

**Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
Министерство образования, культуры и исследования РМ
Академия наук Республики Молдова
Институт геологии и сейсмологии**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Тезисы XIV Международной сейсмологической школы
Республика Молдова, 9–13 сентября 2019 г.**

MODERN METHODS OF PROCESSING AND INTERPRETATION OF SEISMOLOGICAL DATA

**Abstracts of the XIV International Seismological Workshop
Moldova, September 9–13, 2019**

Обнинск – 2019

УДК 550.34
ББК 26.217
С568

Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – 136 с.

ISBN 978-5-903258-39-0

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XIV Международной сейсмологической школе «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», состоявшейся в Республике Молдова 9–13 сентября 2019 года. Рассматривается широкий круг вопросов современной сейсмологии.

Публикуемые материалы представляют интерес для сейсмологов, геофизиков, геологов и других специалистов в области наук о Земле.

Редакционная коллегия

Член-корреспондент РАН А.А. Маловичко (отв. ред.), д-р наук И.Н. Никоара, С.Г. Пойгина (техн. ред.), канд. техн. наук Ю.А. Виноградов, канд. физ.-мат. наук Р.А. Дягилев, канд. физ.-мат. наук И.П. Габсатарова, канд. физ.-мат. наук Н.В. Петрова, канд. физ.-мат. наук О.Е. Старовойт.

Подготовка и издание сборника осуществлены в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XIV International Seismological Workshop / Editor A.A. Malovichko. – Obninsk: GS RAS, 2019. – 136 p.

Abstracts contain the reports submitted at the XIV International Seismological Workshop «Modern methods and interpretation of seismological data» taken place at the Moldova on September 9–13, 2019. The broad range of problems of modern seismology is observed.

Proceedings are of interest for seismologists, geophysicists, geologists and other specialists working in the area of sciences of the Earth.

Editorial Staff

Corresponding member of RAS A.A. Malovichko (editor), Dr. I.N. Nikoara, S.G. Poygina (technical editor), PhD Yu.A. Vinogradov, PhD R.A. Dyagilev, PhD I.P. Gabsatarova, PhD N.V. Petrova, PhD O.E. Starovoit.

ISBN 978-5-903258-39-0

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2019

UPLIFT AND SEISMIC STRUCTURE OF THE GREATER CAUCASUS. SECOND STAGE OF PROJECT

¹PhD E.A. Sandvol, ²PhD J.L. Nabelek, ³PhD K.G. Mackey,
⁴Corr. Mem. RAS A.A. Malovichko, ⁴PhD R.A. Dyagilev,
⁴PhD Yu.A. Vinogradov, ⁵PhD D.Yu. Shulakov, ⁶Dr. T. Godoladze,
⁷PhD H. Babayan, ⁸Corr. Mem. ANAS G.J. Yetirmishli
¹*University of Missouri-Columbia, Columbia, Missouri, USA*
²*Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA*
³*Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA*
⁴*GS RAS, Obninsk, Russia*
⁵*MI UB RAS, Perm, Russia*
⁶*Institute of Earth Science, Ilia State University, Tbilisi, Georgia*
⁷*IGS NAS RA, Yerevan, Armenia*
⁸*RSSC ANAS, Baku, Azerbaijan*

The ongoing ‘Uplift and Seismic Structure of the Greater Caucasus’ project is using seismology and geophysics to determine the mechanism of uplift for the Greater Caucasus and to better understand the origin of large earthquakes in the region. This project represents the most comprehensive geophysical study of the Greater Caucasus.

We are currently in the second deployment phase of the project following redeployment in late 2018. This redeployment lengthened our main profile such that it now extends past Lake Sevan into southern Armenia. The north part of profile was lengthened due to redeployment of 12 Russian stations (Fig. 1). Three short-period stations were reequipped with broadband sensors (ERBR, LABN и GOF) in North Caucasus region. As result, the total number of involved in the project Russian broadband stations reached 30 by the end 2018.

