отделения философского факультета Берлинского университета, молодому Г.В. Абику выпало счастье слушать лекции крупнейших ученых XIX столетия, в том числе Георга Гегеля – по философии, Леопольда Ранке – по истории, Леопольда фон Буха – по геогнозии (так в то время называлась геология), географов Карла Риттера и Александра фон Гумбольдта, прозванного «Аристотелем XIX века». В 1831 г., после окончания университета, молодой ученый защищает диссертацию по минералогии диссертацию *De spinello* («О шпинели»), написанную на латинском языке. Ему присуждается степень доктора философии.

По настоянию Л. Буха, в 1833-1836 гг. в Италии изучает действующие и потухшие вулканы (Везувий, Этну, Стромболи и др.). Это был классический геологический маршрут на вулканы Италии. Неоднократно подвергая жизнь опасности, произвёл исследования и наблюдения извержений этих вулканов. Результатом этих наблюдений явилась монография, изданная в Брауншвейге в 1841 г., под заглавием «*Über die Natur und den Zusammenhang der vulkanischen Bildungen*» («О свойстве и общем ходе вулканических образований»), обратившая на автора внимание всего учёного мира. Помимо дара с необыкновенной точностью производить наблюдения, Г. Абих проявил ещё и замечательное умение графически изображать геологические явления природы.

Г. Абих приехал в Россию по рекомендации А. фон Гумбольдта. В результате реформы образования, проведенной Александром I в начале XIX в., в разных городах России были открыты университеты, и остро ощущалась нехватка преподавателей. В 1842 г. Г. Абиха пригласили в Россию на должность

ординарного профессора минералогии в Университет Дерпта. За долгие годы работы в России он так и не освоил русский язык, говорил и писал на родном языке и по-французски. Все его труды, опубликованные на русском языке, являются переводами.

Началу работы Г. Абиха в России предшествовало катастрофическое явление на Кавказе в 1840 г. С вершины г. Арарат хлынули потоки теплой воды, обрушились лавины снега и камней, вершина горы окуталась парами. Три года специалисты безуспешно пытались установить причины произошедшего, и Штаб Корпуса горных инженеров обратился за помощью к Г.В. Абиху [6]. А. фон Гумбольдт и Л. фон Буха письмом 1842 г. уверили министра народного просвещения России С.С. Уварова, что исследование Арарата талантливым геологом Г. Абихом было бы «счастье для науки» [10].

Г. Абих тщательно готовился к поездке на Кавказ – разработал план работ, собрал сведения об изученности территории, которые обобщил в докладе в Дерптском университете «Über die geologische Natur des Armenischen Hochlandes» (1843). В последующие годы Г.В. Абихом было опубликовано большое количество работ по геологии и полезным ископаемым Кавказа [1-5, 13-15 и др.].

Ранней весной 1844 г. по высочайшему разрешению Императора России Николая I профессор Абих отправился в 10-месячную командировку в Закавказье, предварительно получив из Российской казны на экспедиционные нужды 5288 рублей серебром – очень внушительную для того времени сумму. До отъезда на Кавказ в январе того же года в Санкт-Петербурге Г.В. Абих получает предварительные сведения об Армении у известного общественного деятеля, этнографа и агрария барона А. Гекстгаузена, который годом раньше путешествовал по Армении.

Первая 10-месячная экспедиция Г.В. Абиха на Кавказ началась в 1844 г. Он исследовал Закавказье – от Тифлиса до турецкой границы. Восхождение на Арарат не удалось, и срок командировки был продлен на два года. После четырех неудачных попыток 29 июля 1845 г. Г.В. Абих покорил заветную вершину. Загадка катастрофы на Арарате 1840 г. оставалась не разгаданной, хотя Г.В. Абих и предположил влияние глубинных движений, но лишь через 15 лет, после изучения ледников Кавказа, определенно высказался о роли землетрясения в этом событии.

В 1847 г. Министерство народного просвещения потребовало возвращения Г.В. Абиха в Дерпт, но он оставил кафедру в Дерпте и с разрешения Николая I был зачислен в Корпус горных инженеров и на три года откомандирован в распоряжение Кавказского наместника [6].

С 1849 г. Г.В. Абих изучал Большой Кавказ: исследовал строение почвы, минеральные богатства, этнографию и историю народов, населяющих Кавказский край, занимается вопросами палеонтологии и гидрогеологии. При обследовании склонов Главного хребта между Эльбрусом и Казбеком, помимо Главной цепи, Г.В. Абих, вслед за И.А. Гюльденштедтом, выявил второй хребет, названный им Боковым [8]. В том же 1849 г. Г. Абих посетил Кавказские Минеральные Воды, где провёл обширные фундаментальные геологические исследования района. В его работе, опубликованной в Кавказском календаре (1853 г.), он дал поэтическое определение рельефа Пятигорья: «Архипелаг скалистых островов». В работе «К геологии Ессентуков» он рекомендовал в качестве неотложной меры провести каптажные работы на существующих источниках и разведать глубоким бурением ещё неизвестный «начальный

источник», их питающий. Это увеличило бы количество серно-щелочной воды, № 17, № 4, которой постоянно не хватало. Последующие работы подтвердили эти рекомендации Абиха.

В конце 1950-х годов по маршруту Ереван–Нахичеван–Горис–Бердзор–Шуши–с. Вазгенашен–низовья р. Тартар–Евлах–Тбилиси молодой ученый более обстоятельно изучил геологию Арцаха. На этот раз он проводил более детальные стратиграфо-палеонтологические изыскания, собственноручно собрал большую коллекцию ископаемых окаменелостей. Примечательно, что известный палеонтолог Д. Антула среди ископаемых форм верхнемеловых известняков Карабахского плато, присланных Г.В. Абихом на определения в Вену, описал новый вид ископаемого брюхоногого моллюска *Actaeonella* (*Volvulinella*) *armenica*. В летне-осенний сезон 1866 г. маститый ученый в очередной раз приступил к всестороннему геологическому изучению южной Армении и Арцаха. Но Г. Абих провел на Кавказе не три года, а всю жизнь, прошел маршрутами весь Кавказ и заслужил имя «отца кавказской геологии» [6]. У него была ясная цель: «Занимаясь, несколько лет уже, геологическим изучением Кавказского края, без всякого сомнения, самого богатого очевидными доказательствами истинности вулканического учения, которое одно удовлетворяет моему убеждению, я считаю обязанностию принять более деятельное участие, чтобы описательной геологией Кавказа <...> подвинуть науку вперед» (Абих, 1862). Значительное место в комплексном изучении Кавказа он уделял литологической характеристике отложений, стратиграфии третичных осадков. Он изучал ледники Кавказа, проводил инженерно-геологические и метеорологические изыскания.

В январе 1853 г. избран ординарным академиком Императорской Санкт-Петербургской академии наук (Отделение физико-математических наук; ористогнозия и минералогическая химия). В 1854 г. причислен к Корпусу горных инженеров и поселился на Кавказе. В 1859 г. в Тифлисе изучал метеорит Ставрополь. В 1866 г. был избран почётным членом Императорской Санкт-Петербургской академии наук.

Кроме трёхтомного капитального труда и большого количества прижизненных публикаций Германа Абиха о Кавказе, вдовой учёного Аделаидой Абих в 1896 г. были изданы в Вене его кавказские письма в двух томах (Adelaide Abich (Hrsg): *Aus Kaukasischen Ländern: Reisebriefe*. Band 1: *Briefe aus den Jahren 1842-1853 an seine Eltern und Geschwister*. Band 2: *Briefe aus den Jahren 1859-1874 an seine Frau* (Аделаида Абих (издатель). Из кавказских стран: Письма путешественника. Т. 1: Письма родителям, братьям и сестрам 1842-1853 гг.; Т. 2: Письма жене 1859-1874 гг.). В 1887 г. на средства Горного департамента России вдова учёного издала продолжение трудов покойного «*Geologische Fragmente aus dem Nachlasse v. Abich*»: отрывки «О геологии Керченского полуострова», с картами и профилями, «Барометрические определения высот в папских владениях», «Исследование об острове Понца», а также «*Geologische Forschungen in den Kaukasischen Ländern*» [7].

Дальнейшая научная деятельность ученого на Армянском нагорье была чрезвычайно плодотворной и разносторонней и касалась почти всех теоретических и прикладных аспектов геологии и физической географии: палеонтологии, стратиграфии, тектоники, минералогии, литологии, петрографии, геоботаники, орографии, климатологии, гляциологии,

четвертичной геологии и гидрогеологии, изучения полезных ископаемых, геологического картирования.

Пионерские научные разработки Г.В. Абиха

Наиболее пионерские научные разработки этого великого ученого внесли огромный вклад в изучении геологии не только Кавказа, но и для всей мировой геологической науки в целом. Г.В. Абих практически первым из ученых стоял у истоков сейсмотектоники. Его представления о единой причине горообразовательных процессов, землетрясений, вулканизма и их приуроченности к определенным направлениям горных цепей в дальнейшем были разработаны и усовершенствованы многими его современниками и последователями, в т.ч. крупнейшим российским геологом И. Мушкетовым и австрийским геологом, президентом Венской Академии Наук, одним из создателей современной геологии Эдуардом Зюссом.

Поистине передовыми являются теоретические и практические исследования ученого в области нефтяной геологии. На примере прикаспийской части Азербайджана, Г.В. Абих намного раньше и независимо от американских геологов Т. Хента, Г. Роджерса и У. Лонга впервые в мировой науке установил закономерность скопления нефти в наиболее приподнятых частях осадочных горных пород, в сводовых частях антиклинальных складок. Кроме того, Г.В. Абих впервые пришел к выводу, что вместилищем нефти являются не подземные пещеры и пустоты с нефтяными озерами, а именно пористые осадочные горные породы, песчаники и т.д. Это важнейшее открытие в дальнейшем блестяще было подтверждено Д.И. Менделеевым.



Рис.1. Разрез нефтяного колодца [2]

Г.В. Абих является также одним из первых разработчиков химического направления в петрографии – науке о горных породах. Он еще в 1841 г. разработал и впервые ввел в научный оборот понятие о кислотности горных изверженных пород. Не менее значим вклад ученого в геоморфологию и геологическое картирование. В его исследованиях формы рельефа всегда взаимосвязаны с геологическим строением и вещественным составом горных пород.

При графическом изображении разнообразных форм рельефа Г.В. Абих, будучи прекрасным рисовальщиком, впервые в мире использовал так называемый метод смещенных профилей, на 20 лет опередив своих современников, в том числе известного американского геолога и геоморфолога Карла Джильберта.

Серьезное внимание ученый уделял также изучению полезных ископаемых. Благодаря его стараниям было открыто одно из крупнейших марганцевых месторождений в мире – Чиатурское, в Грузии. Во время своих многочисленных экспедиций он непременно посещал действующие и заброшенные рудники и очень подробно исследовал все замеченные им отдельные рудопроявления. Признаки железного оруденения были выявлены ученым практически по всей полосе северо-восточных предгорий Армянского нагорья от Грузии до Карабаха включительно.



Рис. 2. Геологическая карта Апшеронского полуострова [2]

Особое внимание Г. Абих уделял палеонтологии и стратиграфии. За более чем 30-летний период из разных регионов Армянского нагорья им собраны, определены и описаны многочисленные окаменевшие остатки беспозвоночных животных: моллюсков, кораллов, головоногих и т.д., в том числе несколько новых, до того неизвестных науке, видов. Интересно отметить, что новый вид моллюскообразного плеченого животного, обнаруженного Абихом в 1868 г. в верхнедевонских (374-359 млн. лет) осадочных отложениях в окрестностях средневекового монастырского комплекса Нораванк, ученый назвал в честь древнеармянского княжеского рода Орбелянов – *Syrtiopsis (Spirifer) orbelianus* Abich. В дальнейшем данный вид моллюска другими исследователями был обнаружен и описан из верхнедевонских осадочных пород Памира, Франции, Бельгии, Польши.



Рис.3 Геологическая карта Ахалкаланского плато Ахалцихской котловины [14]

Велика заслуга Г. Абиха в познании богатства кавказских недр. Он осматривал месторождения каменного угля и обосновывал перспективность дальнейших поисков (Абих, 1847). Г. Абих привлек внимание к рудным богатствам Кавказа: «Разработку меди в Карабаге, каменных углей и железа в Имеретии и серебросодержащих свинцовых руд в Алагире можно бы почитать прочным началом к дальнейшему развитию горнозаводской промышленности» (Абих, 1847). Г. Абих изучил месторождения серы (1855), меди (1856), строительных материалов, минеральные источники (1866, 1867, 1873).

Серия публикаций посвящена нефтяным месторождениям Кавказа (1847, 1863, 1864, 1867 и др.). В работах Г. Абиха изложены взгляды о приуроченности скоплений нефти к антиклинальным структурам, на грязевой вулканизм как о явлении промежуточном между горячими источниками и настоящими вулканами; о физическом и химическом воздействии нефти и сопровождающих ее флюидов (паров воды и кислот). Запасы нефти на Апшеронском полуострове Г.В. Абих считал неисчерпаемыми [2].

В 1877 г. вместе с женой Аделаидой, дочерью академика Г. Гесса, переехал в Вену, и здесь, несмотря на преклонные годы, ревностно принялся за сведение в одно целое своих тридцатилетних наблюдений. Результатом явились две части напечатанного в Вене в 1882 г. сочинения «Geologische Forschungen in den Caucasischen Landern» с прилагаемым к ним огромным атласом карт. Третья и четвёртая части этого сочинения были закончены, но в печати автору уже не суждено было их увидеть. За три недели до смерти Г.В. Абих написал завещание, в котором просил, чтобы тело его было перевезено в Готу для сожжения, а пепел развеян на могиле матери в Кобленце. Скончался 19 июня (1 июля) 1886 г. в городе Грац, Австро-Венгрия.

Вклад и актуальность всесторонних естественнонаучных исследований Абиха частично освещены в многочисленных научных монографиях и специальных публикациях, посвященных жизни и творчеству ученого, А.П. Богданова, П.П. Семенова-Тянь-шаньского, В.В. Богачева, С.П. Волкова и В.В. Тихомирова, К.Н. Паффенгольца, А.Т. Асланяна, В.П. Ренгартена и др. [6-11 и др.].

В 1882 г. Г.В. Абиха наградили Константиновской медалью Императорского РГО – высшей наградой Императорского РГО. В честь выдающегося ученого были названы: Абихит – минерал арсенохальцит – мышьяково-кислая окись меди. В Музее земледования МГУ им. М.В. Ломоносова установлен бюст Г.В. Абиха. В его честь названы ископаемые животные (моллюски), найденные на Кавказе и Средней Азии.

Литература

1. *Абих Г.* О марганцевых рудах в Закавказском крае // Горный Журнал. 1858. ч. 2. кн. 6. С. 404-433. 3 карты, 3 разреза по р. Квириле, району Чиатура и близ Храми.
2. *Абих Г.В.* Краткий обзор строения Апшеронского полуострова и некоторые сведения о минеральных произведениях Бакинской губернии (пер. с фр. Фр. Фон Кошкуля) // Записки Кавк. Отдела ИРГО, 1864. Тифлис. Кн. VI. С.129-153
3. *Абих Г.В.* Результаты исследований Девдоракского и других ледников северного склона Кавказа вниз по долине Терека // Изв. РГО. 1871. Т. 7. № 4. Отд. 1. Общ. собр. Кавказ. отд. РГО. С. 214-217.
4. *Абих Г.В.* Исследование настоящих и древних ледников Кавказа // Сборник сведений о Кавказе. Т. 1. Тифлис, 1871. С. 85-126.
5. *Абих Г.В.* Об ископаемых веществах Апшеронского полуострова, содержащих парафин (читано в заседании И.С.-П. Академии Наук 10 февраля 1876 года) // Записки Кавк. Отдела ИРГО, 1876. Тифлис. Кн. X. С.473-493.
6. *Богачев В.В.* Герман-Вильгельм (Герман Васильевич) Абих // Тр. Геол. ин-та Азерб. филиала АН СССР. Баку, 1939. Т. XII/63. С. 7-20.
7. *Волкова С.П., Тихомиров В.В.* Жизнь и труды Германа Вильгельмовича Абиха // Очерки по истории геологических знаний; Вып. 8. М., Углетехиздат, 1959. С. 177-238.
8. *Галкин А.И.* Наследие Германа Вильгельма Абиха в нефтегазовой геологии // Глубинная нефть. 2013. Т. 1. № 6. С. 951-959.
9. *Милановский Е.Е.* Герман Вильгельм Абих (1806-1886) – «Отец геологии Кавказа» // Тр. ГИН АН Грузии: Нов. сер. Вып. 119. Тбилиси. 2004. С. 589-598.
10. Переписка Александра Гумбольдта с учеными и государственными деятелями России. М.: АН СССР. 1962. 222 с.
11. Русский биографический словарь / изд. под наблюдением пред. Имп. Рус. ист. о-ва А.А. Половцова. СПб: Имп. Рус. ист. о-во, 1896-1913. Т.1.: Аарон – император Александр II. 1896. 892 с.
12. Энциклопедия фонда «Хайазг»: Абих Герман Вильгельм. Режим доступа: http://ru.hayazg.info/Абих_Герман_Вильгельм (дата обращения: 01.08.2023 г.).
13. *Abich H.* Aus kaukasischen Ländern: 2 Bd. / Hrsg. von dessen Witwe. Wien: Hölder, 1896: Bd. 1. Briefe aus den Jahren 1842-1853 an seine Eltern und Geschwister: Reisebriefe. XI, 608 S.; Bd. 2. Briefe aus den Jahren 1859-1874 an seine Frau: Reisebriefe. VII, 313 p.
14. *Abich H.* Geologische Forschungen in den kaukasischen Ländern: 3 Th. Wien: A. Hölder, 1878-1887: Th. 1. Eine Bergkalkfauna aus der Araxesenge bei Djoulfa in Armenien. 1878. VII, 126 S.; Th. 2. Geologie des Armenischen Hochlandes: Westhälfte. 1882. 472 S.; Th. 3. Geologie des Armenischen Hochlandes: Osthälte. 1887. XII, 462 S.; То же на русск. яз. Геология Армянского нагорья. Западная часть: Орографическое и геологическое описание. Пятигорск: тип. А.М. Мануйлова, 1899. II, 202 с.; карт. (Зап. Кавказ. отд. РГО; Т. 21); Западная часть: Орографическое и геологическое описание. Пятигорск: тип. А.М. Мануйлова, 1902. 67 с. (Зап. Кавказ. отд. РГО; Т. 23).
15. *Abich H.* Vergleichende geologische Grundzüge der Kaukasischen, Armenischen und Nordpersischen Gebirge als Prodromus einer Geologie der Kaukasischen Länder // Mém. Acad. sci. St.-Pb. Sér. 6. 1859. Т. 9. P. 359-534.

**РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛАНДШАФТНЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ АНТИЧНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
БОСПОРСКОГО ЦАРСТВА
(КЕРЧЕНСКИЙ И ТАМАНСКИЙ ПОЛУОСТРОВА)**

© В.А. Низовцев¹, Н.М. Эрман²

¹*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

²*ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва*

Аннотация. Античный период на территории Керченского и Таманского полуостровов начинается с VI вв. до н.э., с начала колонизации их греческими поселенцами. На основе анализа опубликованных и фондовых источников и крупномасштабных полевых исследований на ключевых участках выполнены палеореконструкции ландшафтной структуры и составлена карта условно-восстановленных ландшафтов на территорию п-вов в масштабе 1:200000. Детальные ландшафтно-исторические исследования позволили установить четкую детерминированность развития городов, селений и хозяйственных угодий античного времени с ландшафтной структурой данной территории. Длительное и интенсивное хозяйственное освоение их территории уже в античное время привело к сильнейшей антропогенной трансформации большинства ландшафтных комплексов локального уровня.

Ключевые слова: Боспорское царство, Керченский и Таманский полуострова, ландшафт, палеореконструкции, античное природопользование.