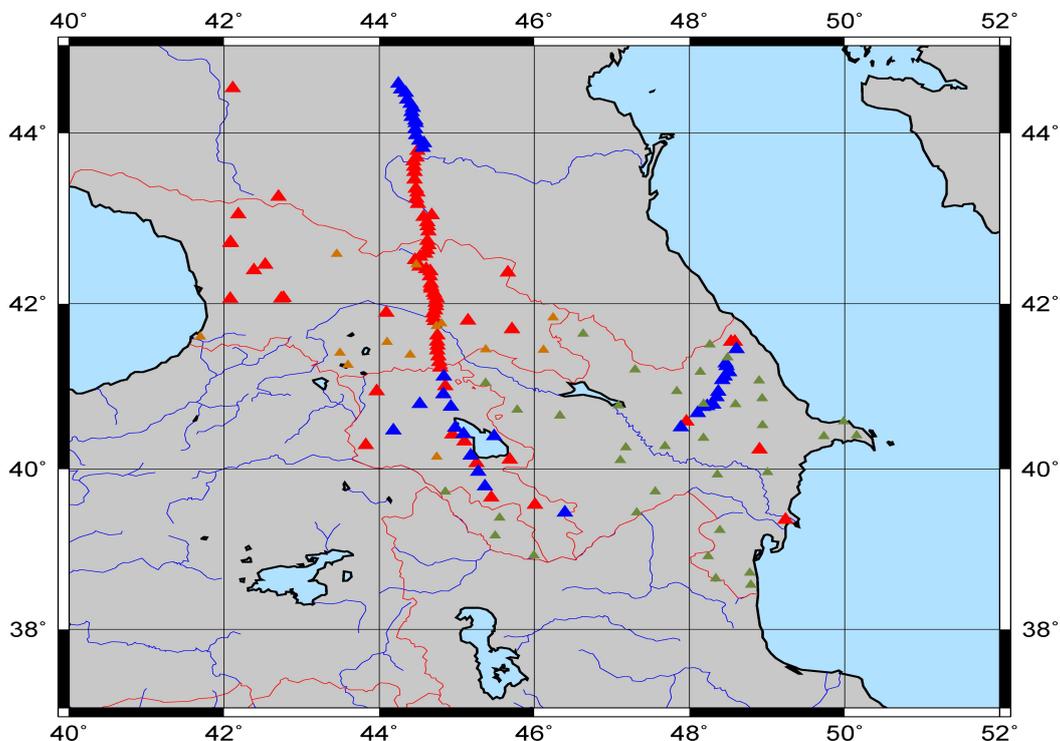


Fig. 1. A station map showing the phase 2 deployment (newly deployed stations are shown in blue) of the CNET (Caucasus Seismic Network) that includes over 120 broadband seismic stations deployed across the region. This re-deployment was finished in October of 2018

An additional important feature of the redeployment was the establishment of a second profile in Azerbaijan across the high peaks of the eastern end of the Greater Caucasus range. The second profile will be used to compare the lithospheric structure at both ends of the mountain belt.

One of our project goals is to characterize seismicity across Lesser and Greater Caucasus. It is reasonably well known that large number of earthquakes have occurred across the Greater Caucasus and the Kura basin. It is interesting to note that appears to be intermediate depth events in portions of the Greater Caucasus but also in the Kura basin. We have used Republican Seismologic Survey Center (RSSC) earthquake catalog provided to us by the Azerbaijan National Seismic Network to calculate high-resolution three-dimensional velocity models and re-located earthquake hypocenters. Azerbaijan has the most advanced seismic network in the region and is comprised of 35 permanent broadband stations. We used earthquake catalogues from this network between the years of 2011–2016 to produce a relocated catalog and then produce tomographic models with the double-difference (DD) tomographic algorithm (Fig. 2).

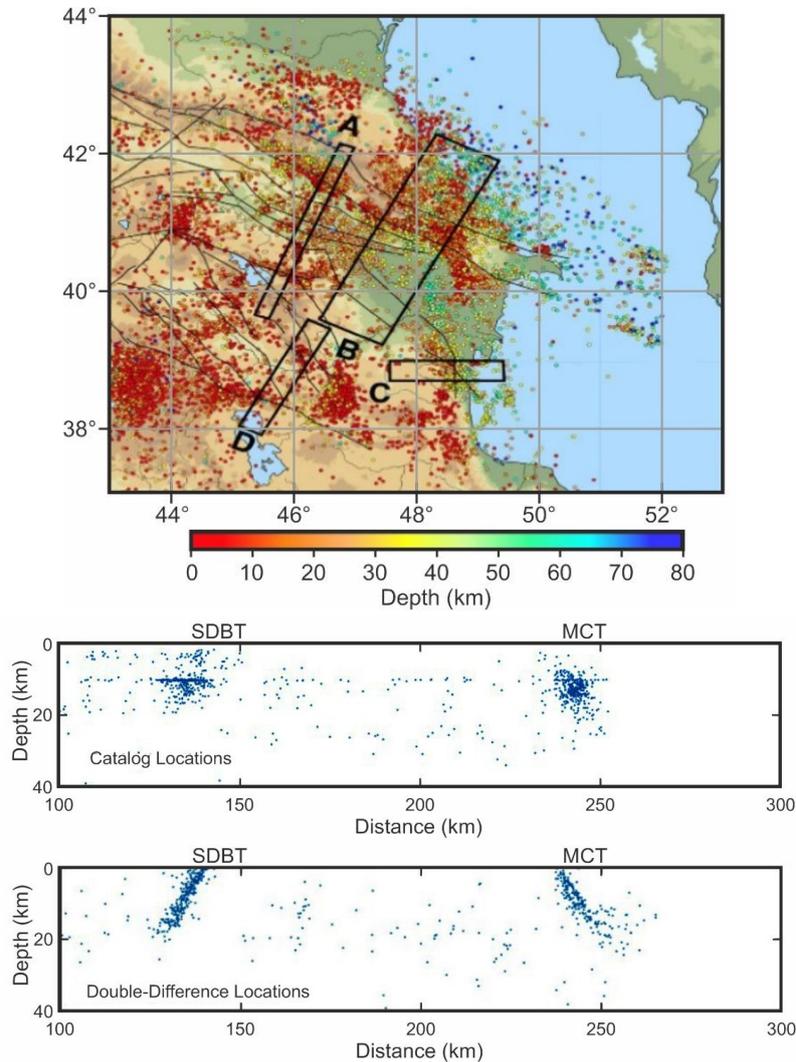


Fig. 2. (TOP) Epicentral map of the double difference (DD) relocations. Multicolored points represent earthquake locations and the colors refer to the depth. Block boxes corresponded to locations of cross sections. Thin black lines represent mapped faults in the region. (BOTTOM) Example of the hypocentral relocations that the double-difference accomplishes from its event-pair least squares minimization scheme for Box B shown in the map to the right. The top Fig. shows the catalogue locations provided to the study by the Azerbaijan Seismic Network. The Main Caucasus Thrust (MCT) and a south-dipping bounding thrust (SDBT) are labeled based on their proximity to the known surface expressions of these faults. The bottom Fig. are the relocated hypocenters after 10 iterations in tomoFDD

We observe (Fig. 2) that the relocated hypocenters converge onto discrete planes, at the surface and at depth, that appear to correspond to major fault zones in the region. We also observe thinned crust and elevated velocities beneath the Kura basin which may indicate the presence of oceanic crust which would be consistent with ongoing subduction beneath the EGC.

We have also worked to characterize crustal attenuation across the southern Greater Caucasus using the Lg phase. The Lg phase is a prominent regional phase in seismograms for continental sources and travels via crustal guide wave with a relatively narrow frequency band near 1 Hz (between 0.2 and 5 Hz) and a group velocity near 3.5 km/s. It has been modeled either as a superposition of higher mode surface waves or a multiply reflected shear wave that is trapped in the crust. Since Lg wave propagates in the entire crust, it could provide a measure of the depth-averaged crust property of the crust along the propagation ray path. Lg wave is usually highly attenuated in the tectonically active regions. We find extremely high crustal attenuation and corresponding very low $Lg Q$ values (Fig. 3). For the Lesser Caucasus we find $Lg Q$ of 150 or less. We find similarly low crustal $Lg Q$ for the Kura Basin in the eastern end of the Greater Caucasus and the Rioni basin at the western end of the Greater Caucasus. In the central portion of the Greater Caucasus, we find moderately low $Lg Q$ values suggesting that the sediments cause very high Lg attenuation in the Kura and Rioni basins. In Armenia we suggest that small amounts of crustal melt or high temperatures causes the high attenuation since there is little to no sedimentary cover here.