В античное время в период от 2500 до 1500 л.н. (VI в. до н.э. - V в. н.э.) Керченский и Таманский полуострова являлись частью Боспорского государства, образованного греческими колонистами. На Боспоре уже в начале VI в. до н.э. образуется своеобразная система «полис (город) – хора (сельская округа)» со своей специфической поселенческой структурой и спецификой границ. С первых веков греческой колонизации (VI-V вв. до н. э.) на этой территории возникли крупные города-полисы (Пантикапей, Фанагория, Нимфей, Мирмекий, Гермонасса, Кепы и др.) и целая сеть сельских поселений, как греческих, так и местных племен, с которыми еще ранее сложились у греков торговые отношения [8].

Вся экономика греческих колонистов базировалась на сельском хозяйстве, которое и составляло основную сферу занятия горожан [20]. Соответственно, полис на раннем Боспоре фактически соответствует городам как селитебной (поселенческой) структуре. А их сельская округа (хора) в своем развитии постепенно заполнила естественно-географические природные рубежи – территориально-хозяйственные локальные микрзоны на Керченском п-ве и занимали целые острова на нынешнем Таманском п-ве: Киммериду, Фанагорию и Синдику с одним доминирующим городом [31]. И, как указывает Я.М. Паромов [29], хозяйственное освоение затронуло практически всю территорию полуостровов, а земельные наделы занимали более половины их площади. При этом формирование поселенческой структуры (городов и сельских поселений), дорожной сети и земельных наделов шло практически одновременно, как единой целостной системы.

Основой хозяйства греческих поселенцев и соседних племен было земледелие – хлебопашество. Основными сельскохозяйственными культурами

были зерновые: пшеница, ячмень, просо, а также чечевица, вика и зернобобовые. Значительную роль в жизни поселенцев играло садоводство и особенно виноградарство. Известно, что один из городов, колонистами, был назван Кепы, что значит «сады» [20]. Возможно, уже тогда существовали двухпольная и даже трехпольная система земледелия [27]. Животноводство было также довольно развитым – разводили преимущественно мелкий рогатый скот, а также крупный рогатый скот и лошадей. Как считает Е.В. Добровольская [17], в античное время только в Фанагории было внушительное стадо крупного рогатого скота, полностью обеспечивавшее население города мясом и молоком, а также тягловой силой и навозом. Греки разводили также свиней, которых хватало для обеспечения населения мясом.

В историко-археологическом и палеогеографическом планах Керченский и Таманский п-ова один из самых изученных регионов России. Существует целый ряд исторических реконструкций поселений и даже дорожной сети, относящейся к периоду существования Боспорского царства. Среди огромной массы работ, посвященных истории жизнедеятельности греческих поселенцев на Тамани, можно выделить работы Г.П. Гарбузова А.А., Завойкина А.А. Масленникова, Я.М. Паромова [28, 29, 30] и др. исследователей, в которых приводится анализ поселенческой структуры, систем землепользования, межевания и т.д., нередко в зависимости от местных природных условий. Тем не менее, у археологов нет единого мнения не только на особенности освоения данной территории, но и о местоположении исторических городов в античном Боспоре [24].

Ретроспективные реконструкции ландшафтной структуры Керченского и Таманского полуостровов на античный период опирались на анализ источниковой базы, посвященной изучению современных ландшафтов полуостровов и их компонентов [3, 22, 33, 34 и др.], так и многочисленным палеогеографическим изысканиям в этом регионе [5, 6, 15, 16, 19, 35 и др.]. В течение 6 лет выполнялись полевые маршрутные исследования с детальным крупномасштабным ландшафтным картографированием на модельных участках. В результате были составлены карты восстановленных ландшафтных комплексов на двух иерархических уровнях: для п-вов в масштабе 1:200000 (рис. 1) и для ряда ключевых участков в масштабе 1:25000. Одним из самых трудных аспектов работы было установление антропогенных нагрузок на ландшафтные комплексы и выявление степени их антропогенной трансформации. Для этого был выполнен на основе опубликованных материалов анализ античной поселенческой структуры и природопользования в зависимости от местных ландшафтных особенностей, а для ряда ключевых участков были составлены принципиальные схемы ландшафтно-хозяйственных систем того времени.

Важнейшей частью исследований служит применение ландшафтно-эдафического подхода при реконструкции ландшафтной структуры территорий в конкретные хроносрезы и составление карт условно-восстановленных (коренных) ПТК [23]. Основным элемент этих исследований составляет оценка эдафических свойств ПТК, реконструкция литогенной (геолого-геоморфологической) основы, составление эколого-динамических рядов коренных растительных сообществ и коренной растительности для основных типов ПТК и на этой базе реконструкция коренной ландшафтной структуры. Установление исходной геолого-геоморфологической основы необходимо и потому, что она является важнейшим фактором дифференциации ПТК. Условно

говоря, именно особенности литогенной основы, в том числе и рельеф, определяют теоретическое (иными словами, идеальное) распределение ПТК. Основные характеристики рельефа устанавливались, исходя из результатов дешифрирования гипсометрии разномасштабных топокарт, анализов геологического строения территории (по опубликованным и фондовым данным) и собственным данным глубоких раскопов и бурения. В результате были выявлены основные морфолитогенетические комплексы с морфометрическими показателями мезоформ рельефа.

При восстановлении исходного типа фитоценоза мы исходили из положения, что каждому фитоценозу соответствует определенный тип местообитания – участок территории с определенным сочетанием факторов и свойств, влияющих на произрастание растительных сообществ. Из огромного числа природных факторов, от которых зависит произрастание фитоценозов, были отобраны важнейшие: рельеф и местоположение, микроклиматические особенности ПТК, трофность (плодородие) субстрата, характер увлажнения и степень увлажненности. При этом осуществлялась их комплексная оценка с привлечением аналитических материалов. Зная природные свойства ПТК, можно установить его основные эдафические свойства (конкретный эдафотоп) и, соответственно, исходный тип растительности, наиболее полно соответствующий этим свойствам и предвидеть сукцессионные смены современных фитоценозов. Выявление и изучение на местности эволюционных рядов ландшафтов и их морфологических единиц дают возможность через пространственные смены восстанавливать этапы их развития.

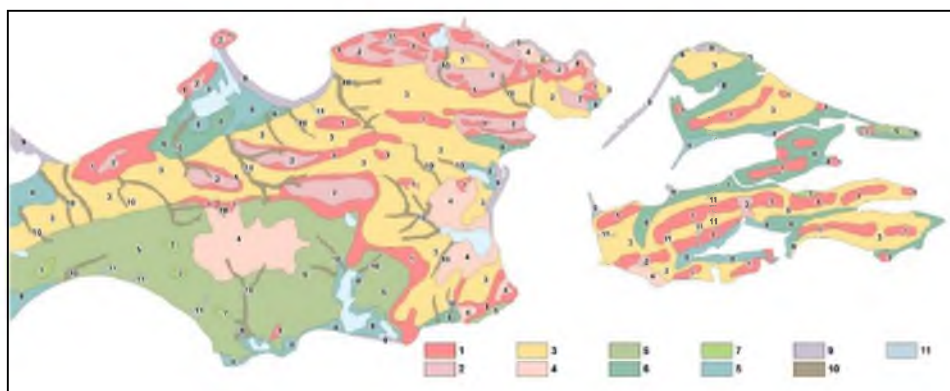


Рис. 1. Ландшафтная карта условно восстановленных ландшафтных комплексов – античный период (ранг ландшафтных комплексов – местности и группы урочищ), масштаб 1: 200 000

1. Холмисто-грядовые возвышенности (денудационно-структурные гряды и холмы) с относительной высотой от 40 до 160 м с ковыльно-типчаковыми и петрофитными степями. 2. Днища денудационных котловин (20-40 м над урезом моря) с полынно-житняковыми, полынно-типчаковыми и ковыльно-типчаковыми степями. 3. Морские пластовые равнины с маломощным покровом делювия, относительно повышенные (30-100 м над урезом моря) с полынно-житняковыми и ковылково-типчаковыми степями. 4. Денудационные пологоволнистые равнины с маломощным покровом делювия с полынно-типчаковыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными лугами и с ковыльно-типчаковыми и разнотравно-типчаковыми степями. 5.

Абразионные пологоволнистые пониженные равнины с мощным покровом элюво-делювия (30-90м над урезом моря) с полынно-типчakovыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными лугами. 6. Аллювиально-делювиальные плоские и пологонаклонные равнины относительно пониженные (20-25 м над урезом моря) с ковыльно-типчakovыми и ковыльно-разнотравными степями в комплексе с петрофитными степями. 7. Грязевые сопки и вулканы с ковыльно-типчakovыми и петрофитными степями. 8. Суффозионно-дефляционные западины с солончаками и галофитными лугами. 9. Аллювиально-морские, лиманные и лагунные низменные равнины (0-2 м над урезом моря) с галофитными лугами и в комплексе с полынно-житняковыми степями. 10. Приморские косы, пересыпи и пляжи с галофитными лугами в комплексе с сообществами псаммофитов. 11. Долины ручьев (с пересыхающими водотоками) балочного типа с ковыльно-типчakovыми и лугово-разнотравными степями. 12. Балки, овражистые балки и овраги с ковыльно-типчakovыми и кустарниково-разнотравными степями.

По историческим сведениям, и многочисленным реконструкциям Керченский полуостров в VI веке до н.э. существовал примерно в современных границах, в то время как Таманский представлял собой архипелаг из группы островов [35, 19, 1]. Главными островами были: Киммерийский остров (северо-западная часть Таманского п-ова – современный Фонталовский полуостров), Фанагорийский остров, остров Синдика и небольшие по размерам острова Голубицкий и Кандаур. Позднее главная водная артерия этой территории Пракубань наносами своих протоков и русел соединила острова в один полуостров [30].

На начальном этапе греческой колонизации Керченский пролив и Азовское море, которое называли тогда Меотидой или Меотским болотом, зимой полностью замерзали. Интересно описание климата этих мест у Страбона: «Вся страна вплоть до приморских областей между Борисфеном и устьем Меотиды отличается суровыми зимами. ... Морской путь из Пантикапея и в Фанагорию становится доступным для повозок, так что это не только морское путешествие, но сухопутное» [32, стр. 281] и «...во время морозов Меотиды замерзает, так что по льду можно ходить пешком» [32, стр. 469]. Об этом же сообщает и Геродот: «Море здесь и весь Боспор Киммерийский замерзает так, что скифы... выступают в поход по льду и на своих повозках переезжают на ту сторону до земли синдов. Такие холода продолжаются в тех странах сплошь восемь месяцев, да и остальные четыре месяца не тепло» [29, стр. 194].

Палеорекострукции климата и растительности в многочисленных публикациях Болиховской Н.С. с соавторами [5, 6] и Горлова Ю.В. [15] с соавторами показывают, что в античное время в период от 2500 до 1500 л.н. (V в. до н.э. - V в. н.э.) развитие господствовавших в начале и в конце этого тысячелетия на территории п-овов разнотравно-злаковых и полынно-маревых степей прерывалось фазами более влажного климата, сопровождавшегося здесь сначала расширением площадей лесостепной растительности, а затем и широким распространением широколиственных лесов в доминировавших лесостепных ландшафтах.

Формирование ландшафтов Керченского и Таманского п-ов и их морфологической структуры имело сходную историю, обусловленную в первую очередь развитием литогенной (геолого-геоморфологической) основы. Постоянные морские трансгрессии и регрессии, активные неотектонические

движения, проявления грязевого вулканизма нашли отражение в структуре и динамике как современных ландшафтов, так и ландшафтов античного времени, предопределяя их природные особенности и тенденции развития. Структурную основу современных ландшафтов составляют пологосклонные равнины и долины синклинального происхождения, ориентированные в широтном направлении, а также разделяющие их мягко очерченные и невысокие, до 100 – 150 м, антиклинальные гряды, осложненные холмами и грязевыми вулканами, что подчеркивается в работе Нагалева Ю.А. и Чистякова В.И. [22]. По морфогенетическому строению с учётом литологических и почвенно-растительных особенностей в пределах п-ов можно выделить пять основных типов ландшафтных местностей [34]: приморский холмисто-грядовый, пойменный, лиманно-плавневый, приморский склоновый и пляжно-аквальный. Подобная структура представляется очень устойчивой и просуществовала с античного по настоящее время.

В ландшафтной структуре полуостровов преобладает и определяет физиономичный облик приморский холмисто-грядовый тип местности – к нему приурочены грязевые вулканы, а также все основные поселения. Основную ландшафтную доминанту составляет полого-холмистая равнина с уклонами редко превышающими 5 градусов и относительными высотами от 20 до 90 м. В связи со значительной засушливостью территории, реки отсутствуют, а грунтовые воды залегают глубоко, что являлось существенным лимитирующим фактором для занятия земледелием в античное время. По-видимому, проблема решалась в прошлом созданием на основе временных водотоков искусственных водоемов для орошения. В настоящее время они заняты преимущественно виноградниками, с каждым годом расширяющими свои границы. Наиболее благоприятными для земледелия были ландшафтные комплексы пологосклонных равнин и долин синклинального происхождения с близким залеганием водоносных горизонтов и наличием выходов грунтовых вод. Такие условия были и более благоприятными для устройства постоянных искусственных водоемов [26]. Многочисленными субдоминантными урочищами являются небольшие мелкие соленые озера, солонцы и солончаки.

Необычайно живописными являются ландшафтные комплексы грязевых вулканов, которые местное население называет также грязевыми сопками, гнилыми горами и даже блеваками. Возраст некоторых из ныне действующих вулканов составляет 12-18 млн. лет. Грязевой вулканизм генетически связан с новейшими и современными тектоническими движениями и сейчас отмечается период новой фазы активизации грязе-вулканической деятельности. Выделяют два основных морфогенетических типа грязевых вулканов: 1) конусовидные грязевые вулканы и 2) плоские сопочные поля. Встречаются также грязевые сопки небольшого размера с самостоятельными центрами извержения. Конусовидные грязевые вулканы имеют форму правильных усеченных конусов и нередко представляют собой крупные возвышенности [4]. Конусы грязевых вулканов, как правило, расчленены густой и глубокой радиальной расходящейся овражно-балочной сетью.

Значительные площади полуостровов заняты специфическими аквальными и гидроморфными ландшафтными комплексами лиманов и плавней. От моря они, особенно на Таманском п-ве, отделены узкими песчаными косами или пересыпями.

Длительное, практически непрерывное, и интенсивное хозяйственное использование привело к сильнейшей антропогенной трансформации ландшафтной структуры п-вов – антропогенно-трансформированными являются большинство ландшафтных комплексов локального уровня. Густая сеть поселений в античное время привело к развитию селитебных (городских и сельских), агроландшафтных, включая мелиорированные, и дорожных комплексов. Не осталось естественной сухо-разнотравно-степной растительности – территория занята виноградниками, пашенными или пастбищными агрофитоценозами. Естественную растительность можно найти только по крутым склонам сопок, по днищам круто-врезанных эрозионных форм, солончакам и приморским обрывистым берегам [25]. В связи с интенсивной вырубкой местных лесов и вывозом тысяч кубов древесины в обезлесенную Грецию в IV веке до н.э. основные города Боспора испытывали недостаток в лесе [2].

Уникальными рукотворными ландшафтными комплексами античного времени являются оборонительные валы. Так, например, вал длиной около 40 км тянется от центра Таманского залива по его дну около 20 км на северо-восток и в виде наземной части длиной 20 км продолжается дальше на северо-восток до селения Пересыпь. Археолог В.В. Веселов [34]. предположил, что это был судоходный канал для прохода к порту Фанагория судов в условия мелеющего Таманского залива и лиманов. Некоторые валы были построены ещё киммерийцами, для защиты своего государства от набегов других кочевников в самом начале железного века, другие валы были построены позже древними греками-колонистами в античное время [21].

Ландшафтная структура Керченского и Таманского п-вов определяется, в первую очередь, их литогенным каркасом, послужившем основой формирования ландшафтных комплексов на ландшафтно-местностном иерархическом уровне с однотипными природными свойствами. На Керченском п-ве морфологическая структура ландшафтов довольно устойчива на протяжении двух с половиной тысячелетий и не претерпела существенных изменений, в отличие от ландшафтов Таманского п-ва, который в начале греческой колонизации представлял архипелаг из крупных и мелких островов. Длительное и интенсивное хозяйственное освоение их территории уже в античное время привело к сильнейшей антропогенной трансформации большинства ландшафтных комплексов локального уровня.

Работа выполнена по Госзаданию: № ЦИТИС: 121051300176-1

Литература

1. *Азбунов М.В.* Античная география Северного Причерноморья. М.: Наука, 1992. 240 с.
2. *Алтухов М.Д., Литвинская С.А.* Охрана растительного мира на Северо-Западном Кавказе. Краснодар, 1989. 188 с.
3. *Багрова Л.А., Боков В. А., Багров Н. В.* География Крыма: учеб. пособие. Киев: Лыбидь, 2001. 304 с
4. *Благоволлин Н.С., Шевченко В.К.* Магматические тела и проблема денудационного среза // Геоморфология. 1977. № 1. С. 27-37.
5. *Болиховская Н.С., Горлов Ю.В., Поротов А.В.* Эколого-палеогеографические условия Таманского полуострова в античную эпоху и предшествующие периоды голоцена // Материалы I Международного семинара «Пыльца как индикатор

- состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции. СПб., 2001. С. 33-36.
6. *Болыховская Н.С., Поротов А.В., Кайтамба М.Д., Фаустов С.С.* Развитие природной среды и климата на территории черноморской дельты Кубани в последние 7 тысяч лет // Вестн. Моск. ун-та. Серия. 5. География. 2014. № 1. С. 64-74.
 7. *Веселов В.В.* О «киммерийском вале» на Таманском полуострове // Советская археология, 1957. № 3. С. 252-254.
 8. *Виноградов Ю.А.* К проблеме полисов в районе Боспора Киммерийского // Античный мир и археология. Саратов. 1993. Вып. 9. С. 79-96.
 9. *Гарбузов Г.П.* Районирование античных агроландшафтов Таманского полуострова // Древности Боспора. 2009. № 13. С. 123-140.
 10. *Гарбузов Г.П.* Землепользование // Античное наследие Кубани. Т. 2. М.: Наука, 2010. С. 236-255.
 11. *Гарбузов Г.П.* Влияние плодородия почв на пространственное распределение античных поселений европейского Боспора // Проблемы истории, филологии, культуры. 2015. №1 (47). 344-353.
 12. *Гарбузов Г.П., Завойкин А.А., Масленников А.А., Смекалов С.Л.* Сельская территория Европейского и Азиатского Боспора в эпоху спартакоидов (введение в тему) // Проблемы истории, филологии, культуры. 2013. № 4(42). С. 88-105.
 13. Геродот История в девяти книгах. Пер. и прим. Г.А. Стратановского. Ленинград: Наука. 1972. 600 с.
 14. *Горлов Ю.В., Лопанов Ю.А.* Древнейшая система мелиорации на Таманском полуострове // Вестник древней истории. 1995. № 3. С. 121-137.
 15. *Горлов Ю.В., Поротов А.В., Янина Т.А., Фуаш Э., Мюллер К.* К вопросу об историко-географической ситуации на Таманском полуострове в период греческой колонизации // ПИФК. 2002. Т. XII. С. 248-256.
 16. *Дикарёв В.А.* Динамика берегов Таманского и Керченского полуостровов в условиях изменения уровня моря // Экосистемы: экология и динамика. 2018. Том 2, № 4. С. 61-74.
 17. *Добровольская Е.В.* Археологические особенности Фанагории: скотоводство и охота // Фанагория. Результаты археологических исследований. Т. 1. Москва: Институт археологии РАН. 2013. С. 192- 205.
 18. *Завойкин А. А., Масленников А. А.* 2006: Специфика освоения сельских территорий Восточного Крыма и Таманского полуострова в VI–V вв. до н. э. // Боспорские чтения. Керчь: Центр археологических исследований БФ "Деметра". 2006. Вып. VII. 110–128.
 19. *Зубарев В.Г.* Историческая география Северного Причерноморья по данным античной письменной традиции. М.: Языки славянской культуры, 2005. 504 с.
 20. *Кругликова И.Т.* Сельское хозяйство Боспора. М.: Наука. 1975. 300 с.
 21. *Масленников А.А.* Еще раз о боспорских валах // СА. 2003. № 3. С. 14-22.
 22. *Нагалеvский Ю.Я., Чистяков В.И.* Физическая география Краснодарского края. Краснодар: «Северный Кавказ». 2003. 256 с.
 23. *Низовцев В.А.* Антропогенный ландшафтогенез – методы и результаты исследований // Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 196-213.
 24. *Низовцев В.А., Нагорная Е.Г., Эрман Н.М.* Ландшафтно-исторические исследования развития поселенческой структуры античной Тамани // «Геология, геоэкология, эволюционная география». Том XIV. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена. 2015. С. 273-277.
 25. *Низовцев В.А., Эрман Н.М., Нагорная Е.Г., Харламова Т.О.* Особенности ландшафтопользования античной Тамани // Экология речных бассейнов: Труды 8-й Международной науч.-практ. конф. Владимир: Аркаим. 2016. С. 149-153.