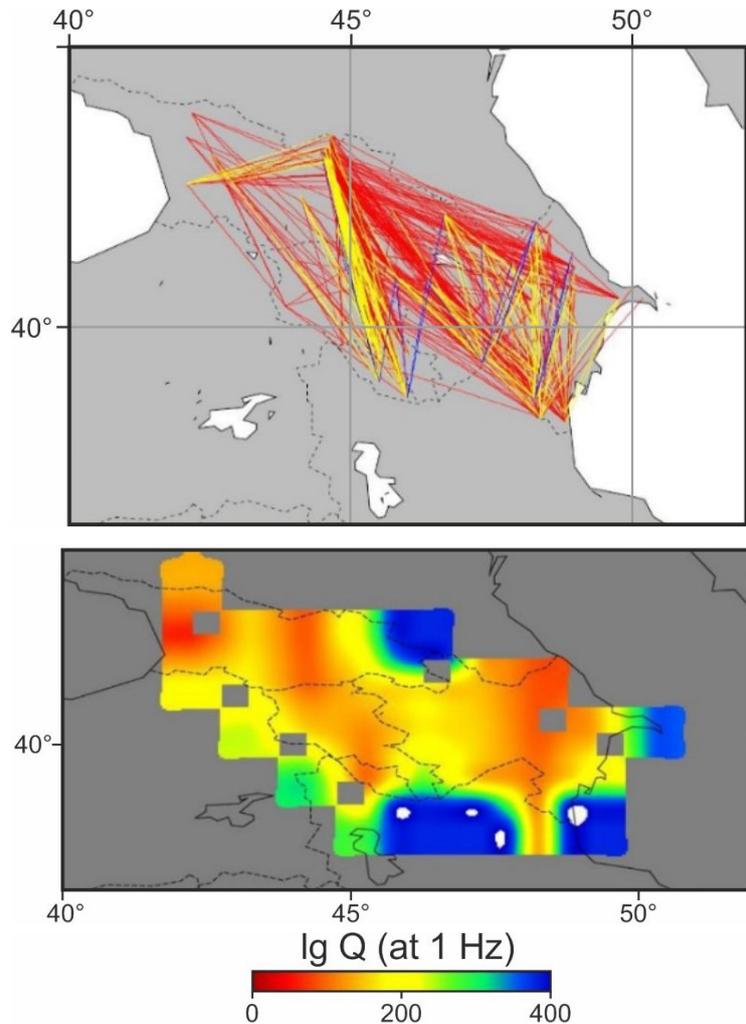


Fig. 3. A preliminary $Lg Q$ map for the southern Greater Caucasus. We found evidence of very strong Lg attenuation to the extent we see Lg blockage across the Greater Caucasus. We see $Lg Q$ values below 100, which is extremely high attenuation. This is likely because of the crustal root beneath the Greater Caucasus and the Kura and Rioni sedimentary basins

Ambient noise tomography can generate a reliable three dimensional model of V_S for all of the Lesser and Greater Caucasus. A preliminary study used 10 months of continuous seismic data that was processed to obtain Empirical Green's Functions (EGFs) in the Caucasus. Over 6500 EGF's with signal to noise ratios (SNR) of greater than 7 were generated. More than 2500 relatively high quality phase velocity dispersion curves obtained from EGF's are processed in this study. We removed a large number of potential dispersion curves by applying the criteria of $\Delta R > 3cT$, where ΔR is the interstation distance, c is the phase velocity which is taken as $c=3.5 \text{ km/s}$ and T is the period. After applying this criteria, the total number of possible two station is still over 6000 for 15 seconds period Rayleigh waves but less than 100 for 50 seconds. An example of two good SNR EGF's is shown in Fig. 4. Longer term, we will combine the ambient noise shear wave velocity model with receiver function images.