26. Низовцев В.А., Эрман Н.М. Ландшафтные особенности античного природопользования на северо-западном Кавказе // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2017. Т.35, № 2. С. 60-67.
27. Одрин А.В. Некоторые итоги и перспективы изучения зернового хозяйства Боспора // Боспорский феномен. Греки и варвары на Евразийском перекрёстке: Материалы международной научной конференции. СПб.: Нестор-История. 2013. С. 718-722.
28. Паромов, Я.М. Главные дороги Таманского полуострова в античное время // Древности Боспора. М. 1998, № 1. С. 216-225.
29. Паромов Я.М. О земельных наделах античного времени на Таманском полуострове // Археологические вести, 2000. №7. С. 309-318.
30. Паромов Я.М. Таманский полуостров в раннеантичное время (VI-V вв. до н.э.) // Древности Боспора. М. 2006. Т. 10. С. 386.
31. Прокопенко С.Н. Развитие хоры городов Боспора в VI–I-й четверти III в. до н.э. Автореф. Дисс. на соиск. уч. степени канд. истор наук. Иваново. 2008. 23 с.
32. Страбон. География. Пер., ст. и коммент. Г.А. Стратановского. М.: Наука. 1994. 792 с.
33. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий: Монография // Научный редактор Е.А. Позаченюк. – Симферополь, Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
34. Щепак Н.В., Михно В.Б. Анализ современной ландшафтной структуры таманского полуострова // Ландшафтно-экологическое состояние регионов России. Воронеж: Истоки, 2015. С. 268-273.
35. Kelterbaum D., Bruckner H., Porotov A., Schlotzhauer U., Zhuravlev D. Sea-level changes in the Black Sea and their impact on the palaeogeography of the Taman Peninsula (SW Russia) during the Greek colonization of the 1st millenium BC//IGCP52I – INQUA 0501 Fifth Plenary meeteng and field trip. Extended Abstr. Izmir.: Deu Publishing house, 2009.

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИДОВ БОРЩЕВИКОВ ДЛЯ ИХ ИНТРОДУКЦИИ В СССР (1930-1940-Е ГГ.)

© Н.А. Озерова

ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва

Аннотация. В статье рассмотрены исторические предпосылки и результаты исследований видов борщевиков с целью их последующего введения в культуру, проводившиеся в СССР в 1940-е гг. Главным образом, рассмотрен начальный этап в истории интродукции кавказского вида — борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskiy*), а также исследования борщевика рассеченного (*H. dissectum*), предложение по хозяйственному использованию борщевика Лескова (*H. leskovii*).

Ключевые слова: история интродукции, СССР, борщевики, *Heracleum sosnowskiy*, *Heracleum dissectum*, *Heracleum leskovii*.

Предпосылки для поиска и исследований новых кормовых культур в СССР

В декабре 1925 г. в Советском Союзе на XIV съезде ВКП(б) была принята программа индустриализации [16]. Инструментом решения продовольственной проблемы и отчасти вопроса нехватки рабочих рук в связи с началом индустриализации стала новая аграрная политика, проводившаяся с конца 1920-х гг. Ее цель заключалась в резком повышении товарности сельскохозяйственного производства за счет изменения его организационных форм путем насильственного насаждения колхозов, строительства крупных государственных хозяйств — совхозов, организации машинно-тракторных станций при одновременной ликвидации мелкого крестьянского производства как низкотоварного [16, с. 41]. В результате проведения сплошной коллективизации, завершившейся в важнейших сельскохозяйственных районах к началу 1932 г., стало возможно общегосударственное планирование сельскохозяйственного производства [14, с. 230-231]. Помощником в повышении производительности аграрного сектора стала советская сельскохозяйственная наука, которая, несмотря на идеологические крайности, оказалась готова к новым вызовам. Например, в СССР с 1930-х гг. в связи с необходимостью развития животноводства были организованы исследования, направленные на поиск новых продуктивных фуражных культур. Так, активно проводились опыты по введению в культуру так называемой «синецветной» люцерны родом из Тянь-Шаня [12, л. 42] или опыты по силосованию с помощью химических консервантов [23, с. 6-7].

С введением новых форм сельхозпроизводства государство забирало себе в счет заготовок большую часть произведенной продукции, которой можно было снабжать население, занятое в индустриализации. Однако на большие расстояния можно было перевозить только долго хранящиеся продукты, такие как зерно, растительное и животное масло или некоторые овощи. Особое значение организация сельскохозяйственного производства имела для заполярья, включая Мурманскую область, где были обнаружены огромные запасы минеральных ресурсов, необходимых для индустриализации. За период 1928-1940 гг. население здесь увеличилось почти в 30 раз, было открыто больше

60 промышленных предприятий во главе с такими гигантами, как рыбная промышленность Мурманска, апатитовая промышленность Кировска, медно-никелевые разработки и завод в Мончегорске и др. [7, л. 1].

Научные основы сельского хозяйства в заполярье были заложены еще в 1921 г., когда вблизи железнодорожной станции Хибины был создан сельскохозяйственный опорный пункт. В 1931 г. он был преобразован в Полярную станцию Всесоюзного института растениеводства (ВИР) и передан под контроль ВИР [22]. Данное учреждение должно было обеспечить быстро растущее население продуктами питания, которые невозможно было систематически поставлять по железной дороге. В первую очередь, это были свежие молочные и овощные продукты, богатые витаминами, способные обеспечить «противоцинготную» профилактику организма человека [22]. К 1931 г. Полярная станция ВИР достигла больших результатов, и на ее базе был заложен первый полярный совхоз «Индустрия» [7, л. 1]. С момента организации он был превращен в большую лабораторию, где проводились опыты общегосударственного значения [17, с. 5]. Это предприятие, как и другие, созданные в Заполярье буквально на пустом месте, не имело аналогов в СССР.

До начала 1940-х гг. колхозы и совхозы были практически единственными производителями сельскохозяйственной продукции в СССР. 7 сентября 1940 г. было принято постановление «Об организации подсобных хозяйств огородно-овощного и животноводческого направления на предприятиях в городах и сельской местности», которым СНК СССР и ЦК СССР ВКП (б) обязали директоров предприятий и местных советских органов создавать подсобные хозяйства для обеспечения заводских столовых продуктами питания [14, с. 236-237].

Большое значение имела также архитектурная концепция социалистического рабочего поселка, получившей развитие в СССР с 1920-х гг., согласно которой соцпоселок возводился для обслуживания производства. В нем, помимо жилых кварталов, для достижения важной градостроительной задачи – создания условий, необходимых для восстановления производительных сил и обеспечения нормального функционирования нового трудового дня, – предусматривалось создание специальной зоны, где на озелененных участках располагались школы, детские сады, больницы, спортивные учреждения [19]. Для средней полосы и южных районов СССР выбор растений для «зеленого строительства» был значительным, но озеленение поселков за полярным кругом представляло фундаментальную проблему.

Организация Полярно-Альпийского ботанического сада

Условия недавно построенного г. Кировска, окруженного северо-таежными лесами и горной тундрой, оптимальны для развития оленеводства. Они отличаются от ландшафтов средней полосы СССР, привычных для большинства переезжавших в Хибины пролетариев, и довольно суровы для развития зернового хозяйства, огородничества, молочного животноводства, выращивания декоративных растений. Создание устойчивых цветников в Мурманской области стало «политической задачей, ибо легко понять, какое влияние на психологию и настроение человека оказывали хорошие цветы на фоне внешне суровой природы Крайнего Севера» [7, л. 1]. 5 октября 1931 г. было вынесено решение общего собрания АН СССР об организации при

Хибинской горной станции Полярно-альпийского ботанического сада [20, с. 3]. Инициатором его создания и первым директором был Н.А. Аврорин.

Полярно-Альпийский ботанический сад стал самым северным в мире и единственным, расположенным в полярных широтах. Он находится в 120 км к северу от Полярного круга на склоне горы Вудъявочорр на высоте от 310 до 1060 м. Вегетационный период в этой местности длится от 2,5 до 3,5 месяцев, из которых в течение более месяца стоят белые ночи. Нет ни одного месяца в году, гарантированного от утренних заморозков, но мощный снеговой покров в долинах Хибин (до 2 м) и отсутствие на Кольском полуострове вечной мерзлоты являются благоприятными факторами для растений [7, л. 2].

Основные цели организации сада заключались в изучении и инвентаризации флоры Крайнего Севера, а также в создании питомников для селекционной работы и введения в культуру хозяйственно ценных растений. В саду была создана лаборатория интродукции и акклиматизации растений и дендрологии, организованы почвенно-геоботанический отдел, отдел споровых растений, биоценологический отдел, парк и музей. В 1933 г. была построена первая теплица и освоено выращивание культурных однолетников и комнатных растений. Одновременно велись работы по испытанию многолетних декоративных растений открытого грунта. В дальнейшем это новое направление работ оформилось в лабораторию декоративного садоводства и озеленения [20, с. 9-11].

В июле 1932 г. в Полярно-альпийский ботанический сад из Ботанического института АН СССР было доставлено в ящиках и высажено 26 кустарников и более 50 видов трав [20, с. 30], включая борщевики (*Heracleum*) [13, с. 115]. Все они легли в основу уникальных коллекций [15, с. 110] и интродукционных исследований [20, с. 30]. С течением времени коллекции живых растений пополнялись. Известно, что борщевик Сосновского появился в Полярно-Альпийском ботаническом саду в 1939 г. и происходил из дикорастущих семян, собранных в высокотравье горно-лесного и субальпийского пояса в окрестностях г. Нальчика [1, с. 90].

Организация исследований по изучению новых кормовых растений для внедрения в сельскохозяйственное производство

9 октября 1938 г. на рассмотрение академика В.Л. Комарова поступила записка заведующего Бюро интродукций растений во Всесоюзном институте прикладной ботаники и новых культур А.К. Коля «О необходимости развернуть в системе Академии Наук СССР интродукцию новых культур для развития производительных сил СССР», в которой утверждалось, что интродукция «не только в состоянии радикально изменить на ближайшие пятилетки распределение посевных площадей, производимое Наркомземом, но и реконструировать и значительно обогатить сырьевую базу предприятий Наркомпищепрома, чрезвычайно усовершенствовать и обогатить сырьевую базу предприятий Наркомлегпрома, внести существенные изменения в обслуживаемые железнодорожным и водным транспортом грузопотоки страны, снабдить внутреннюю и внешнюю торговлю различных частей Союза большим разнообразием новых ценных объектов торговли, произвести ряд видоизменений в планах финансовых поступлений Наркомфина, укрепить обороноспособность ряда окраин и центра, обеспечивая части Союза своим

местным сырьем» [11, л. 1-1об.]. По мнению А.К. Коля, научным координатором интродукции должна была стать Академия наук СССР. Среди мер, предложенных к внедрению автором записки, — создание «Интродукционного аппарата Академии Наук», в котором предполагалось учредить «А. Добывающую группу», занимающуюся по большей части теоретическими изысканиями, и «Б. Использующую группу». В состав последней среди прочего должна была войти «Секция сети и интродукционных участков, расположенных в десяти основных зонах Союза, и сети колхозников-интродукторов» [11, л. 3].

По-видимому, данная записка не осталась без внимания, т.к. уже «с 1938 г. на Кольской базе Академии наук была организована кормовая группа, которая призвана развивать в широком масштабе небольшой опыт Сада по интродукции перспективных в кормовом отношении дикорастущих растений, главным образом, бобовых» [7, л. 12], «полученные из горных районов Армении, из Перми и Томска» [6, л. 71]. В 1939 г. сотрудниками Полярно-Альпийского ботанического сада Б.А. Вартапетяном, Н.А. Миняевым и Б.А. Мишкиным был «предварительно выделен ряд экологических типов по степени приспособленности их к среде из донников, клеверов, люцерн» [6, л. 71]. Также было установлено, что злаки (виды костра, пырея и др.) исключительно перспективны для интродукции в Мурманской области [6, л. 71]. С 1938 по 1940 гг. в Полярно-Альпийском ботаническом саду из кормовых культур «успешно росли» галега восточная, гедизарумы, некоторые клевера и вики [7, л. 12]. В первой половине 1941 г. к испытанию на коллекционном питомнике было привлечено уже «около 400 №№ различных бобовых растений со всех концов СССР и всех стран мира. Такое зональное разнообразие и комплексный подход к расширению этой проблемы позволил ... в один вегетационный период выделить перспективные культуры бобовых и выйти с ними в полупроизводственные условия (колхозы и совхозы Мурманской области)» [8, л. 6].

22 июня 1941 г. началась Великая Отечественная война. В период с 22 июня по 15 августа 1941 г. план научно-исследовательских работ был сильно сокращен и изменен [8, л. 33]. 15 августа 1941 г. Кольская база Академии наук, оказавшаяся в опасной близости от линии фронта, была эвакуирована из Кировска Мурманской области в г. Сыктывкар Коми АССР и 3 декабря юридически объединена с Северной базой «в одну базу Академии Наук СССР по изучению Севера со стационарами в гг. Кировске и Архангельске» [8, л. 3]. Чтобы сохранить ботанический сад, его коллекции живых растений, вместе с Н.А. Аврориным добровольно отказались от эвакуации Л.И. Качурина, Б.А. Мишкин, А.Я. Мирошкина [20, с. 12], с которыми остались еще 6 человек хозяйственно-обслуживающего персонала [8, л. 34].

Поскольку во второй половине 1941 г. работа с многолетними бобовыми растениями в Полярно-Альпийском ботаническом саду протекала в условиях прифронтовой полосы, было принято решение с 1942 г. прекратить эти исследования [8, л. 46 об.].

При саде в годы войны существовало подсобное хозяйство, в котором, вероятно, от бескормицы, с 1942 г. стали успешно кормить коров силосом, приготовленным из борщевиков и гречихи Вейриха [5, л. 72; 13, с. 114-115], впервые в сельскохозяйственной практике СССР освоив силосование этих гигантских многолетних трав [20, с. 12]. Эти работы не были плановыми и поэтому долгое время не находили отражения в отчетных документах.

Исследования по поиску новых силосных растений, перспективных для Мурманской области

В послевоенное время посевы кормовых корнеплодов и заготовка силоса в колхозах и совхозах Мурманской области менее, чем наполовину удовлетворяли потребности животноводства. Опыты по использованию южных растений на силос (подсолнечник, люпин), предпринимавшиеся в ПОВИРе, совхозах «Индустрия» и «Мурманск», были признаны неудачными [20, с. 12]. Чтобы получить зеленую массу на силос, хозяйственники производили специальные посевы овса, использовали отходы овощеводства (картофельную ботву), морские водоросли, молодую березовую ветку [цит. по: 10, л. 24-25].

Уже имея некоторый опыт силосования многолетних трав, сотрудники ботанического сада занялись подбором и селекцией многолетних силосных культур для Мурманской области [10, л. 24-25]. Их начинания «решительно поддержал секретарь Обкома ВКП(б) тов. А.М. Кутырев, и уже в начале 1947 г. в решении бюро Обкома ВКП(б) — «О работе Кольской базы» — указывалась необходимость создания силосных растений для Мурманской области» [10, л. 24-25].

В 1947 г. младший научный сотрудник Кольского филиала АН СССР, в прошлом — главный агроном и директор совхоза «Индустрия» А.А. Марченко [17, с. 77], которому помогала Л.М. Кобозева, продолжили исследования, начатые летом 1946 г., когда «на питомнике Ботанического сада ... были отобраны 12 видов многолетних растений, которые по внешнему виду: мощности роста, кустистости, облиственности и т.д. ... представляли практический интерес как возможные кандидаты для создания многолетних силосных культур. Нами изучались их хозяйственно-полезные признаки: урожайность, морозостойкость, состав питательных веществ зеленой массы и силоса, развитие этих растений в полевых условиях» [10, л. 25-26]. Все растения были высажены «на двух почвенных фонах: минеральном и болотном, в два срока — осенью и весной» [9, л. 541]. Из них в 1947 г. было отмечены «три диких вида растений, наиболее перспективных как силосные для Мурманской области: борщевик — *Heracleum dissectum*; вика заборная — *Vicia sepium*; копеечник — *Hedysarum elongatum*» [10, л. 542]. Осенью того же года указанные виды были высеяны на площади более 400 м² для дальнейшего испытания и размножения, а «Л.Я. Аврорина отобрала для химического анализа 25 проб 15 видов растений, определила первоначальную влажность их и приготовила 22 вида силоса с целью определения питательных веществ в зеленой массе и в силосе» [10, л. 543].

В 1948 г. исследования были продолжены: производились фенологические наблюдения, учет урожая зеленой массы борщевиков, анализ химического состава борщевиков, гречихи Вейриха и многолетних вики; разрабатывались агротехнические приемы возделывания и испытывались разные сроки укоса зеленой массы. В результате летних наблюдений над борщевиками были сделаны выводы, что:

1. Борщевики на второй год жизни дают урожай зеленой массы на силос в 4-5 раз больше, чем турнепс и овес. Их урожайность достигает 70-80 т/га.

2. Силос, приготовленный из борщевиков в лабораторных условиях, согласно лабораторным исследованиям, по своему химическому составу не уступает овсу и турнепсу.

3. Борщевики «не содержат в себе, по нашим анализам, а также данным, опубликованным в литературе, вредных для организма животных алкалоидных веществ. Зеленая масса и силос ... охотно поедаются скотом, заметно увеличивают удой молока и совершенно безвредны для скота» [4, л. 534].

4. Разработаны основные приемы по агротехнике борщевика, среди которых — сроки посева (конец августа — 10 сентября), условия хранения (влажное место, необходима стратификация), способ посева (квадратно-гнездовой — 40х40 см, по 4-5 семечек в одно гнездо на глубину 1,0-1,5 см), сроки подкормки (первая после появления всходов — на 1 га суперфосфата 400 кг, селитры 300 кг и калийной соли 150-200 кг; вторая подкормка производится после снятия урожая зеленой массы). Отмечено, что в семена «борщевика рассеченного» созревают хорошо, а семена «борщевика пушистого» созревают только в теплые годы [4, л. 534-535].

По итогам исследований 1949 г. в качестве новых силосных растений А.А. Марченко рекомендовал два вида борщевиков: «*Heracleum pubescens*» с Северного Кавказа и «*Heracleum dissectum*», произрастающий «в Восточной и Западной Сибири, Алмаатинской, Джанбульской и Южно-Казахстанской областях» [10, л. 26-27]. Оба вида ранее не были известны в культуре. О первом виде А.А. Марченко сообщал, что он «условиях Ботанического сада вырастает до 2-х м высоты и развивает сочную зеленую листву. Вес зеленой массы одного растения достигает 3-10 кг. Урожай зеленой массы на второй год жизни достигает 60-70 т с га, на третий год жизни урожай увеличивается до 80-100 т; урожай сырой массы в 4-5 раз выше, чем у овса и турнепса. Он хорошо зимует и, как показывают наши наблюдения, не боится совершенно заморозков. Заморозки минус 5-6° не действуют губительно на стебли и ботву борщевика. Плодоношение наступает на 3-й год посева. Семена хорошо созревают в условиях Ботанического сада. Поэтому семеноводство вполне возможно в любом хозяйстве Мурманской области. Кормовые качества изученного нами вида борщевика хорошие — полное отсутствие алкалоидных веществ. Химический анализ зеленой массы показывает, что по питательности он не уступает овсу и турнепсу в сыром виде. Силос, приготовленный из борщевика, имеет приятный запах свежих огурцов. Скот охотно поедает борщевик как в свежем, так и в силосованном виде» [10, л. 26].