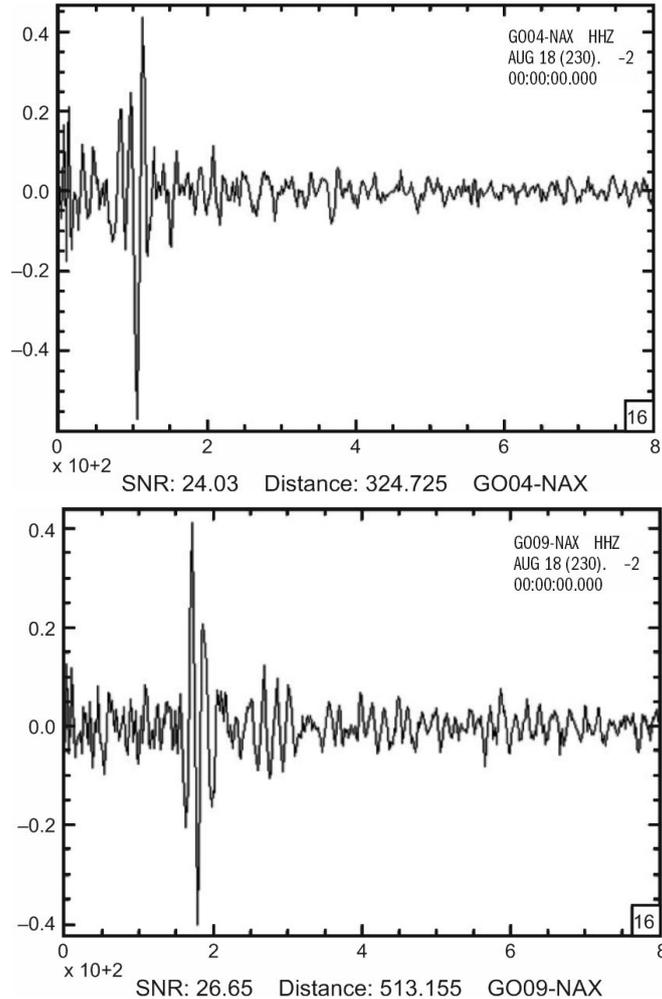


Fig. 4. An example of Empirical Green's Functions (EGF) for Ambient noise for two station pairs between two Different XA stations along the Georgian profile and one of the permanent Azerbaijan national stations. In both cases we are showing the causal component of the EGF

Shear wave splitting can provide constraints on seismic anisotropy at depth below the Caucasus. This further constrains regional strain, which can shed light on active deformation. We selected a list of teleseismic earthquake sources from the USGS Search Earthquake Catalog, and extracted waveforms from the Caucasus stations. Arrivals of *SKS*, *SKKS*, and *PKS* phases were manually windowed $\sim 5-7$ seconds before the arrival of the phases and one cycle or ~ 3 seconds after the end of the phases. These windows are then cut and processed to measure parameters of the split shear waves; the lag time between the fast and slow phases and the orientation of the fast phase (or fast direction). We used the method from Silver and Chan (1991) to measure the splitting from a single anisotropic layer. This is computed rotating the data

to great circle path and doing a grid search where the radial and transverse are rotated from -90° to 90° in intervals of 1° and shifting the time from 0 to 4 seconds in intervals of 1.33 seconds, simultaneously. The best pair of lag time and fast direction is the one that produces the lowest tangential energy. An example is station AZ04 in Azerbaijan shown in Fig. 5.

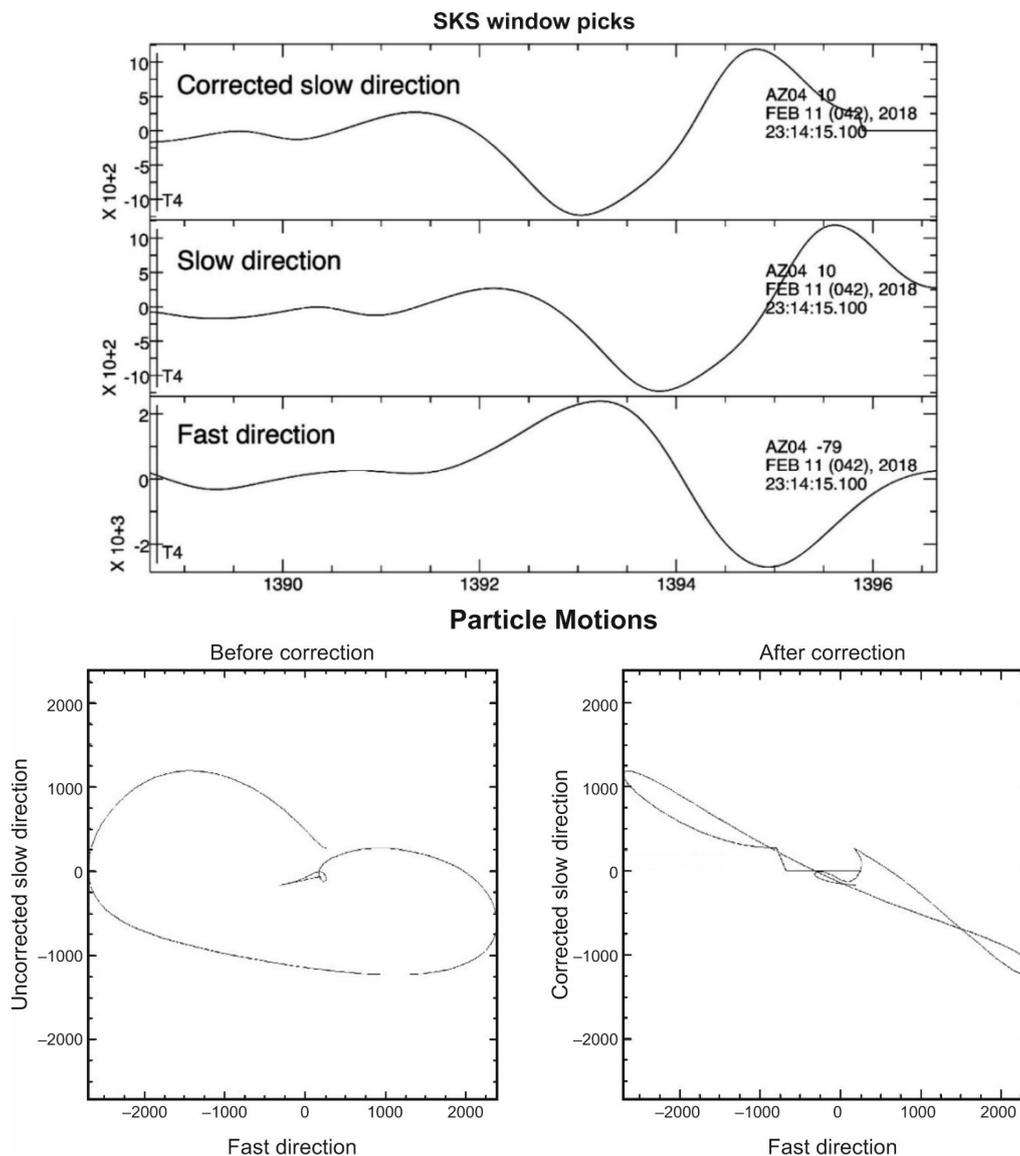


Fig. 5. Shear wave splitting in station AZ04 from a 6.2 *M_b* earthquake in Feb 11, 2018 ENE of Guam. (TOP) The two bottom waveforms show the fast and slow directions of the split SKS and the top one shows the slow direction corrected with the time shift. (BOTTOM) the left plot shows the particle motions of the fast direction vs the slow direction (uncorrected) and the right plot shows the fast direction vs the slow direction with the time shift (corrected)

КАТАЛОГ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО РЕГИОНА: СОСТОЯНИЕ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ ЕГО НАРАЩИВАНИЕ

Б.С. Абдыраева, А.М. Муралиев, д.ф.-м.н.
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Рассматриваются вопросы, связанные со сбором, обработкой и наращиванием региональной базы данных о механизмах очагов землетрясений Центральной Азии по данным инструментальных сейсмических наблюдений региона.

Известно, что для получения наиболее достоверной информации о механизме очага землетрясения, произошедшего в том или ином сейсмоактивном регионе, необходимо собрать максимальное количество данных о знаках первых вступлений P -волн. Методика определения механизма очага землетрясения Хонда-Введенской [1] требует, чтобы очаг был окружен сейсмическими станциями в различных азимутах и эпицентральных расстояниях. В этом плане сейсмоактивные районы Центральной Азии окружены сейсмическими станциями Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана и Китайской Народной Республики. Вопросы точности определения механизма очага зависят от многих факторов: числа станций, зарегистрировавших землетрясение, взаимного расположения эпицентра землетрясения и системы станций, изученности внутреннего строения земной коры и верхней мантии на пути сейсмического луча и расстояния до очага от каждой станции. Совместное влияние всех этих факторов на точность определения механизмов очагов землетрясений должно стать объектом дальнейшего исследования.

В настоящее время работа по обмену знаками первых вступлений P -волн между соседними государствами значительно ослаблена. Выход из этой ситуации возможен при оптимизации обмена сейсмологическими данными в регионе.

Наращивание каталога механизмов очагов землетрясений для Центрально-Азиатского региона является насущной задачей для определения сейсмической опасности региона, прогноза и т.д. Каталог механизма очагов землетрясений – это исходный материал для изучения напряженно-деформированного состояния и геодинамики и поэтому должен быть достоверным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Введенская А.В.* Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокации. – М.: Наука; 1969. – 136 с.

ИНВЕРСИЯ ПРИЕМНЫХ ФУНКЦИЙ И СОПУТСТВУЮЩИХ ДАННЫХ

И.М. Алёшин, к.ф.-м.н., Л.П. Винник, д.ф.-м.н., Г.Л. Косарев, к.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Представлено описание метода инверсии сейсмических данных, основу которых составляют волновые формы приемных функций (ПФ): результат специальной обработки сейсмограмм удаленных землетрясений. ПФ содержат обменные фазы, образованные на границах среды под сейсмической станцией при прохождении первичной или вторичной волн (P -ПФ и S -ПФ соответственно) [1, 2]. Определение строения среды под сейсмостанцией осуществляется в терминах плоскостной модели. Синтетические сейсмограммы рассчитываются методом Томсона-Хаскелла [3]. По ряду причин невозможно определить единственную модель, наилучшим образом объясняющую данные наблюдений. Для снижения степени неопределенности решения вместе с ПФ в инверсии используются другие сейсмические данные: дисперсионные кривые поверхностных волн, невязки времен пробега телесейсмических фаз и др. Поэтому для оценки сейсмической модели под станцией используется вероятностный подход [4].