Второй вид, «*Heracleum dissectum* ... По своим хозяйственным качествам, созреванию семян, содержанию питательных веществ (белка и сахаров) ... значительно лучше, чем Кавказский борщевик. Но основной его недостаток, по сравнению с первым, заключается в том, что он медленнее растет, и на 2-й год после посева дает урожай зеленой массы значительно ниже 30-40 тонн с гектара, тогда как кавказский борщевик дает 70 тонн» [10, л. 27]. Осенью 1949 г. были произведены опытные посевы «борщевиков и гречихи Вейриха, отобранных ботаническим садом базы, в колхозах и совхозах Кольского, Кировского и Кандалакшского районов области, на общей площади 12 гектаров, обеспечив заготовку семян на Кавказе и Сахалине» [5, л. 91].

В связи с этим в августе 1949 г. А.А. Марченко отправился в кратковременную научную командировку на Северный Кавказ в Нальчикский район Кабардинской республики, откуда происходил культивировавшийся борщевик. В ходе поездки он составил подробное описание мест произрастания «борщевика пушистого» и его хозяйственного использования местным населением: «Изучая места Лысой горы, ущелья Адыр-Су, селения Кенеж, где

растут в природных условиях борщевика, мы сделали ряд интересных наблюдений над этими растениями и установили, что большие заросли борщевика от 0,5 га до 1 гектара встречаются главным образом в горном поясе на высоте 1000-1100 м над уровнем моря. Борщевик растет и небольшими группами по берегам речек, арыков на каналах и, как исключение, встречается на полях отдельными растениями. В конце июля или в начале августа растения заканчивают свой рост, их листья стареют и становятся желто-зеленого цвета, стебли деревенеют и достигают у отдельных экземпляров выше корневой шейки до 5 см толщины. Зрелые семена осыпаются и разносятся ветром. Борщевики отрастают рано весной в марте, апреле месяце, быстро выгоняют зеленую массу и уже в июне бывают совсем готовыми для кормового использования.

Городское население и колхозники-кабардинцы знают это растение и называют его по-своему — «вадз». От них мы получили интересные сведения о борщевике. По их рассказам, весной борщевика охотно поедаются скотом (коровами, овцами, козами), люди также употребляют молодые «пучки» борщевика, т.е. молодые нераспустившиеся соцветия, находящиеся в пазухе листьев.

Позже, в июле-августе, когда борщевик стареет и на кожице листьев и стеблей в волосках накапливает эфирные масла, которые вызывают ожоги кожи у человека, а у животных вздутие губы при съедании, за эту особенность кабардинцы называют борщевик «губадуем». Однако это поражение не вызывает заболевания животного, и скот, как нам приходилось видеть, поедает и старые листья борщевика, но с меньшим желанием, чем молодые. В селении Кенжи в колхозе им. Андреева колхозники рассказывали нам, что они заготавливают старые листья борщевика и силуют их на зиму» [10, л. 32-33].

Упомянув, что в естественных местах произрастания на Северном Кавказе борщевик вызывает ожоги, А.А. Марченко обратил внимание на то, что «борщевик *H. pubescens*, семена которого были получены из этих мест и посеяны в Полярном ботаническом саду, не вызывают ожогов кожи у человека и вздутие губ у животных» [10, л. 33]. Он объяснил это так: «По-видимому, борщевик так же, как и многие другие эфирноносные растения, при переселении их с юга на север, особенно в субарктических условиях, снижает способность накапливать эфирные масла. По-видимому, это свойство растений крайне изменяется под влиянием климатических условий» [10, л. 33].

В ходе командировки А.А. Марченко заготовил более 150 кг семян борщевика: «1. Недалеко от ст. Кетр по балкам у подножия холмов на высоте около 550-600 м. 2. Красная поляна Нальчикского района, меловой хребет, высота 1300-1400 м. 3. Нальчикский район, пос. Кенже, пойма речки Кетр, высота около 600 м. 4. За селением Кенже, высота 600-700 м», которые затем были разосланы в 4 колхоза, 2 совхоза и 1 подсобных хозяйства Мурманской области (рис. 1) для посева на опытных участках с целью «дать оценку новым силосным растениям как по урожаю, так и по качеству силоса и уточнить вопросы агротехники. Кроме того, опытные посевы должны послужить хозяйства как семенные участки для получения семян осенью 1952 г. в количестве, необходимом для производственных посевов в Мурманской области на площади 100 гектар» [10, л. 33].



Рис. 1. Интродукция борщевика Сосновского в Мурманской области в 1940-е гг.

2 декабря 1951 г. Отдел агробиологии Кольского филиала АН СССР провел областное совещание по кормовой проблеме в совхозе «Индустрия» с участием производственников, областных организаций и ПОВИРа, на котором с докладом с важными дополнениями по результатам своей научно-исследовательской работы с борщевиками выступил А.А. Марченко. Так, он уточнил, что «*Heracleum pubescens*» является монокарпиком и должен выращиваться вне севооборотов, и установил, что семена можно высевать весной, если выдержать их при температуре $-2+3^{\circ}\text{C}$ в течение 60-70 дней. Отметив, что «незначительное количество эфирных масел в листьях и стеблях, придающих им особый запах, почти полностью исчезает при силосовании» [2, л. 33-35], Марченко обратил внимание на важность селекционной работы, направленной на уменьшение содержания эфирных масел не только в листьях, но и в корнях, богатых крахмалом. В целом же, по мнению исследователя, «большое содержание питательных веществ в борщевиках и хорошая поедаемость силоса животными позволяет рекомендовать их как доброкачественные кормовые растения, а хозяйственно-полезные биологические особенности борщевиков делают возможным их возделывание в Мурманской области и других районах Крайнего Севера» [2, л. 34]. По итогам совещания борщевик был включен в сводный план опытных работ по кормовой проблеме Мурманской области на 1952-1955 гг. [2, л. 56-57].

Культивирование борщевика в качестве силосной культуры рассматривалось Мурманским Обкомом ВКП(б) как одно из важнейших достижений в сельском хозяйстве региона, поэтому в 1952 г. при подготовке несостоявшейся Всесоюзной сельскохозяйственной выставки (перенесена на 1954 г.) планировалось подготовить панно или коллаж, где были бы изображены «на переднем плане, на полях посевы клевера, картофеля, мощные растения борщевика», а под фотографией заведующего агробиологическим отделом, профессора, доктора биологических наук З.И. Журбицкого разместить надпись: «Дана агротехника клевера и новой силосной культуры борщевика пушистого, позволяющая внедрять эти культуры в посевы хозяйств области» [3, л. 2-4].

В 1952 г. А.А. Марченко завершил экспериментальную работу, проводившуюся в Кабардинской АССР и Мурманской области. Примерно в это

же время, на рубеже 1952 и 1953 гг., вскрылась ошибка, связанная с неверным определением «борщевика пушистого», который на самом деле оказался недавно описанным И.П. Манденовой новым видом — борщевиком Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Поэтому диссертация А.А. Марченко на соискание ученой степени кандидата биологических наук, которую он защитил в 1954 г., была посвящена борщевiku Сосновского [18]. В ней он обобщил и систематизировал свои наблюдения и выводы, которые ранее представлял в отчетах и докладах, процитированных выше. В работе А.А. Марченко борщевик Сосновского был рекомендован «как новое силосное растение для северных областей Союза ССР» [18, с. 17]. Именно «положительные результаты, полученные сотрудниками Полярно-Альпийского ботанического сада и отраженные в диссертации А.А. Марченко (1953) послужили основой для расширения дальнейшей интродукционной работы с борщевиком Сосновского в северных районах Европейской части СССР» [21].

В 1949 г., независимо от исследователей в Мурманской области, на борщевик Сосновского обратили внимание сотрудники Ботанического сада АН УССР. В 1949-1950 гг. во время экспедиций на Кавказ они собрали семена этого вида и борщевика Лескова в субальпийском высокотравье в Теберде и высадили в г. Киеве. Оба вида обильно зацвели в 1952 г., образовав зонтики диаметром 70-80 см и крупные «перисторассеченные, очень декоративные» листья. Растения были рекомендованы для посадок в качестве декоративных «одинокими экземплярами или для создания небольших групп на газонах, в парках, под легкой тенью деревьев» [24].

Литература

1. Аврорин Н.А. Переселение растения на полярный Север. Эколого-географический анализ. М.; Л.: АН СССР, 1956. 286 с.
2. АРАН. Ф. 188. Оп. 1-47-51. Д. 11.
3. АРАН. Ф. 188. Оп. 1-52. Д. 40.
4. АРАН. Ф. 188. Оп. 2. Д. 20.
5. АРАН. Ф. 188. Оп. 2. Д. 42.
6. АРАН. Ф. 188. Оп. 3. Д. 62.
7. АРАН. Ф. 188. Оп. 3. Д. 87.
8. АРАН. Ф. 188. Оп. 3. Д. 102.
9. АРАН. Ф. 188. Оп. 3. Д. 274.
10. АРАН. Ф. 188с. Оп. 1 (1949). Д. 19.
11. АРАН. Ф. 277. Оп. 3. Д. 46.
12. АРАН. Ф. 534. Оп. 1. Д. 47.
13. Бухарин П.Д. Биологические свойства и химический состав многолетних силосных растений в условиях Мурманской области // Новые кормо-силосные растения: Материалы 2-го Всесоюзного совещания-семинара по новым силосным растениям. Минск, 8-11 июня 1964 г. Минск, 1965. С. 113-118. С. 115.
14. Волков С.Н., Широкопад И.И. История землеустройства в России: опыт тысячелетия. М.: ГУЗ, 2011. 656 с.
15. Жиров В.К., Лукьянова Л.М. История становления и развития Полярно-Альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина // Вестник Кольского научного центра РАН. 2009. № 1. С. 110-112.
16. Колесников И.Н., Мельников В.В. Индустриализация в Советском Союзе: экономические аспекты // Социальная политика и социология. 2016. Т. 15. № 3 (116). С. 39-45. DOI 10.17922/2071-3665-2016-15-3-39-45.

17. *Марков И.С.* Ордена Трудового Красного знамени заполярный совхоз «Индустрия». М.: Гос. Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1955. 230 с.
18. *Марченко А.А.* Биологические особенности и кормовые достоинства борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.). Автореферат ... кандидата биологич. наук. Л., 1954. 17 с.
19. *Меерович М.Г.* Рождение и смерть города-сада: действующие лица и мотивы убийства // Вестник Евразии. 2007. № 1. С. 118-166.
20. Полярно-альпийский ботанический сад: Справочник. Л.: Наука, 1984. 92 с.
21. *Сандина И.Б.* Борщевик Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.). Автореферат ... кандидата биологич. наук. Л., 1959. 18 с.
22. *Травина С.Н.* Полярная опытная станция ВИР — северный форпост исследований картофеля // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 1. С. 139-145.
23. *Филимонова Л.М.* Качество молока, сыра, творога и ацидофилина при скормливании крупному рогатому скоту силоса, заготовленного с химическим консервантом «Вихер-раствор» и 30% борщевика Сосновского. Диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук. М., 1987. С. 6-7.
24. *Харкевич С.С.* Об использовании высокогорных растений Кавказа // Акклиматизация растений. Киев: Изд-во АН УССР, 1957. С. 3-19.

ВКЛАД ПРОФЕССОРА ВЯЧЕСЛАВА ГАВРИЛОВИЧА МЕЛКОВА В ИЗУЧЕНИЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

© И.Г. Печенкин, О.И. Якушина, И.Г. Луговская
ВИМС им. Н.М. Федоровского, Москва

Аннотация. Рассмотрена роль В.Г. Мелкова в исследовании урановых месторождений ранее неизвестного генетического типа в Кавказских Минеральных Водах, которые включали промышленные объекты Бештаугорское и Быкогорское. В ходе работ были не только открыты месторождения, но и осуществлены в рекордные сроки добыча и переработка руды, обусловленные высокой потребностью страны в уране. Кроме этого выявлены новые минералы (в частности, лермонтовит) и разработаны новые люминесцентные методы поисков, включая ночную люминесцентную съемку.

Ключевые слова: уран, Кавказские Минеральные Воды, Бештаугорское месторождение, Быкогорское месторождение, лермонтовит, люминесцентный метод.

Введение

Центральное место в развитии минерально-сырьевой базы (МСБ) урана занимали научно-исследовательские организации, проводившие исследования, направленные на детальное изучение урановых месторождений, разработку методических основ и критериев поисковых работ, выделение перспективных площадей и т. д. Среди них были как институты Мингео СССР (ВИМС, ВСЕГЕИ, ВИРГ, ВСЕГИНГЕО, ЗабНИИ, ДВИМС), так и организации других ведомств (ВНИИХТ Минатома РФ, ИГЕМ РАН, ГЕОХИ РАН, СО РАН и др.) и группы высших учебных заведений (МГРИ, ЛГУ, Томский политехнический институт и др.). Среди крупнейших ученых и организаторов науки в области геологии урана были П.Я. Антропов, А.П. Виноградов, Н.П. Лаверов, Ф.И. Вольфсон, В.Г. Мелков и др. [13, 14].

1. Вячеслав Гаврилович Мелков

Деятельность В.Г. Мелкова как крупнейшего специалиста в области минералогии и геохимии урановых месторождений в сороковых годах XX столетия была связана с развитием сырьевой базы урана. Им были открыты и описаны новые минералы, изучена зона окисления урановых месторождений, а также разработаны основы метода люминесцентной спектроскопии при использовании его в поисковой геологии [7, 14] (рис. 1).



Рис. 1. Вячеслав Гаврилович Мелков (архив ВИМСа)

Свою трудовую деятельность Вячеслав Гаврилович начал еще в студенческие годы в ЦНИГРИ (ВСЕГЕИ). По окончании в 1934 г. Ленинградского горного института он приступил к работе в Таджикско-Памирской экспедиции АН СССР, затем перешел в Ленинградский горный институт. В июле 1941 г. был призван в ряды Советской Армии, участвовал в боях на Ленинградском фронте. После ранения по ходатайству Академии наук СССР в мае 1942 г. откомандирован в Институт геологических наук АН СССР, а в 1944 г. Комитетом по делам геологии при СНК СССР направлен на работу в ВИМС, где трудился с 1944 по 1987 гг. заведующим сектором минералого-геохимических исследований (1954–1981), а в 1954–1955 гг. заместителем директора по научной работе. Еще в предвоенные годы В.Г. Мелков проявил интерес к применению люминесцентного метода выявления урановых минералов [7], который успешно применил при изучении урановых руд в Киргизии [6].

Его первые фундаментальные работы в ВИМСе были связаны с изучением перспектив ураноносности областей альпийской складчатости на примере Кавказа. Это было новое научное направление в урановой геологии, т. к. существовало мнение, что альпийская эпоха не продуктивна на уран. Результатом стало открытие в 1946–1947 гг. при участии В.Г. Мелкова новой урановорудной провинции Кавказских Минеральных Вод (КМВ), которая включала ряд месторождений ранее неизвестного генетического типа. Это были объекты промышленного уровня (*Бештаугорское*, *Быкогорское*), ставшие основой сырьевой базы Лермонтовского горно-химического рудоуправления (ЛГХР) (Рудоуправление № 10, после завершения добычных работ ЛГХР было преобразовано в Лермонтовское государственное предприятие «Алмаз»).

2. Ведущие месторождения урана кавказских минеральных вод

В.Г. Мелков был научным куратором работ Кольцовской экспедиции Первого Главного геологического управления (ПГГУ), а также непосредственным участником полевых минералогических исследований, проводившихся на урановых месторождениях КМВ.

Кавминводский район находится в Ставропольском крае. Ландшафтно он представляет собой предгорную пологую равнину с одиночными куполовидными горами высотой до 1400 м [13]. В геологическом отношении ураноносная зона приурочена к южной части эпигерцинской платформы

Предкавказья, восточному склону Транскавказского поперечного поднятия, протягивающегося через Ставропольское сводовое поднятие на севере через Кавказский хребет до Дзирульского поднятия на юге, и находится в пределах Эльбрус-Кисловодского выступа.

Регион издавна известен своими радоновыми и радиевыми источниками, поэтому при появлении проблемы поисков месторождений радиоактивных руд исследователи обратились именно к нему, хотя изначально связь с такими рудами считалась маловероятной [11, с. 32].

В районе КМВ к концу 1944 г. были обследованы практически все лакколиты и установлено, что центральная группа (горы Бештау, Бык, Шелудивая), сложенная в основном липаритами и трахилипаритами, (г. Змейка) наиболее перспективна для поисков урановых месторождений. Здесь были сосредоточены поисковые, а позже и разведочные работы крупных геологоразведочных партий Кольцовской экспедиции [3]. Наиболее многофазным строением отличались интрузивные массивы Бештау и Бык с повышенными содержаниями урана. Интрузии внедрены в платформенный покров мощностью 2800 м до глубин 600–800 м от поверхности, с возникновением над ними купольных структур, эродированных до уровня самих интрузий. Интрузивные массивы Бештау и Бык контролируют пространственное положение Бештаугорского и Быкогорского промышленных урановых месторождений [4].

2.1. Бештаугорское месторождение

Массив изверженных пород г. Бештау ввиду своего размера и сложности строения занимает особое положение среди субинтрузивных массивов района КМВ. Он имеет форму конусообразного поднятия с пятью вершинами и приурочен к узлу сопряжения глубинных разломов северо-западного и субмеридионального простирания. Урановое оруденение локализовано в крутопадающих разрывных нарушениях северо-восточного направления (10–30°), оперяющих Главный субмеридиональный разлом. Общая оценка запасов месторождения составляла 3,5 тыс. т урана при среднем его содержании 0,1 %. В настоящее время оно отработано (рис. 2) [3, 13].

Месторождение выделяется широким разнообразием минерального состава. На нем установлены 56 гипогенных и 31 гипергенный минерал. Одним из открытий стал *лермонтовит*, который был впервые выявлен и диагностирован В.Г. Мелковым. Он был обнаружен в 1948 г. [1], что положило начало изучению минералов из новой группы фосфатов четырехвалентного урана [1, 5, 8], которые на ряде промышленных месторождений являются ведущими. Минерал характеризуется гроздевидной желвачной формой агрегатов, имеет серо-зеленый цвет, устойчив в восстановительной среде (рис. 3).

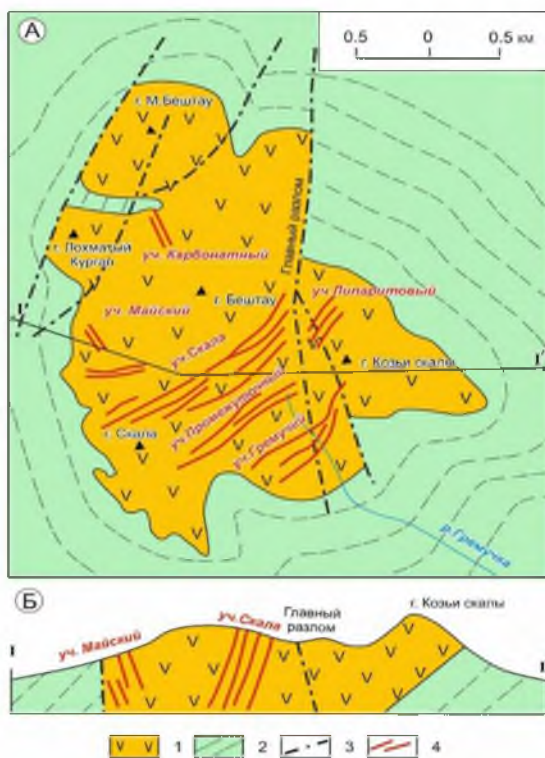


Рис. 2. Месторождение Бештаугорское. А – Геологический план поверхности; Б – Геологический разрез по линии 1–1' (по [11]).

1 – кристаллические породы лакколита – липариты, трахидациты ($N_1^2-N_2^2$); 2 – вмещающие осадочные породы – глины, аргиллиты, мергели, песчаники, известняки ($K_{1-2}-Pg_{1-3}$); 3 – разломы; 4 – урановорудные зоны

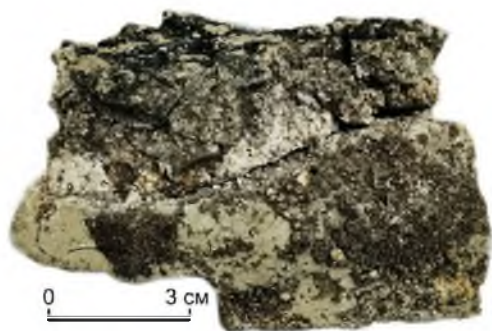


Рис. 3. Лермонтовит $[(U^{+4})(PO_4)(OH) \cdot H_2O]$ на марказите. Выявлен в урановорудной зоне Гремучка месторождения Бештаугорское в трещинах марказитовой жилы, секущей гранит-порфиры (из коллекции В.Г. Мелкова, ВИМС)

Информация о лермонтовите была ограничена кратким описанием образца, данными световой оптики и рентгенограммой порошка (с рефlekсами без индексов). Неполнота химического анализа в течение длительного периода оставляла минерал в разряде сомнительных. Изучение группой минералогов ИГЕМа – Беловой Л.Н., Дойниковой О.А. и др. образца лермонтовита из коллекции В.Г. Мелкова новыми современными методами позволило получить новую кристаллохимическую информацию о нем и подтвердить его индивидуальность [2].

В ходе поисковых работ В.Г. Мелков использовал новый метод ночной люминесцентной съемки, который позволил откартировать участки урансодержащих гялитов, в результате чего были вскрыты ураноносные зоны.

Изначально в 1943–1944 гг. он принял участие в изучении битуминозных горных пород Татарской АССР, используя метод люминесценции. По результатам работ в 1946 г. было опубликовано «Введение в люминесцентную

минералогии» как первое обобщение люминесцентно-битуминологических исследований. В первые послевоенные годы люминесцентно-битуминологическим исследованиям придавалось большое значение при поисках месторождений нефти и газа. В научно-исследовательских и производственных геологоразведочных организациях создавались люминесцентно-битуминологические лаборатории.

Благодаря ночной люминесцентной съемке В.Г. Мелкова на лакколитах урановых месторождений КМВ были установлены полосы развития урансодержащих кальцитов и гиалитов, сопровождающих зону окисления ураноносных структур. В качестве основного прибора для получения ультрафиолетового излучения использовалась очень примитивная катодная установка системы Комовского, применявшаяся в довоенные годы для просвечивания забоев горных выработок на вольфрамовых (шеелитовых) рудопроявлениях; позднее в 1947 г. появились полевые люминоскопы «Полус». В дневное время выбирались маршруты по крутым склонам и скалам, а ночью по этим маршрутам шли пары поисковиков, оснащенные переносной катодной установкой и определяли контуры светящихся ярко-зеленым цветом ураниловых солей. Днем делалась привязка этих контуров и геологическая документация. Таким способом картировались зоны и системы трещин, которые затем вскрывались и прослеживались канавами, шурфами и бурением [3, 5].

Так было открыто промышленное Бештаугорское месторождение урана по зеленой люминесценции гиалита, установленной В.Г. Мелковым и Л.П. Вилуновой. Методы люминесцентной диагностики во многих случаях, прежде всего при изучении вторичных урановых минералов, позволяли выявить их даже в тех пробах, в которых не проявлялись их яркие внешние признаки. Учитывая относительную простоту наблюдений люминесценции урановых минералов и необходимость оснащения поисковых работ портативной аппаратурой и эффективной методикой быстрого обнаружения радиоактивных руд в полевых условиях, В.Г. Мелков провел в конце 1940-х – начале 1950-х гг. комплекс исследований в этом направлении и разработал первые рекомендации по использованию фотолюминесценции в практике поисков урановых руд [14].

Таким образом, В.Г. Мелков расширил возможности люминесцентного метода, доказав, что люминесцентно-битуминологический анализ, позволяющий быстро распознавать жидкие и вязкие прозрачные и полупрозрачные углеводородные вещества, полностью растворяющиеся в хлороформе и сохраняющие в растворе способность к фотолюминесценции определенного цвета и интенсивности, полностью применим для определения твердых углеродистых веществ (битумов), часто сопровождающих урановую минерализацию. Вячеслав Гаврилович использовал люминесцентный метод при поисках урановых месторождений по люминесцирующим околорудным ореолам, сложенным гиалитом, альбитом, карбонатами. Для полевых условий им была разработана методика ночного люминесцентного картирования гиалита, который непосредственно сопутствовал минералам шестивалентного урана. Сейчас метод люминесценции продолжает использоваться в ВИМСе в полевых условиях при поисках шеелитовых месторождений вольфрама.

Работы на Бештаугорском месторождении осуществлялись с конца 1947 г. Спустя два года, когда определилось промышленное значение этого объекта, стали проводиться интенсивные геологоразведочные работы на других лакколитах, где были известны вторичные урансодержащие минералы. Эти

данные, вместе с выявлением уранового оруденения на г. Бештау, послужили доказательством широкой региональной зараженности ураном всей провинции КМВ [3].

2.2. Быкогорское месторождение

Быкогорское месторождение расположено в пределах г. Бык, представляющей собой изолированное изометрической формы куполовидное поднятие (рис. 4). Массив кристаллических пород г. Бык так же, как и на г. Бештау состоит из двух интрузивных тел, разделенных «перегородкой» осадочных пород эоценового возраста. Однако здесь интрузивные тела более близкие по составу по сравнению с Бештау. В.Г. Мелков и З.И. Моторина, на основе данных сейсмики, предположили наличие под массивом гранит-порфиров второго нижнего более крупного массива, вероятно, аналогичного по составу пород верхнему с повышенным содержанием урана, таллия, бериллия, бора и др. редких элементов [3].

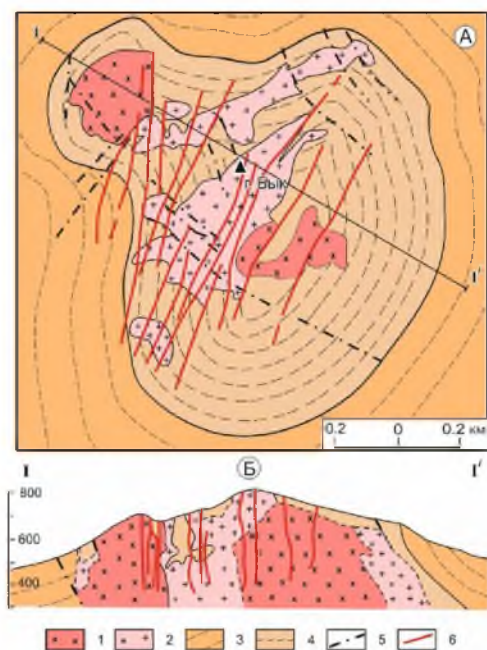


Рис. 4. Месторождение Быкогорское.
А – Геологический план поверхности;
Б – Геологический разрез по линии 1–1'
(по [11]).

1–2 – кристаллические породы лакколита (N_1^2 – N_2^2): 1 – гранит-порфиры первой фазы внедрения, 2 – гранит-порфиры второй фазы внедрения, 3–4 – вмещающие осадочные породы: 3 – глины, мергели, известняки (Pg_1^{1-2}), 4 – аргиллиты, песчаники (Pg_2^2), 5 – разломы, 6 – урановорудные зоны

Впервые урансодержащие минералы были обнаружены на г. Бык Центральной партией Северо-Кавказского геологического управления в 1946 г. Разведка месторождения осуществлялась Кольцовской экспедицией в 1949–1952 гг. проходкой горных выработок в комбинации с подземным бурением, в результате чего вскрыли промышленные залежи урановых руд. Выявленная вторичная урановая минерализация была приурочена к зонам брекчирования и милонитизации в кристаллическом теле лакколита. Отдельные находки вторичных минералов урана были связаны с нарушенными контактами лакколита с вмещающими осадочными породами [11]. Запасы урана на месторождении составляли около 600 т [13].

При технологическом исследовании свойств руд в ВИМСе (1950–1951 гг.) по ряду проб установлено, что по вещественному составу основную массу

быкогорской руды образуют гранит-порфиры с корочками и налетами гидроксидов железа и псиломелана. Урановая минерализация представлена настураном, урановыми чернями, бетта-уранотилом, уранофаном и урановыми слюдками. Лабораторными технологическими исследованиями было обнаружено, что для руд этого типа наиболее благоприятные результаты дает метод кислотного выщелачивания, при котором значительное количество урана и всех проб переходило в раствор [9].

29 июля 1950 г. Постановлением Совета Министров СССР от № 3342–1407 для добычи и переработки урановых руд месторождений было создано Рудоуправление № 10 (с 1967 г. *Лермонтовское горно-химическое рудоуправление* – ЛГХР) [10]. В 1958 г. рудник № 1 достиг проектной производительности – 230 тыс. т руды в год, которая в дальнейшем была превышена. В 1963–1965 гг. на руднике № 2 проводились опытные работы по изысканию возможности рентабельной отработки бедных забалансовых руд методом подземного шахтного сернокислотного выщелачивания урана. В 1975 г. в связи с полной отработкой запасов урановой руды был ликвидирован рудник № 1. Гидрометаллургический завод служил, по существу, в качестве опытного производства по освоению эффективных технологий переработки руд новых месторождений [9, 10].

Следует учитывать, что главным достоянием района КМВ является туристическое направление деятельности с многочисленными бальнеологическими курортами, туристическими центрами, горнолыжными и альпинистскими базами. Кавказские Минеральные Воды с известными источниками минеральных и радоновых вод, многочисленными лакколитами кислых и щелочных пород давно привлекали внимание ведущих геологов и радиологов страны. В связи с разведкой и эксплуатацией месторождений урана имелись серьезные опасения нарушения режима гидроминеральной базы курортов Ессентуков, Пятигорска и Железноводска. Работа геологов находилась под постоянным контролем специальной межведомственной комиссии Минздрава СССР, Мингео СССР и Минсредмаша, созданной для надзора за сохранностью ресурсов минеральных вод на КМВ [11].

Поэтому геологоразведочная работа на урановых месторождениях КМВ осложнялась возможным отрицательным влиянием на гидрохимические условия уникальных вод курортов КМВ, в результате чего была ограничена глубина разведки и эксплуатации месторождений отметкой 700 м и 400 м. Это было осуществимо без значительного урона, поскольку поисково-разведочные работы развивались в несколько необычном порядке – снизу-вверх, с горизонта +700 м до +1100 м. По этой причине наиболее богатое урановое оруденение (зона Липаритовая) на верхних горизонтах массива Бештау было выявлено только в конце 1949 г.

Также для резкого снижения потребления свежей воды и повышения экологичности работы ГМЗ в курортной зоне осуществлялся полный оборот технической воды с хвостохранилища. При этом выполненные на уран работы не только не нарушили режим минеральных вод, но привели к открытию новых источников. При проведении буровых работ вблизи г. Ессентуки появились новые источники воды типа «Ессентуки № 17» и «№ 4», а также были открыты минеральные воды типа «Нарзан», что увеличило объем лечебных вод района [11].

Заключение

В.Г. Мелков на протяжении всей своей жизни принимал самое активное участие в проблеме изучения месторождений урановых руд на территории СССР.

В 1946–1947 гг. по его прогнозу в районе КМВ выявлены месторождения *Бештаугорское* и, недалеко расположенное, *Быкогорское*. За их открытие и разведку премированы сотрудники Кольцовской экспедиции и Вячеслав Гаврилович Мелков – научный куратор, получивший звание лауреата Сталинской премии второй степени с вручением ордена Ленина (1946 г.), а в 1972 г. отмеченный знаком «Первооткрыватель месторождения». В изучении урановорудных объектов региона принимала участие большая группа геологов ВИМСа – Л.П. Вилюнова, А.С. Свешников, А.М. Сергеева, З.М. Моторина, А.А. Лебедев-Зиновьев, А.П. Семашко, В.М. Тюленев, А.А. Горшков и др. [12].

Исследования урановых месторождений КМВ внесло значительный вклад в выявление ряда закономерностей и особенностей геологического строения не только района КМВ, но и прилегающих территорий Северного Кавказа. Всего в районе было выявлено 18 лакколитов. В 11 из них была обнаружена вторичная урановая минерализация, а в 2 открыты промышленные месторождения урана (*Бештаугорское*, *Быкогорское*).

В.Г. Мелков впервые систематизировал минералогические, химические и полимерные свойства углеродистых веществ на разновозрастных урановых месторождениях и заложил основы нового научного направления – «минералогия высокомолекулярных углеводородных соединений». Он показал, что углеродистые вещества, распространенные в эндогенных урановых месторождениях, являются природными высокомолекулярными соединениями: полимерами (антракосолиты, кериты) и олигомерами (асфальтиты, асфальты). Вячеслав Гаврилович установил, что на всех объектах повторяется одна и та же последовательность в отложении углеродистых веществ: графиты→антракосолиты→кериты→асфальтиты→асфальты. В основе строения антракосолитов лежат графитовые микрокристаллические пакеты из двумерных плоскостных параллельно расположенных полициклических макромолекул. Он предположил перенос многих химических элементов, в том числе и урана, в виде элементоорганических соединений. Полученные результаты до сих пор используются при поисках и оценке урановых месторождений.

К концу 1950-х гг. В.Г. Мелков приобрел авторитет крупнейшего специалиста в области минералогии урана. Под его руководством была подготовлена выставка урановых минералов СССР, представленная на Первой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии (1955).

В честь В.Г. Мелкова названы два минерала. *Вячеславит* – один из фосфатов четырехвалентного урана, обнаруженный в зоне вторичного обогащения уранового месторождения Косчека, в Центральных Кызылкумах (Узбекистан). Он изучен и установлен как самостоятельный минеральный вид Л.Н. Беловым, А.И. Горшковым, О.А. Ивановой, А.В. Сивцовым, Л.И. Лизоркиной, В.А. Боронихиным в 1984 г. *Мелковит* – фосфат-молибдат железа и кальция, найден и описан в Центральном Казахстане на Шунакском гранитном массиве в 1969 г. Б.Л. Егоровым, А.Д. Дарой и В.М. Сендеровой.

Авторы выражают признательность Н.Э. Коростелевой и И.Е. Любимовой за предоставление материалов из литотечного фонда и научно-технической библиотеки ВИМСа.

Литература

1. *Гецева Р.В., Савельева К.Т.* Руководство по определению урановых минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 260 с.
2. *Дойникова О.А.* Минералогия урана восстановительной зоны гипергенеза (по данным электронной микроскопии). М.: Физматлит, 2012. 215 с.
3. *История создания сырьевой базы урана СССР* / Под ред. Лапина А.Л. Том VI: Кавказ и Закаспий. Ессентуки: Министерство геологии СССР, 1990. 190 с.
4. *Лаверов Н.П., Казанский В.И.* Месторождения урана / Рудные месторождения СССР. М.: Недра, 1975. С. 342–365.
5. *Мелков В.Г., Пухальский Л.Ч.* Поиски месторождений урана. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 219 с.
6. *Мелков В.Г.* Об уранованадате из месторождения Майли-Су в Киргизии // Зап. ВМО. 1945. Ч. 74. № 1. С. 41–47.
7. *Мелков В.Г., Свердлов З.М.* Люминесцентный метод обнаружения урановых минералов и руд // Докл. АН СССР. 1941. Т. 31. № 4. С. 158.
8. *Новые данные о лермонтовите* / В.Г. Мелков, Л.Н. Белова, А.И. Горшков, О.А. Иванова, А.В. Сивцов, В.А. Боронихин // Минералогический журнал. 1983. Т. 5. № 1. С. 82–87.
9. *Петрухин Н.П., Нестеров Ю.В.* Создание и развитие минерально-сырьевой базы отечественной атомной отрасли. М.: АО «Атомредметзолото», 2017. 400 с.
10. *Петрухин Н.П.* История уранодобычи // М.: Урановый холдинг «АРМЗ», 2020. 438 с.
11. *Пятов Е.А.* Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР. М.: РИС ВИМС, 2005. 246 с.
12. *Руднев В.В., Печенкин И.Г.* Сотрудники ВИМСа первооткрыватели урановых месторождений // Разведка и охрана недр. 2023. № 8. С. 51–58.
13. *Уран российских недр* / Г.А. Машковцев, А.К. Константинов, А.К. Мигута, М.В. Шумилин, В.Н. Щеточкин. М.: ВИМС, 2010. 850 с.
14. *Урановой геологии ВИМСа – 70 лет* / Под ред. Г.А. Машковцева, А.К. Мигуты, И.Г. Печенкина, А.А. Рогожина, В.Н. Щеточкина. М.: РИС ВИМС, 2013. 160 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЭС «НАГЛУ» В АФГАНИСТАНЕ (1960-1968 ГГ.)

© А.В. Собисевич

ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва

Аннотация. В статье рассматривается ход строительства при участии советских специалистов ГЭС «НАГЛУ» в Афганистане с 1960 по 1968 гг. Показано, что сложные геологические условия в зоне строительства плотины в виде зоны дробления горных пород привели к кардинальной переработке проекта. Проектировщики отказались от строительства арочной плотины, которая бы не могла упираться своими стенками на горные породы, слагающие берега створа плотины и таким образом сдерживать давление воды. Решением стало создание бетонно-гравитационной плотины, что привело к полному изменению проектной документации. Строительство электростанции стало стоить значительно дороже и затянулось на два дополнительных года.

Ключевые слова: инженерная геология, строительство гидроэлектростанций, энергетика, Афганистан.

В июне 1958 г. министром горных дел и промышленности Афганистана М. Юсуфом было подписано с представителями советских властей соглашение о начале строительстве ГЭС «Наглу». По согласованию с афганской стороной, технический проект ГЭС, составленный Гидропроектом в 1959 г., предусматривал строительство гидроузла с арочной плотиной. Проект был одобрен Министерством строительства электростанций СССР и 4 апреля 1960 г. представлен на рассмотрение Госстроя СССР. В решении Министерства строительства электростанций по проекту было указано, что геологические условия створа плотины могут считаться подходящими для возведения арочной плотины [3, л. 24].

Первоначально инженерно-геологические изыскания, проектные и строительные работы планировалось завершить в течение 5 лет, однако из-за сложной геологической обстановки в зоне строительства плотины электростанции срок сдачи объекта увеличился. Геологи из Всесоюзного института "Гидропроект" выяснили, что створ плотины ГЭС "Наглу" находился в зоне дробления горных пород, что исключало возможность строительства арочной плотины, которая бы упиралась в скальные породы берега [1, л. 37].

В решении Госстроя СССР от 5 мая 1960 г. было отмечено, что инженерно-геологические условия створа плотины изучены в объеме, недостаточном для составления проекта арочной плотины, и вследствие этого необходимо до составления рабочих чертежей произвести дополнительные инженерно-геологические изыскания. Однако строительство ГЭС «Наглу» с арочным типом плотины было начато Комитетом по энергетике и электрификации СССР без должных инженерно-геологических изысканий [2, л. 201].

В 1961 г., при проходке дополнительных штолен в бортах плотины было установлено, что внутри скального массива породы содержат зоны дробления, неспособные воспринять давление воды, передаваемое на берега арочной плотиной. Отмечалось, что грунты в зоне строительства ГЭС на 50 % состоят из

конгломерата и сцементированных песчаников [3, л. 24]. Сотрудники Министерства строительства электростанций СССР приняли решение о замене арочного типа плотины на гравитационный, который больше соответствовал сложным инженерно-геологическим условиям в зоне строительства. 16 января 1962 г. изменение проекта электростанции было согласовано с афганской стороной, однако запуск ГЭС «Наглу» так и не был перенесен с 1965 г. на более поздний срок.