Центральную роль здесь играет плотность апостериорного распределения вероятности и теорема Байеса [5]. Апостериорное распределение позволяет определить не только наиболее вероятные значения параметров модели, но также и их доверительный интервал. В настоящий момент наиболее распространен подход к построению апостериорного распределения, основанный на аппарате цепей Маркова, в том числе с переменным числом слоев [6]. Он имеет ряд недостатков, главные из которых связаны с ограничением на количество параметров модели, сложностью настройки и пр. В нашем подходе построение апостериорного распределения осуществляется на основе комбинации методов Монте-Карло и квазиньютоновского градиентного метода. К достоинствам метода следует отнести минимальное количество подстроечных параметров и слабую зависимость решения от параметризации. Разработанный метод был опробован как на синтетических данных, так и на реальных наблюдениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Vinnik L.P.** Detection of waves converted from P to SV in the mantle // *Phys. Earth Planet. Inter.* – 1977. – V. 15, N 1. – P. 39–45.
2. **Farra V., Vinnik L.P.** Upper mantle stratification by P and S receiver functions // *Geophys. J. Int.* – 2000. – V. 141, N 3. – P. 699–712.
3. **Haskell N.A.** The dispersion of surface waves on multilayered media // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* – 1953. – V. 43, N 1. – P. 17–34.
4. **Tarantola A.** Inverse problem theory. – Elsevier, Amsterdam, 1987.
5. **Bayes.** An essay towards solving a problem in the doctrine of chances // *Phil. Trans. R. Soc.* – 1763. – V. 53. – P. 370–418.
6. **Bodin T., Sambridge M., Tkalčić H., Arroucau P., Gallagher K., Rawlinson N.** Transdimensional inversion of receiver functions and surface wave dispersion // *J. Geophys. Res.: Solid Earth.* – 2012. – V. 117, N B2. – P. 1978–2012.

ЦЕНТР АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ ИФЗ РАН

И.М. Алёшин, к.ф.-м.н., С.Д. Иванов, к.т.н., К.И. Холодков, к.т.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Основное назначение Центра агрегации данных ИФЗ РАН состоит в разработке и реализации единого подхода к процедурам, связанным с получением, хранением, публикацией данных геофизических наблюдений, а также с максимальным упрощением и автоматизацией этих процессов. Работа Центра связана с выполнением набора стандартных операций с данными: получение по сетям общего пользования, архивация, публикация архивов и оперативных измерений. Помимо этого, Центр осуществляет визуализацию данных в режиме, близком к реальному времени, и мониторинг процесса их получения и состояния инфраструктуры. По мере увеличения количества каналов встает задача автоматизации управления конфигурацией как служб Центра, выполняющих эти операции, так и устройств сбора данных, в частности, регистраторов на базе одноплатных компьютеров [1].

На сегодняшний день Центр агрегации данных ИФЗ РАН собирает и публикует данные: сейсмостанций на экспериментальной базе ИФЗ РАН в геофизической обсерватории «Бирюлёво» и в Координационно-прогностическом центре ИФЗ РАН в поселке Мосрентген; комплекса деформометров и наклономеров СНМК «Страж» [2], наклономеров НШ [1], установленных в здании ИФЗ РАН; базовых станций GNSS. Кроме этого, Центр осуществляет ретрансляцию данных спутника Электро-Л № 2. Планируется подключение еще нескольких источников геофизических данных. В связи с этим ведется разработка единой системы управления конфигурацией с использованием инструмента Ansible [3]. В ней информация о процессах сбора и обработки данных будет храниться централизованно. Система позволит управлять локальными и удаленными системами сбора и передачи данных, построенными на базе протокола SeedLink, а также конфигурациями базы данных InfluxDB [4] и инструмента мониторинга Shinken [5]. Система предоставит общий интерфейс для управления каналами сбора данных, повысит надежность Центра и обеспечит возможность горизонтального масштабирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алёшин И.М., Иванов С.Д., Корягин В.Н., Кузьмин Ю.О., Передерин Ф.В., Широков И.А., Фаттахов Е.А.* Оперативная публикация данных наклономеров серии НШ на основе протокола SeedLink // Сейсмические приборы. – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 31–41.
2. *Пашкин Е.М., Багмет А.Л., Осика В.И., Новак Ю.В., Сухов А.А.* Мониторинг деформаций как основа безопасной эксплуатации зданий и сооружений // Инженерная геология. – 2008. – № 3. – С. 40–50.
3. *Hall D.* Ansible Configuration Management (Second Edition). – Birmingham, UK: Packt Publishing, 2015. – 122 p.
4. *InfluxDB: Introduction* // InfluxData [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.5/introduction/>. Дата обращения: 05.04.2018.
5. *Shinken's documentation* // SAS_SHINKEN_Solutions [Электронный ресурс]. – URL: <http://shinken.readthedocs.io/en/latest/>. Дата обращения: 05.04.2018.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