Уточненный технический проект ГЭС «Наглу» с бетонной гравитационной плотиной был разработан Государственный производственным комитетом по энергетике и электрификации СССР и рассмотрен Госстроем СССР в августе 1963 г. Принципиальные технические решения – выбор створа гидроузла, отметки подпорного горизонта и компоновка сооружений, а также переход от проектировавшейся ранее плотины арочного типа к гравитационной не вызывали возражений экспертизы Госстроя СССР. Вместе с этим было указано на недостаточную обоснованность изысканий и исследованиями уклона граней плотины, глубины ее врезки в берега и русло реки, конструкции дренажных и противифльтрационных устройств, а также на ряд других недостатков проекта, затрудняющих определение объемов и стоимости работ [3, л. 25].

Ознакомление советских специалистов на месте с ходом строительства ГЭС Наглу в июле 1963 г. показало, что этот срок является нереальным из-за столь кардинального изменения проекта гидроэлектростанции. В представленной записке Госстроя СССР, Комитета по энергетике и электрификации СССР и ГКЭС от 15 июня 1964 г. и в приложенном к ней советско-афганском протоколе от 30 октября 1963 г. указывалось, что ГЭС Наглу может быть пущена в эксплуатацию лишь в 1967 г. Расчеты также показывали, что переход от арочной плотины к гравитационной приведет к значительному удорожанию проекта. Из трех типов ГЭС наименьшую стоимость в процентном отношении имеет ГЭС с арочной плотиной 60 %, в то время как ГЭС с каменно-набросной плотиной будет иметь стоимость в 100 %, а ГЭС со смешанной плотиной – 109 %.

Расчеты специалистов показывали насколько значительно менялся проект электростанции после отказа от арочной плотины и переходу к бетонно-гравитационной. Прежде всего, значительно менялась ее толщина и потребность в бетоне. Тонкостенная арочная имела бы толщину у основания 20 м и поверху – 5 м, а бетонно-гравитационная – 94 м и 20 м соответственно. Менялось место расположения здания ГЭС: планировалось прежде в отдельном здании на правом берегу р. Кабул, а пришлось проектировать в теле плотины. Менялась система водосброса: прежде через правобережный и левобережный водосбросы по специальным бетонным лоткам шириной до 27 м, при глубине 7.5 м, толщине цементации – 10 м и длиной каждого водосброса в несколько сот метров, в перепроектированном проекте водосброс был предусмотрен через гребень плотины [3, л. 31].

В 1962 г. строители столкнулись также со сложностями с прокладкой деривационного тоннеля. Общая протяженность тоннеля составляла около 626 м, диаметр 8 м. Геологические условия для проходки тоннеля были очень сложные, имели место вывалы породы, состоящей преимущественно из конгломерата и сцементированных песчаников. Для ликвидации вывала и соответствующих креплений породы потребовался месяц работы [2, л. 28, 30].

16 января 1963 г. в кабинете министра горных дел и промышленности Афганистана М. Юсуфа состоялась беседа с советскими специалистами, которых представляли: главный геолог института "Гидропроект" В.Д. Галактионов, доктор геолого-минералогических наук М.В. Чуринов, главный эксперт строительства ГЭС «Наглу» Н.Я. Лухнев, представитель генерального поставщика Министерства энергетики и электрификации СССР К.В. Терещенко. В ходе обсуждения строительства гидроэлектростанции М.В. Чуринов рассказал о неблагоприятной геологии на участке основных сооружений ГЭС "Наглу" и отмечая, что *«это перетертая, перебитая, передробленная труха, а не горные породы»* [1, л. 36]. Это создавало трудности проходки и крепления строительного тоннеля, а также разработки бортовых врезок плотины, когда неустойчивые породы все время обваливаются и осыпаются.

Календарным планов строительства предусматривалось перекрытие летом 1964 г. русла реки Кабул, окончание скальной выемки береговых врезок под плотину, устройство дренажных штолен, выемка аллювия и скалы в русловой части котлована до проектных отметок и укладка до 50 тыс. м³ бетона в русловые секции в плотину к паводку 1965 г. Выполнение этих работ создавало возможность избежать затопления котлована плотины в 1966 г. и ускорить ход строительства [3, л. 27].

Первая гидротурбина ГЭС «Наглу» была введен в строй в 1967 г., затем в течение 1968 г. были введены в действие еще три агрегата. От электростанции к городу Кабул была проведена высоковольтная линия напряжением 110 кВ. В настоящее время ГЭС «Наглу» обеспечивает электричеством большую часть потребностей столицы Афганистана.

Литература

1. РГАЭ. Ф. 365. Оп. 2. Д. 2413.
2. РГАЭ. Ф. 365. Оп. 2. Д. 2334.
3. РГАЭ. Ф. 339. Оп. 2. Д. 814.
4. РГАЭ. Ф. 365. Оп. 2. Д. 2383.
5. РГАЭ. Ф. 365. Оп. 2. Д. 2489.

РЕТРОСПЕКТИВА ИЗУЧЕНИЯ ЮЖНОЙ РОССИИ: «КОСМИЧЕСКАЯ» КОМПОНЕНТА

© В.М. Чеснов
ИИЕТ РАН, Москва

Аннотация. Космические методы широко используются целым комплексом научных отраслей, однако, не вполне правильно не учитывать их базовое единство с этими дисциплинами. Использование орбитальных средств и новых методов не изменило предмета и задач исследования конкретных научных отраслей. Последовательные усовершенствования и изобретения, позволившая за пять столетий перейти от использования мерной цепи к лазерному дальномеру, не изменила сущности картографирования в географических исследованиях. С этой точки зрения, космическую научную составляющую следует понимать как часть общей научной деятельности, имеющей свою специфику и в сфере технического оснащения, и в области обработки информации, которая в связи прогрессом аппаратного и программного обеспечения начинает играть основополагающую роль в изучении происходящих на Земле процессов. Основной принцип «космической» методологии состоит в том, что она определена не столько предметом изучения, сколько собственно космическим аппаратом, который представляет собой орбитальное. Последний, прежде всего, следует понимать как орбитальное основание, площадку для размещения исследовательской аппаратуры, использующейся проведения необходимых экспериментов и наблюдений за объектами. Космический аппарат выступает, таким образом, как оболочка, обеспечивающая функционирование в космическом пространстве полезной нагрузки. В ряде случаев, при решении специфических задач космический носитель и полезная нагрузка могут представлять собой единое целое, как, например, при синтезировании искусственной апертуры антенны при радиолокационной съемке поверхности. В практически идентичные базовые орбитальные конструкции могут быть интегрированы различные виды полезной нагрузки.

Ключевые слова: история науки, история науки, методы исследования, дистанционное зондирование.

Систематическое всестороннее изучение южных районов Российской Империи и, в частности, Кавказа началось с работ академических экспедиций в 1768-1774 гг. [3] Они же и определили комплексный подход при проведении работ. Так, программа Астраханских экспедиций предполагала исследования как в географическом, геологическом и биологическом отношении, сопровождающиеся составлением коллекций по ботанике, зоологии, минералогии, но и с исторических позиций [13].

Позже академик Л.С. Берг так охарактеризовал академические экспедиции: «Грандиозный план исследований, широта размаха их и удачный подбор руководителей до сих пор вызывают в нас изумление» [2].

Академия наук оставалась ведущим организатором изучения территории страны и на протяжении XIX в., взаимодействуя с государственными ведомствами (например, с Морским министерством, с Военным министерством и др.) научными обществами (например, с Петербургской археографической комиссией, с Русским географическим обществом и др.). Императорская Санкт-Петербургская академия наук (с 1917 г. — Российская академия наук) продолжала оставаться основным органом по развертыванию плановых экспедиционных исследований. Эта функция перешла впоследствии (с 1925 г.) к

Академии наук СССР. Многие результаты, полученные экспедициями, не потеряли актуальности и в начале XXI в.

Не останавливаясь на историко-научном анализе этих работ, которому посвящено большое количество специальных публикаций (см., например, [1, 4, 5, 12]) отметим объединяющие их особенности. Все наблюдения и измерения проводились «in situ», непосредственно на изучаемой местности. Широта охвата полевыми работами ограничивалась как материально-транспортными ресурсами и физическими возможностями достижения того или иного объекта, так и военно-политическими условиями, ограничивающими свободу перемещения. Исследования «in distans» (в зоне прямой видимости) были выполнимы только при картографических измерениях на удалениях, которые обеспечивали геодезические приборы.

Этот инструментальный секвестр был преодолен сначала посредством аэрофотосъёмки, которая изначально использовалась для ведения военной разведки во время Первой мировой войны. После завершения боевых действий и начавшегося стремительного развития авиационной техники, начиная с 1920-х гг. аэрофотосъёмка стала всё чаще применяться для гражданских нужд. В качестве бортовой аппаратуры использовалось, а основным, фотографическое оснащение, производившее съёмку в видимой части спектра. В период Второй мировой войны достигнутый уровень электронной техники позволил использовать и другие (инфракрасный и радиолокационный) частотные диапазоны.

Логическим развитием методов дистанционных аэроисследований стало дистанционное зондирование Земли с помощью космических аппаратов. «Космические» исследования Земли позволили посмотреть на планету «со стороны» как и на другие тела Солнечной системы. (Заметим, что первый снимок Земли из космоса был получен еще 24 октября 1946 г. с высоты 105 км во время суборбитального полёта трофейной баллистической ракеты «Фау-2», стартовавшей с полигона Уайт Сэндс в пустыне Нью-Мексико.)

Находясь на стыке различных научных и технических отраслей, исследование планет (включая Землю) являясь новым комплексным направлением, включает в себя как фундаментальные, так и прикладные исследования. Как всякая синтетическая отрасль знания, дистанционное зондирование с борта космических аппаратов в ходе своего развития обуславливает процесс взаимодействия и взаимообогащения большого числа естественных и технических наук и дисциплин. Так, оно соединяет и одновременно обогащает полученными результатами практически весь комплекс астрономических дисциплин и наук о Земле. Одновременно, аппаратное обеспечение систем дистанционного зондирования, его постоянное совершенствование, стимулирует разработку и привлечение новейших достижений радиотехники, электроники, вычислительной техники, оптики, а также передовых производственных технологий. Пятидесятилетний период подобного использования орбитальных средств позволяет обобщить с точки зрения истории науки эволюцию географического (понимаемого в широком смысле — как ряд специализированных научных дисциплин, образующих систему географических наук) изучения как нашей планеты в целом, так и в частности, южных районов Российской Федерации.

Если понимать «освоение космического пространства» в наиболее широком смысле, то эта задача включает в себя как научные исследования, так и

практическое использование внеземного пространства. Последнее охватывает, прежде всего, орбитальные аппараты, предназначенные обеспечивать непосредственные запросы общества (дистанционное зондирование Земли вообще и метеонаблюдения, в частности, связь, геопозиционирование, решение оборонных задач и др.). достижения позволяют создавать специализированные космические аппараты достаточно компактными, и их число обычно в несколько раз превышает количество пусков ракет-носителей (в 2018 г. В Российской Федерации десять носителей были использованы для выведения на околоземную орбиту более пятидесяти космических аппаратов разных стран).

Космонавтика, как научно-техническая отрасль позволила революционизировать многие отрасли экономики создать новые, функционирующие в глобальном масштабе. Космические же исследования, в частности, зондирование Земли с орбиты, неразрывно связаны с прогрессом обеспечивающей их космической техники. Таким образом, прогресс геоисследований из космоса определяет как собственно развитием научной и приборной составляющей эксперимента, так и совершенствованием его платформы – космического аппарата. Особое значение это обстоятельство имело в первые годы освоения космического пространства, когда развитие «космической» науки во многом определяется прогрессом космической техники, нежели целями исследования.

Космическая отрасль находится под влиянием и в тесной корреляции не только с различными естественнонаучными и техническими областями знаний, но и с другими областями общественной деятельности, такими как производственно-технологические отрасли, политика, интересы обороны, практические запросы экономического развития. Космические инструменты и методы, слитые в едином космическом орбитальном аппарате, стали объединяющим фактором в развитии, в частности, комплекса наук о Земле, предоставляя им в определенном смысле единую информационную основу. При этом не произошло подмены предметов изучения отдельных научных дисциплин.

Во всех случаях космические аппараты обеспечивают непосредственные запросы общества. Те из них, которые расположены на околоземной орбите, можно подразделить на два кластера. Первый составлен теми, которые являются неотъемлемой частью большой структуры, решающей определенную задачу (например, российская система ГЛОНАСС, американская система GPS) или предназначены для конкретных, часто коммерческих (например, американская серия спутников «Lemur» для мониторинга морских судов). Второй кластер образован аппаратами, проводящими комплексные наблюдения в интересах целого спектра «земных» наук – географии, картографии, геологии, метеорологии, океанологии и др. В этом случае аппаратура космического аппарата поставляет информацию специалистам и ученым для дальнейшей обработки (например, российский космический аппарат «Канопус», оборудованный панхроматической и мультиспектральной камерами).

Наиболее широко полученные результаты используются для изучения природных ресурсов, картографирования и решения задач метеорологии. При этом для извлечения информации из снимков, полученных в различных частях электромагнитного спектра, необходимо проведение их дешифрирования и фотограмметрических измерений. Аналоговые снимки и традиционные технологии их обработки практически утратили своё значение в настоящее

время. Основным анализирующим устройством однозначно является компьютерная система и соответствующее программное обеспечение. Это позволяет провести визуализацию полученных изображений, их преобразование, коррекцию, классификацию и новых производных снимков и дешифрирование. Исходя из значений растровых данных возникает возможность определить характеристики объектов местности, скрытых в нормальных условиях.

Уже в первые годы космической эры определился круг основных задач для космических аппаратов, которые крайне интересовали военные ведомства: наблюдение Земли из космоса и связь. В 1958 г. в США была принята программа «Сороса» по созданию спутника-фоторазведчика, использующего возвращаемую капсулу с отснятой пленкой. Первая из них была получена в 1960 г. Аналогичный советский космический аппарат дистанционного зондирования «Зенит-2», был выведен на орбиту в 1962 г.

Решение метеорологических задач требовало глобального наблюдения за атмосферой и океанской поверхностью. Первым удачным спутником для измерения инфракрасного излучения земной поверхности и атмосферы стал в 1959 г. американский «Explorer 7».

Плановое применение методов космического зондирования территории СССР стало осуществляться только с 1970 г., когда А.Г.Николаев и В.И.Севастьянов с борта космического корабля «Союз 9» выполнили съемки Кавказа, Средней Азии, Каспийского моря и других объектов. Создание целостной системы космических исследований Земли в СССР началось 21 декабря 1972 г. с принятием Постановления Совета Министров СССР «О развертывании работ по исследованию природных ресурсов Земли с помощью средств космической техники». При этом предусматривалось создание космических аппаратов с радиотелевизионным комплексом наблюдения, а также спутников фотографической съемки, на основе существовавших к тому времени аналогов. Как и в случае использования аэрофотосъемки, основное внимание уделялось географическим и геологическим исследованиям. Космические методы удачно дополнили традиционные наземные и аэрометоды. Их совместное использование обеспечило географические исследования одновременно на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Орбитальное дистанционное зондирование используется в гляциологии, в частности, для определения толщины льда, как на земной поверхности, так и в ее глубинах, для определения границ ледников. Горная система Кавказа «обладает» ледниковой зоной протяженностью около 1100 км. Анализ спутниковых наблюдений показал, что сокращение площади ледников северного склона Главного Кавказского хребта происходит постоянно, хотя и неравномерно [8]. Одновременно идет и процесс единых ледников на несколько частей [9]. Эти данные были получены с помощью радиометра, размещенного на борту транснационального научно-исследовательского космического аппарата «Terra» [14].

Сокращение ледников Эльбруса на 0,4% в год в период 2001–2010 гг. и также было показано при анализе снимков аппаратурой космических зондов «Terra» и «Landsat» [15].

Применение алгоритмов иерархического подхода при изучении космических снимков [10] с борта «Landsat», и основываясь на массиве полевых данных было проведено картографирование лесов с преобладанием пихты

кавказской и ели восточной на Северо-Западном Кавказе, выделены участки темнохвойных лесов [6].

Не все наблюдения Земли с орбиты проводятся с помощью отдельных космических аппаратов. Прогресс электроники позволил перейти к группировкам наноспутников на основе платформы CubeSat размером 10x10x30 см или чуть больших – CubeSat 3U (10x10x30 см). Так, начиная с 2014 г., американская компания Planet формирует систему дистанционного зондирования Земли PlanetScope. Уже запущено более 350-ти спутников, оснащенных оптико-электронной камерой. Из этого числа более сотни аппаратов находятся в оперативном использовании, обеспечивая большую высокую периодичность съемки с ежедневным покрывает более 250 млн. кв. км территории. Данные спутников доступны с помощью онлайн-сервиса Planet Platform, что предоставляет возможность создания ортомозаики высокого разрешения на большие по площади регионы. Так, например, российская компания Совзонд, проводя мониторинг инфраструктуры Крыма, составила на всю территорию полуострова, а также на Керченский пролив и часть Таманского полуострова с пространственным разрешением 3 м и точностью геопозиционирования 10 м и лучше [11].

Большой интерес специалистов в настоящее время направлен на отслеживание изменений уровня Каспийского моря и пространственных трансформаций дельты Волги. Снижение уровня с 1995 г. по настоящее время почти на 3 м и выдвигание дельты реки в воды Северного Каспия на 10–20 км с одновременным увеличением ее площади на 3 тыс. км² оказывают сильное влияние на экологическое состояние территории. В 2021 г. в юго-западной части дельты Волги в 32-х пунктах были проведены комплексные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические исследования. В результате была получено пространственное распределение параметров речных вод, интерпретировать которое стало возможным с помощью оптических и инфракрасных снимков космического аппарата «Landsat-8» высокого разрешения. Впервые была обнаружена тонкая горизонтальная структура водотоков – чередование несмешивающихся узких струй, с существенно различающимися характеристиками [7].

Литература

1. Александровская О.А., Широкова В.А., Романова О.С., Озерова Н.А. Ломоносов и академические экспедиции 18 века. М.: РТСофт, 2011. 272 с.
2. Берг Л.С. Очерки по истории русских географических открытий. М.-П., 1949. С.429.
3. Гнучева В.Ф. Материалы для истории экспедиций Академии наук в XVIII и XIX веках: Хронологические обзоры и описания архивных материалов. М.-Л.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1940. 312 с.
4. История Академии наук СССР (1724-1803). Т. I. М.-Л., 1958. 483 с.
5. История Академии наук СССР (1803-1917). Т. II. М.-Л., 1964. 772 с.
6. Комарова А.Ф., Куксина Н.В., Зудкин А.Г. Картографирование темнохвойных лесов Северо-Западного Кавказа методом нейронных сетей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 157–166.
7. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Полухин А.А., Костылева А.В., Хлебопашев П.В., Соловьев Д.М., Жданова П.Д. Горизонтальная тонкая структура течения речных вод в дельте Волги по спутниковым данным высокого пространственного разрешения // 254 Современные проблемы ДЗЗ из космоса, 20(3), 2023 Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 254–267.

8. *Дурье П.М., Панов В.Д.* Изменение современного оледенения северного склона Большого Кавказа в XX в. и прогноз его деградации в XXI в. // Метеорология и гидрология 2014. № 4. С. 68-76.
9. *Дурье П.М., Панов В.Д.* Изменение современного оледенения северного склона Большого Кавказа в XX в. и прогноз его деградации в XXI в. // Метеорология и гидрология 2014. № 4. С. 68-76.
10. *Сидорова В.С.* Иерархический гистограммный кластерный алгоритм с выбором размерности пространства спектральных признаков для данных дистанционного зондирования Земли. Сокращение размерности данных кластерным алгоритмом // Перспективные направления развития современной науки. Евразийское Научное Объединение. 2016. Т. 1. № 3 (15). С. 58-61.
11. СОВЗОНД Геоинформационные системы и аэрокосмический мониторинг [Электронный ресурс]. URL: <https://sovzond.ru/press-center/news/corporate/3323/?ysclid=lkr9c4591b654151567>
12. *Юсупова Т.И.* Организация экспедиционной деятельности в академии наук: 1921–1930 гг. // Вопросы истории естествознания и техники. 2012. Т. 33. № 4. С. 91-107.
13. *Хе В.Х.* академические экспедиции второй половины XVIII в. в южные области России и на Кавказ и их значение для развития отечественной териологии // Фундаментальные исследования. 2011. № 10-1. С. 190-192
14. GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space [Электронный ресурс]. URL: <https://www.glims.org/About/>.
15. *Shahgedanova M., Kutuzov S., Nosenko G., Rototayeva O., Khromova T.* Deglaciation Of The Caucasus Mountains, Russia/Georgia, In The 21st Century Observed With Aster Satellite Imagery And Aerial Photography // Cryosphere. 2014. V. 8. N 6. P. 2367-2379.

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МАСШТАБА 1:1000000 (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)

© М.А. Шелакина
КубГУ, Краснодар

Аннотация. В настоящее время комплексное геологическое картографирование территории России осуществляется на четырех масштабных уровнях. В данной работе объектом исследования послужили государственные геологические карты масштаба 1:1000000. Предметная область – история их создания применительно к территории Краснодарского края. Цель исследования – оценить степень изученности территории Краснодарского края геолого-съёмочными работами масштаба 1:1000000.

Ключевые слова: региональная геология, история картографирования, Краснодарский край

Проведение регионального геологического картографирования продиктовано необходимостью получения комплексной геологической информации с целью системного геологического изучения территории страны для обеспечения геологического обоснования при решении вопросов в области геологоразведки, строительства, рационального природопользования.

В настоящее время комплексное геологическое картографирование территории России осуществляется на четырех масштабных уровнях [8]:

- создание сводных и обзорных карт масштаба 1:10000000 – 1:1500000 для получения обобщенной геологической информации и проведения межрегиональных сопоставлений.

- создание комплектов карт геологического содержания масштаба 1:1000000 (Госгеолкарта-1000), которые служат основой для решения стратегических вопросов изучения и рационального использования недр.

- создание комплектов карт геологического содержания масштаба 1:200000 (Госгеолкарта-200) – приоритетное направление, поскольку служит обоснованием для решения федеральных и региональных проблем развития минерально-сырьевой базы и рациональной хозяйственной деятельности.

- создание карт геологического содержания масштаба 1:50000 направлено на получение информации, обеспечивающей выявление месторождений ископаемых.

В данной работе объектом исследования послужили государственные геологические карты масштаба 1:1000000. Предметная область – история их создания применительно к территории Краснодарского края.

Цель исследования – оценить степень изученности территории Краснодарского края геолого-съёмочными работами масштаба 1:1000000.

1. *Государственная геологическая карта масштаба 1:1000000 (первое издание).* В начале 30-х годов 20 в. в СССР сформировалась геологическая служба в виде территориальных геологических управлений во всех крупных регионах. Это позволило в 1938 г. начать работы по составлению первой полистной государственной геологической карты СССР. Её составление завершилось в 1966 г.

Для территории Краснодарского края имеются сведения по листу К-37 (Сочи) о полезных ископаемых [1]. Равнинная территория Краснодарского края была охвачена исследованиями в ходе проведения геолого-съёмочных работ по листу L-37 (Ростов) [2].

В целом, развитие государственного геологического картографирования на этом этапе способствовало интенсификации геофизических, гидрогеологических, геохимических и других региональных работ.

2. *Государственная геологическая карта масштаба 1: 1000000 (новая серия)*. Вопрос о издании новой серии геологической карты страны был поднят в 1963 г. в связи с тем, что в ходе многочисленных средне- и крупномасштабных геолого-съёмочных, геофизических и других работ была получена новая информация. По состоянию на 1990 г. были изданы комплекты карт, на большей части территории союзных республик СССР они были завершены на 80%. Однако площади РСФСР ещё оставались неохваченными этим видом исследований.

На территорию Краснодарского края имеется информация по листу К-37, собранная в ходе проведения геолого-съёмочных работ 1981 г. [3], 1986 г. [4], а также 2000 г. [5].

3. *Государственная геологическая карта масштаба 1: 1000000 (третье поколение)*. В начале 90-х годов 20 в. после смены экономической политики и территориальных изменений возникла необходимость составления Геолкарты 1000/3. Создание карт планировалось провести камерально, с минимальным объемом “заверочных” полевых работ, с привлечением данных по дистанционному зондированию и ГИС-технологий. С 2002 г. были начаты работы по созданию карт третьего поколения.

В рамках данных работ для территории Краснодарского края выполнено исследование в 2008 г. [6]. В настоящий момент к 2025 г. планируется создать комплекты государственных карт на всю территорию РФ и её континентальный шельф [7].

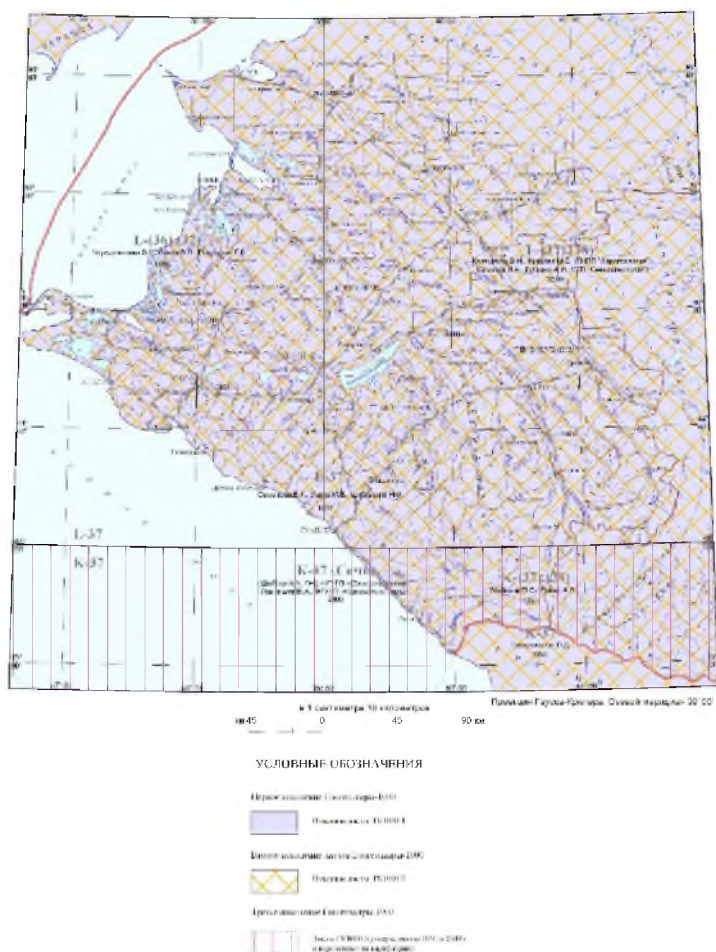


Рис. 1. Картограмма геологической изученности территории Краснодарского края в М 1: 1000000 (по данным ВСЕГЕИ)

В целом можно заключить, что геологическая изученность территории Краснодарского края в масштабе 1:1000000 неравномерная (рис. 1). Однако, проведенные к 2025 г. гидрогеологические, геофизические, геохимические и другие виды региональных работ дадут материал для развития государственного геологического картографирования.

Литература

1. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:1000000. Лист К-37 (Сочи). Объяснительная записка (1956). Карта полезных ископаемых (1956) / под ред. П.Д. Гамкрелидзе, 1956. Ессентуки. СК ТФГИ.
2. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:1000000, лист L-37 (Ростов). Объяснительная записка (1958) // Е.К. Семенова, М.В. Усков, Н.И. Цибовский, 1957. Ессентуки. СК ТФГИ.
3. Геологическая карта СССР масштаба 1:1000000 (новая серия). Серия Центрально-Европейская. Лист К-(37), (38) – Тбилиси. Объяснительная записка (1981) / под ред. Маймина Ю.С., Лунева А.Л., 1981. СК ТФГИ.

4. Геологическая карта СССР масштаба 1:1000000 (новая серия). Лист L-(36), 37 (Симферополь). Объяснительная записка (1986) / В.Г. Чердниченко, А.Л. Лунев., Г.В. Пасечный, 1986. Ессентуки. СК ТФГИ.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (новая серия). Серия Центрально-Европейская. Лист L-(37), (38) – Ростов-на-Дону. Объяснительная записка (2000) // Колтыгина В.И., Куваева М.Е. (ГНПП "Аэрогеология"); Ермаков В.А., Губкина А.Н. (ГТП "Севкавгеология"), 2000. Ессентуки. СК ТФГИ.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации Масштаба 1:1000000 (третье поколение) Серия Скифская Лист К-37 (Сочи) //А.А. Шейков (ГНЦ ФГУГП "Южморгеология"), В.А. Лаврищев ФГУГП "Кавказгеолсъемка", 2008. Ессентуки. СК ТФГИ.
7. *Петров О.В.* Государственная геологическая карта РФ масштаба 1: 1000000 (история создания, итоги и задачи работ). СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 79 с.
8. *Путинцев В.К., Стрельников С.И., Шапошников Г.Н.* Государственная геологическая карта РФ масштаба 1: 1000000 (история создания, итоги и задачи работ). СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. 32 с.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКАДЕМИКА А.В. ПЕЙВЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕХОСЛОВАКИИ

© А.С. Шешнёв

Институт всеобщей истории РАН, Москва

Аннотация. Исследование посвящено геологическим работам Александра Вольдемаровича Пейве (1909–1985) на территории Чехословакии в 1964 г. В Чехословакии А.В. Пейве, возглавлявший Геологический институт АН СССР, провел ряд научно-организационных мероприятий. Исследования были направлены на ознакомление с докембрийской и палеозойской тектоникой Чешского массива и изучение главных особенностей альпийской структуры Западных Карпат и Татранских покровов. Полевые маршрутные работы были проведены по Чешскому массиву и в Западных и Центральных Карпатах. Работы на территории Чехословакии позволили по-новому взглянуть на ряд геологических вопросов с точки зрения мобилистской геотектоники.

Ключевые слова: А.В. Пейве, СССР, Чехословакия, Геологический институт АН СССР, научные связи

Александр Вольдемарович Пейве (1909–1985) наиболее известен исследованиями в области геотектоники. К ключевым направлениям его работ относится: учение о глубинных разломах земной коры, учение о направленном превращении океанической коры в континентальную, обоснование тектонического характера расслоенности литосферы. Вместе с тем он был геологом широкого профиля, работы которого оказали влияние на развитие металлогении, литологии и ряда других направлений геологии [10].

А.В. Пейве в течение 25 лет (1960–1985) руководил Геологическим институтом АН СССР. В это время активизируется его международная научная и научно-организационная работа. Проводились многочисленные полевые геологические исследования, позволившие сформировать обширные представления о геологии многих регионов, а затем теоретически обобщить полученный фактический материал.

В 2020 г. издано обзрение хранящегося в Архиве РАН фонда А.В. Пейве [11]. В настоящем исследовании представлен материал, относящийся к работам А.В. Пейве в Чехословакии в 1964 г., базирующийся на делах личного фонда Архива РАН. Представляется, что частный эпизод научной работы представляет интерес и как часть биографии одного из крупнейших советских геологов, и как часть сотрудничества Геологического института АН СССР с зарубежными коллегами.

В июне 1964 г. А.В. Пейве в течение трех недель (1–22 июня) посетил Чехословакию с научной командировкой с задачами общего ознакомления с докембрийской и палеозойской тектоникой Чешского массива и более подробном изучении главных особенностей альпийской структуры Западных Карпат и Татранских покровов. Большой интерес представляло изучение проблемы «корней» Татранских (субтатранских) покровов – Крижнянского, Хочского и Стражовского [5]. В Чехословакии выполнены маршруты в область Вепорид и Гемерид. В осуществлении программы полевых исследований большую помощь оказали чехословацкие специалисты академики Д.Н.

Андрусов и В.И. Зоубек и доктор М.В. Машка. Первоначальная программа научной командировки была рассчитана на четыре недели, но из-за общего собрания АН СССР А.В. Пейве необходимо было вернуться в Москву, и срок командировки сократился до трех недель. По возвращению из Чехословакии 26 июня 1964 г. А.В. Пейве избран академиком АН СССР.

В Праге А.В. Пейве посетил Президиум Чехословацкой АН. В отделе тектонофизики Института геологии, возглавлявшемся М.В. Машкой, состоялась беседа по проблемам моделирования тектонических структур, прежде всего, разломов. Прошло подробное ознакомление с отделом, ведущим исследования в области магматизма и метаморфизма, руководимым академиком В.И. Зоубеком.

В Карловом университете с деканом геологического факультета доктором З. Поуба подробно обсуждены детальные исследования по структуре одного из районов Чешского массива. В центральном Геологическом институте во главе с директором академиком Й. Свободой прошло ознакомление с результатами глубокого бурения и с планами дальнейших работ. Чехословацкими коллегами передан для Геологического института АН СССР комплект геологических карт масштаба 1 : 200 000 и новая сводная геологическая карта Чехословакии масштаба 1 : 2 000 000. А.В. Пейве подчеркивает, что все карты были «великолепными» и «издающимися открыто» [5, л. 2].

Большое впечатление на А.В. Пейве произвел осмотр геологической части Национального музея в Праге и небольшого хорошо устроенного геологического музея в Центральном геологическом институте. «К сожалению, подобных музеев в Москве нет», – отмечает А.В. Пейве [5, л. 3].

Первый большой маршрут проведен по Чешскому массиву совместно с доктором М. Машкой. К северу от Праги по долине Влтавы осматривали разрезы рифея, затем по реке Лабе (Эльбе) – разрезы верхнего мела, нарушенные многочисленными сбросами, особенно вдоль Лабского (Эльбского) глубинного разлома. Были осмотрены обнажения гнейсов в Рудных горах недалеко от Цинвальдского месторождения олова, пересечен Предрудногорский грабен северо-восточного простирания. По прибытию в Карловы Вары к маршруту присоединился академик В.И. Зоубек, проводивший экскурсию по минеральным источникам Карловых Вар, большому массиву варисских гранитов, Мариинско-Лазненскую зону разломов северо-западного простирания. В последующие дни изучены стратиграфический разрез палеозоя и структура Барандиенского синклинория в разрезах р. Бероунки около г. Скрыя и ряде других мест, прошло ознакомление с центром развития древнейшей горнодобывающей полиметаллической промышленности к востоку от Праги, где находятся крупнейшие редкометалльные месторождения.

По прибытию в Братиславу А.В. Пейве ознакомился с Геологическим институтом Словацкой Академии наук (директор академик Д.Н. Андрусов), Геологическим институтом управления (директор М. Кутан – специалист по новейшему магматизму Чехословакии) и Братиславским университетом. Словацкие коллеги передали в дар Геологическому институту АН СССР детальные геологические карты Словакии. А.В. Пейве в свою очередь передал коллегам некоторые издания Геологического института АН СССР и оттиски личных опубликованных работ. Между Д.Н. Андрусовым и А.В. Пейве установились дружеские связи. Словацкий геолог живо интересовался работами советского коллеги и пропагандировал их. В письме от 12 января 1966 г. Д.Н.

Андрусов интересовался: «Прошу сообщить, выходит ли Ваш журнал “Геотектоника”. Его нигде не видно в списках периодической литературы. Если можете, пошлите первые тетради, думаю, что и Вы сами изволили там поместить боевые статьи в защиту больших надвигов» [12].

Второй большой маршрут предполагал изучение альпийской структуры Западных Карпат, для чего в сопровождении академика Д.Н. Андрусова состоялся выезд в Западные и Центральные Карпаты, где к маршруту присоединились геологи А. Белый и Я. Быстрицкий. В ходе маршрута удалось ознакомиться с важнейшими чертами тектоники Карпат, сделать ряд важных заключений об их покровной структуре и наметить пути решения вопроса о генезисе и механизме покровообразования.

Детально изучалась «клипповая» зона Западных Карпат в бассейне реки Ваг. Сделан вывод о сдвиговой природе клипповой зоны Карпат: в Западных Карпатах, где ее простирает на северо-восток, имеет место левый сдвиг, а в Восточных Карпатах, простирающихся на северо-запад – правый сдвиг. Геологами дважды пересечена флишевая зона до краевого прогиба в районе Остравы. Затем изучена покровная структура Высоких и Низких Татр и маршрут продолжен на юг в область палеозойских Гемерид. «Все, что нам удалось видеть в Центральных Карпатах, не оставляет сомнения в покровной их структуре. Хорошо видно тектоническое налегание друг на друга тонких тектонических пластин одновозрастных, разнофациальных мезозойских серий», – заключает А.В. Пейве [5, л. 8–9].

По результатам совместных полевых наблюдений и изучения имеющихся у чешских и словацких геологов материалов отмечены некоторые разночтения в картографировании тектонических особенностей территории. Так А.В. Пейве с сожалением отмечает: «Чехословацкие геологи до сих пор не изучали сдвиги и их не знают. На детальных картах сбросы и сдвиги показаны одним знаком. Между тем, изучая эти карты, можно видеть, что для Карпат сдвиги, сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги чрезвычайно характерны. Прежде всего бросаются в глаза многочисленные сравнительно мелкие сдвиги, смещающие более ранние тектонические элементы. Общей закономерностью является то, что все северо-западные и субмеридиональные сдвиги – правые, а северо-восточные – левые. При этом ясно видно, что субмеридиональные разломы контролируют молодые неоген-четвертичные прогибы и молодой вулканизм. Вероятно, они являются сбросо-сдвигами» [5, л. 9].

Работы на территории Чехословакии позволили по-новому взглянуть на ряд геологических вопросов, а их осмысление сыграло определенную роль в развиваемых академиком учениях о глубинных разломах и эволюции земной коры [7, 8]. Взаимодействие А.В. Пейве с чехословацкими коллегами продолжалось многие годы (рис. 1). Чехословацкой академией наук академик А.В. Пейве был награжден почетной грамотой (рис. 2) за вклад в развитие международного сотрудничества в проблемной комиссии «Геосинклинальный процесс и формирование земной коры» [2], золотой медалью «За заслуги в геологических науках» [6].



Рис. 1. А.В. Пейве в одной из научных командировок в Чехословакии [1]

Мобилистские представления в трудах А.В. Пейве наглядно отражаются в серии его докладов на конференциях, публикациях и отчетах о научных командировках с 1960-х годов. В 1965 г. А.В. Пейве принял участие в работе VII Конгресса Карпато-Балканской геологической ассоциации в Болгарии, в 1967 г. – VIII Конгресса в Белграде. В его докладах отражены основные представления о тектонике Балкано-Карпатской области [9], основанные на мобилистических геотектонических представлениях, которые в то время в советской геологической науке не были широко распространены.

Za přínos k rozvoji mezinárodní spolupráce

v Problémové komisi IX.

"Geosynklinální proces a utváření zemské kůry"

uděluje se

akademiku A.V. Pejvemu

ČESTNÉ UZNÁNÍ

ČSAV



Рис. 2. Почетная грамота Чехословацкой академии наук [2]

В одном из ежегодных отчетов о научной работе академик пишет, что идеи мобилизма развивались им совместно с коллегами в ряде работ с 1960 г. Вместе с тем А.В. Пейве отмечает, что «объективная оценка показывает, что внедрение этих мобилистических идей, существенно развивающих глобальную тектонику плит, происходит у нас с трудом» [3, л. 9–10].

Полевые маршрутные исследования А.В. Пейве отражались в международных проектах, в первую очередь, по тектоническому картографированию. В течение 1961–1972 годов он был членом бюро, а с 1972 г. – председателем Комиссии по международным тектоническим картам АН СССР.

Научным коммуникациям между чехословацкими и советскими исследователями полагалось находиться в рамках «социалистической науки» с ее идеологическими рамками, однако нередко между учеными выстраивались личные связи и неформальные контакты научного диалога [4]. Личные связи в геологических исследованиях играли едва ли не ключевую роль: принимающая советских геологов сторона разрабатывала детали организации полевых маршрутов, точек наблюдения, обсуждение наблюдаемых процессов и явлений, снабжала имеющимся картографическим и прочим материалом. В этом отношении А.В. Пейве отмечает помощь чехословацких коллег и особенно большую роль академика Д.Н. Андрусова в осуществлении программы исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 20-78-10053.

Литература

1. Архив Российской академии наук (АРАН). Ф. 2006. Оп. 1. Д. 57. 1 л.
2. Диплом почетного члена АН Чехословакии // АРАН. Ф. 2006. Оп. 1. Д. 36. 1981. 2 л.
3. Индивидуальные отчеты о работе // АРАН. Ф. 2006. Оп. 1. Д. 74. 1975–1982. 10 л.
4. Ковалев М.В. Советско-чехословацкие научные коммуникации 1948–1991 гг.: роль формальных и неформальных связей // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. 2022. № 8 (38). С. 57–69.
5. Отчет о научной командировке в Чехословакию с 1 июня по 22 июня 1964 г. // АРАН. Ф. 2006. Оп. 1. Д. 64. 1964. 10 л.
6. Пейве Александр Вольдемарович // Информационная система «Архивы Российской академии наук». URL: <https://isaran.ru/?q=ru/person&guid=6231CDF2-601A-8CD0-EB00-5FB6CD63D9D6> (дата обращения: 10.06.2023).
7. Пейве А.В. Избранные труды. Т. 1. Глубинные разломы и их роль в строении и развитии земной коры. М.: Наука, 1990. 352 с.
8. Пейве А.В. Избранные труды. Т. 2. Эволюция земной коры и мобилизм. М.: Наука, 1991. 255 с.
9. Пейве А.В. Основные черты тектоники Балкано-Карпатской области // Карпато-Балканская геологическая ассоциация. VIII конгресс. Геотектоника. Белград, 1967. С. 173–178.
10. Проблемы геодинамики литосферы. М.: Наука, 1999. 289 с.
11. Щепанская Ю.В. Пейве Александр Вольдемарович (1909–1985) // Архивный поиск. Вып. 3. / Отв. ред. С.А. Лиманова. М.: Архив РАН, 2020. С. 456–461.
12. Письмо Д.Н. Андрусова А.В. Пейве от 12 января 1966 г. // Ústredný archív Slovenskej akadémie. Krab. 26. Inv. č. 605.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3

I. ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЮГА РОССИИ

Акулич И.В., Ефимов В.И., Бондаренко Н.А. УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НЕФТИ И ГАЗА	7
Багатаев Р.М. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗОЛОТОНОСНОСТИ КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ ГОРНОГО ДАГЕСТАНА	13
Бакраев М.М., Кадыров Л.Х., Умаев А.А., Весенгериев Р.Р. ОГРАНИЧЕНИЕ ПРОРЫВОВ ГАЗА И ПОВЫШЕНИЕ ОХВАТА ПЛАСТА ВЫТЕСНЕНИЕМ ПО ДОБЫВАЮЩИМ СКВАЖИНАМ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОЙТ-КОРТ	20
Бачаева Т.Х., Прозорова Г.Н. ГРАДИЕНТЫ ДИНАМИКИ МИГРАЦИИ ФЛЮИДОВ УВ ЗАЛЕЖЕЙ ВЕРХНЕМЕЛОВОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВУАРА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА КАК ФАКТОР ПЕРСПЕКТИВНОСТИ НОВЫХ СТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ	26
Белуженко Е.В. К ВОПРОСУ О КАРТИРОВАНИИ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В ПРОЦЕССЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДОИЗУЧЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ 200 000 МАСШТАБА	40
Белуженко Е.В. К ВОПРОСУ О ТИПИЧНЫХ ОШИБКАХ МЕТОДИКИ И ТАКТИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ И ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА РУДНОЕ ЗОЛОТО	49
Бобомуротов Б.Б., Январёв Г.С. СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ ТЕЛ НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ЗАПАДНОГО ФЛАНГА УРУПСКОГО МЕДНО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)	58
Богущ И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А. ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА	64
Бойко Н.И. О МЕТАЛЛОГЕНИИ КИММЕРИЙСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАСЕЙНА ЮГА РОССИИ.....	73
Бубнов С.Н., Кондрашов И.А., Гольцман Ю.В., Олейникова Т.И. МОЛОДЫЕ ИГНИМБРИТЫ БОЛЬШОГО КАВКАЗА: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, ОСОБЕННОСТИ СОСТАВОВ И ИСТОЧНИКИ ПЕРВИЧНЫХ МАГМ.....	78
Глухов В.С., Панкрушина Е.А., Рянская А. Д., Илгашева Е.О., Селезнев А.А., Малиновский Г.П., Ярмошенко И.В. МЕТОД ШЛИХОВОГО АНАЛИЗА С РАСЧЕТОМ ОКАТАННОСТИ ПЕСЧАНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЧАСТИЦ СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-ДЕПОНИРОВАННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Г. ТЮМЕНЬ	87

Кайгородова Е.Н., Любимцева Н.Г. СУЛЬФОСОЛИ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАДУЖНОЕ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА) КАК ИНДИКАТОР УСЛОВИЙ РУДООБРАЗОВАНИЯ.	95
Даукаев А.А. О ПРОБЛЕМЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВОСПОЛНЯЕМОСТИ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УВ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)	102
Лысенко В. И., Шик Н.В., Полудеткина Е.Н. ФЛЮИДЫ ХОЛОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ НА ПОДВОДНОМ БЕРЕГОВОМ СКЛОНЕ В БУХТЕ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)	110
Лысенко В.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБРАЗОВАНИЮ КАРБОНАТА ЗА СЧЁТ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНА СООБЩЕСТВОМ ПРОКАРИОТ И АРХЕЙ.....	118
Немцов Н.И., Скворцов М.Б., Титаренко И.А., Ступакова А.В., Березий А.Е., Можегова С.В., Немцов И.Н., Пайзанская И.Л., Гейдеко Т.В., Грошев В.Г., Мордасова А.В., Меркулова Н.М. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПО НОВЫМ ДАННЫМ ГРР	124
Новикова А.С., Еременко О.В. МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗАПАСОВ ФЛИШОИДНОГО ГАЗА ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА	135
Парада С.Г. ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА.....	141
Пинчук Т.Н., Фурсина А.Б. ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОНКСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ	149
Полина С.Д., Данцова К.И., Файзуллин Г.И. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕКТониКИ, ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-КУБАНСКОГО ПРОГИБА И БОЛЬШОГО КАВКАЗА.....	157
Попков В.И., Попков И.В., Ларичев В.В. УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ СКОПЛЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОЮРСКОМ РАЗРЕЗЕ СКИФСКО-ТУРАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	164
Попов Ю.В., Никулин А.Ю., Шарова Т.В. ЛИСТВЕНИТЫ ДАХОВСКОГО И ТХАЧСКОГО СЕРПЕНТИНИТОВЫХ МАССИВОВ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ).....	170
Попов Ю.В., Никулин А.Ю., Пустовит О.В., Райко А.Н., Шарова Т.В. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЖАДЕИТИТОВ ИЗ РОССЫПИ АЧЕШБОКСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ).....	174
Сулейманов В.К., Юсупов А.Р., Мамаев А.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАБАЗОВ КУРДУЛЬСКОЙ ПЛОЩАДИ КАК СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА.....	178
Тимошина В.А., Любимова Т.В. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г.-К. ГЕЛЕНДЖИКА	183

Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Лукашук А.Г., Тотурбиев А.Б., Рагимов Р.Ф., Журавлев М.М. ИССЛЕДОВАНИЯ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ	191
Хаустов В.В., Лукьяненко Н.А. О ФОРМИРОВАНИИ ВОДОПРИТОКОВ В ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	200
Черкашин В.И., Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С. ТЕРСКО-КУМСКИЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	208
Яндарбиев Н.Ш., Мельников П.Н., Шадиев М.И., Немцов Н.И. ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДЧАТОГО ОСНОВАНИЯ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ.....	218
II. ГЕОФИЗИКА. ГЕОДИНАМИКА. СЕЙСМОЛОГИЯ	
Бурдзиева О.Г., Мельков Д.А., Ревазов М.О. МОДЕЛИ ПРОТЕКАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА ОЖИДАЕМЫХ МАСШТАБОВ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ	229
Васьков И.М., Маковозова З.Э., Караев Ю.И. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – ИНДИКАТОРЫ ДИНАМИКИ ЭНДОГЕННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В ТЕКТОНОСФЕРЕ.....	237
Вольфман Ю.М., Колесникова Е.Я. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ СЕЙСМОГЕНЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ ТУРЦИИ В 2023 ГОДУ ПО ДАННЫМ ФОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	248
Габсагарова И.П., Зверева А.С. СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В ПЕРВУЮ ЧЕТВЕРТЬ XXI ВЕКА	257
Додуев А.А., Керимов И.А., Эльжаев А.С. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ).....	265
Дударов З.И., Саяпина А.А., Дмитриева И.Ю. АКТИВИЗАЦИЯ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ ЭЛЬБРУССКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА	274
Заалишвили В.Б. ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ	280
Идармачев Ш.Г., Идармачев И.Ш. ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НЕУСТОЙЧИВОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА	289
Идармачев Ш.Г., Идармачев А.Ш. ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	297
Керимов И.А. АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ РАЗЛОМНО-БЛОКОВЫХ СТРУКТУР.....	305

Куропаткина Т.Н. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ КАК ФАКТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ	311
Макеев В.М., Ревазов М.О. НЕОТЕКТОНИКА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА С ОЦЕНКОЙ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ (РАЙОН Г. ГЕЛЕНДЖИКА).....	315
Мамаев С.А., Черкашин В.И., Ибаев Ж.Г., Магомедов Р.А., Кондаков В.М., Алимагомедов А.А., Сулейманов В.К., Мамаев А.С., Ахмедов А.С. СМР – ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА.....	325
Мельков Д.А., Фидарова М.И. РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ МЕРЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО ДАННЫМ СЕТИ К-NET	340
Мельков Д.А., Абаева З.В. ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	348
Мясников А.В. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ОТКЛИК ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИЛИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ	357
Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э. О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМОСТАНЦИЙ КРЫМА «ТАРХАНКУТ» И «ДОНУЗЛАВ» В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	366
Саяпина А.А., Багаева С.С., Дмитриева И.Ю., Чивиева Т.В., Сдельникова И.А., Горожанцев С.В. О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНАХ В 2022 ГОДУ	373
Свалова В.Б. ГЕОДИНАМИКА КАВКАЗСКО-АНАТОЛИЙСКОГО РЕГИОНА И ТУРЕЦКО-СИРИЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2023 ГОДА	384
Сдельникова И.А., Саяпина А.А., Габсатаров Ю.В., Владимирова И.С., Горожанцев С.В. СПУТНИКОВЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ - АЛАНИЯ.....	393
Стогний В.В., Габараев А.Ф., Ксенофонтов И.В., Мельков Д.А., Тригубович Г.М. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭМИ-МОНИТОРИНГА В КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ	400
Стогний В.В., Пономарева Н.Л. БАРИСАХСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА: ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ.....	404
Фролова Н.И., Суцев С.П., Малаева Н.С., Габсатарова И.П. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ Г. КРАСНОДАРА.....	409
Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Тулышева Е.В., Мамаев А.С., Юсупов З.А. ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В ЗОНЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ АКСАЙСКОГО И ПШЕКИШ-ТЫРНЫАУЗСКОГО РАЗЛОМОВ	416

III. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЭКОЛОГИИ. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Акаев А.Р., Шидугов И.Ж. ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЛЕДНИКОВОЙ ЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕДНИКА МИЖИРГИ).....	425
Ахсалба А.К., Марандиди С.И., Экба Я.А., ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ.....	431
Атабиева Ф.А., Отарова А.С. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕКАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА...	437
Беккиев М.Ю., М Докукин.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р., Анаев М.А. ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕВОГО ПОТОКА 5 АВГУСТА 2022 Г. НА Р. ГЕРХОЖАНСУ.....	445
Бекмурзаева Л.Р., Керимов И.А., Братков В.В. АНАЛИЗ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА	455
Гайрабеков У.Т., Даукаев А.А., Усманов А.Х. ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ОСВОЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....	464
Гуля А.Н. КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ.....	469
Гусейнова Л.А. РОЗЕЛЛИНИОЗНАЯ КОРНЕВАЯ ГНИЛЬ СЛИВОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЗЕРБАЙДЖАНА.....	475
Дега Н.С. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА РЕКИ КУБАНИ НА ТЕРРИТОРИИ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ	480
Иванусь И.В. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНАХ ПРОХОЖДЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ	486
Калмыков Н.П., Белоцерковская И.Н. СНИЖЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ТЕРИОФАУНЫ В ПРЕДКАВКАЗЬЕ – СВИДЕТЕЛЬСТВО ПЕРМАНЕНТНОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ.....	489
Кануков А.С., Корбесова К.В. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ	498
Караев Ю.И., Валиева Т.С. ОХРАНА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ	506

Кендирбаева Дж.Ж. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН – ОСНОВА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ КЫРГЫЗСТАНА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.....	513
Керимов А.М., Акшаяков З.Т., Курашева О.А., Ашабоков А.Б. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ О СЕЛЕВОЙ И ПАВОДКОВОЙ ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ С.П. ВЕРХНЯЯ БАЛКАРИЯ (КБР).....	521
Кешева Л.А., Теунова Н.В. НЕСАНКЦИОНИРОВАННАЯ СВАЛКА КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	526
Кучменова И.И. ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р.ЧЕГЕМ....	534
Лагута А.А., Погорелов А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДОМ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ.....	539
Литвинская С.А. ОРХИДЕИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ЗАКАВКАЗЬЯ.....	547
Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Оганесян А.Х., Дзиов Б.Ю. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПОДВОДНОЙ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	553
Маковозова З.Э., Агузаров Х.Б., Гояев М.М. К ВОПРОСУ О ПАРАМЕТРАХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКЕ РИСКА РАЗВИТИЯ В НИХ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНОЙ ОСЕТИИ)	562
Мамадиев Н.А., Махмудова Л.Ш., Сатосина Е.М. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ НА ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УЧАСТКАХ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА ГГНТУ ИМЕНИ АКАД. М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА.....	567
Меликов М.М., Меликов Я.М. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ С ЦЕЛЬЮ НАРАЩИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДР	573
Микерина Т.Б., Пинчук Т.Н. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И ТЕКТониКИ НА НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ.....	580
Орцухаева З.Ш., Магомадова Л.И. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ СУНЖА (В ПЕРИОД 2000-2022 ГГ.).....	588
Решетняк О.С., Комаров Р.С. ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИОННОГО СТОКА РЕКИ ЛАБЫ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД.....	593
Самедов Ш.Г. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НИЗМЕННОГО ДАГЕСТАНА (В ПРЕДЕЛАХ КИЗЛЯРСКОГО РАЙОНА)	600

Сударев А.П., Ивлиева О.В., Сапрыкин В.В. ТИПЫ ОПОЛЗНЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА БЕРЕГАХ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	607
Тайсумов М.А., Умаров М.У., Астамирова М.А.-М., Байбатырова Э.Р., Хасанова М.И., Гапаев Я.С., Умаров Р.М. СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ УРУС-МАРТАНОВСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКАЗНИКА	615
Тасенко Д.С., Скрипчинская Е.А., Паташова Е.С. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА Г. ЕССЕНТУКИ	625
Ташилова А.А. СТАТИСТИКА СЕЛЕВЫХ СХОДОВ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ КБР	631
Теунова Н.В., Кешева Л.А. АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА ПЕРИОД 1961-2022 ГГ. ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ ВЛАДИКАВКАЗ	637
Фоменко В.А., Айбуш А.В., Соколов А.А., Тимошина В.А., М.А. Аксенова МЕТОД ОЦЕНКИ ПЕРЕНОСА РАДОНА И ЕГО ДПР ТЕЧЕНИЯМИ АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ В ГОРНЫХ УЩЕЛЬЯХ	646
Харыбина А.С., Юмашева А.К. ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТРАНССАХАЛИНСКОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ В МАКАРОВСКОМ РАЙОНЕ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ	654
Шевченко А.В., Селезнев А.А., Малиновский Г.П., Ярмошенко И.В. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПЫЛЕГРЯЗЕВОГО ОСАДКА В РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ	662
Экба Я.А., Ахсалба А.К., Марандиди С.И., Хинтуба Л.В. БАЛАНС КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ И ЕГО РОЛЬ В ПАРНИКОВОМ ЭФФЕКТЕ НА ТЕРРИТОРИИ АБХАЗИИ	676
Юрова Ю.Д., Широкова В.А., Широков Р.С. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОРТАЛ «ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ БАССЕЙНА Р. ОСЁТР»	684
IV. ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ	
Белуженко Е.В., Пинчук Т.Н. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ НАДМАЙКОПСКИХ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА	693
Второв И.П. ВКЛАД К.П. КАЛИЦКОГО В НЕФТЯНУЮ ГЕОЛОГИЮ ЮГА РОССИИ: К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	703
Гагаева З.Ш., Керимов И.А. ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (XVIII В. – ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА XX В.)	709
Исаева Р.М. НАУЧНЫЕ КРАЕВЕДЧЕСКИЕ ОБЩЕСТВА И СТАНОВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЧЕЧНЕ: 20-Е ГГ. XX В.	713

Керимов И.А. АКАДЕМИК Г.В. АБИХ – ИССЛЕДОВАТЕЛЬ ГЕОЛОГИИ КАВКАЗА	718
Низовцев В.А., Эрман Н.М. РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛАНДШАФТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АНТИЧНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ БОСПОРСКОГО ЦАРСТВА (КЕРЧЕНСКИЙ И ТАМАНСКИЙ ПОЛУОСТРОВА).....	725
Озерова Н.А. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИДОВ БОРЩЕВИКОВ ДЛЯ ИХ ИНТРОДУКЦИИ В СССР (1930-1940-Е ГГ.)	733
Печенкин И.Г., Якушина О.И., Луговская И.Г. ВКЛАД ПРОФЕССОРА ВЯЧЕСЛАВА ГАВРИЛОВИЧА МЕЛКОВА В ИЗУЧЕНИЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД.....	743
Собисевич А.В. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЭС «НАГЛУ» В АФГАНИСТАНЕ (1960-1968 ГГ.).....	752
Чеснов В.М. РЕТРОСПЕКТИВА ИЗУЧЕНИЯ ЮЖНОЙ РОССИИ: «КОСМИЧЕСКАЯ» КОМПОНЕНТА	755
Шелакина М.А. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МАСШТАБА 1:1000000 (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ).....	761
Шешнёв А.С. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКАДЕМИКА А.В. ПЕЙВЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕХОСЛОВАКИИ.....	765

Научное издание

ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова
ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН
Академия наук Чеченской Республики
Геофизический институт ВНЦ РАН
Институт геологии ДФИЦ РАН
Департамент по недропользованию по СКФО (Кавказнедра)

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

Том XIII

Коллективная монография

Научные редакторы:

д.ф.-м.н., профессор И.А. Керимов (АН ЧР, ИИЕТ РАН)
д.г.н., профессор В.А. Широкова (ИИЕТ РАН, ГУЗ)
д.ф.-м.н., профессор В.Б. Заалишвили (ГФИ ВНЦ РАН)
д.г.-м.н., профессор В.И. Черкашин (Институт геологии ДФИЦ РАН)

Технический редактор – З.Ш. Гагаева
Компьютерная верстка – А.А. Батукаев

Подписано в печать 17.11.2023. Формат 70×108 $\frac{1}{16}$
Бумага офсетная. Тираж 350 экз.
ООО «Формат», г. Грозный, ул.им. Гайрбекова, 72