Н.А. Арнаут, к.г.н.
ИГС АНМ, г. Кишинёв, Республика Молдова

Методические способы оценки воздействия землетрясений на различные гидротехнические сооружения хорошо изучены. При перпендикулярном расположении плотины относительно сейсмической волны воздействия могут быть наибольшими. В связи с этим была выполнена оценка положения плотин наиболее крупных водохранилищ Республики Молдова относительно направления волны землетрясений очага Вранча.

На примере малых рек Молдовы проведен анализ существующих плотин. За период с 1960 по 1999 г. на притоках рек Молдовы было построено 3532 малых искусственных водоема. Значительная часть из них с объемами воды менее $50000\text{--}150000\text{ м}^3$ к 2000 г. были заилены. В настоящее время общее количество существующих искусственных водоемов составляет примерно 3000. Из них наиболее крупными являются 126 водоемов. Большая часть отмеченных водохранилищ, как правило, имеют земляные плотины, построенные по проектным материалам. Учитывая преимущественное северо-восточное направление распространения сейсмических волн, были выделены водохранилища, плотины которых располагаются перпендикулярно движению сейсмической волны. В результате были выделены 37 таких водохранилищ. Основная часть их располагается в пределах Молдовы на участках притоков реки Прут по всей длине реки. Кроме того, имеются отдельные участки рек Реут, Икель, Бык и Ботна, которые тоже расположены примерно перпендикулярно движению сейсмических волн. Вследствие этого, плотины этих водоемов могут быть подвержены повышенной опасности сейсмического воздействия. На остальных малых реках Молдовы вероятность прямого воздействия землетрясения значительно меньше.

Одним из наиболее крупных водохранилищ является Костешты-Стынка. Наиболее вероятными последствиями землетрясений могут быть скрытые, либо видимые трещины на различных уровнях плотины и фильтрация воды через тело плотины, повреждение и разрушение устройств, местные трещины и дробление бетона. Случаи сплошного прорыва плотин водохранилищ из-за крупных землетрясений встречаются редко. Учитывая это, можно отметить, что вероятность экстремальных разрушительных воздействий землетрясений на искусственные водохранилища Молдовы средняя. Выделенные участки рек Молдовы, где возможны наибольшие воздействия на плотины водохранилищ, нуждаются в учете и периодическом мониторинге при их эксплуатации.

О ГУДОГАЙСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1908 Г.

А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., Т.А. Протасовицкая
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Район расположения площадки Белорусской АЭС относится к Белорусско-Балтийскому сейсмотектоническому региону. Рассматриваемый регион характеризуется относительно слабой сейсмической активностью, однако в его пределах происходили редкие, но достаточно сильные сейсмические события. В условиях слабой сейсмичности, а также учитывая позднее развитие инструментальных сейсмометрических наблюдений, большое значение в изучении региональной сейсмичности западной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) несет информация об исторических землетрясениях. Землетрясения западной части ВЕП приурочены к определенным наиболее активным в сейсмическом отношении зонам разломов или к зонам их пересечения. Современная сейсмическая активность центральной части региона ниже, чем северной окраинной части. Глубинные разломы, пассивные в течение длительного геологического времени, могут активизироваться и генерировать землетрясения. Характерным подтверждением этому являются Калининградские землетрясения 2004 г., которые ощущались во многих странах региона, в том числе и в Беларуси силой 3–4 балла.

В результате изучения литературных и архивных источников, баз данных мировых и национальных сейсмологических центров были собраны материалы об исторических и современных инструментально зарегистрированных ощутимых землетрясениях западной части ВЕП с 1602 г. по настоящее время. На территории Беларуси происходили сейсмические события с магнитудой $M \leq 4.5$ и глубиной очагов 5–10 км. Однако, несмотря на небольшую магнитуду, по описаниям очевидцев, макросейсмический эффект от этих землетрясений в ряде случаев достигал 7 баллов по шкале MSK-64 и имел ощутимый локальный характер проявления. По данным каталогов, в 1908 г. к юго-западу от площадки Белорусской АЭС, вблизи поселка Гудогай произошло историческое ощутимое землетрясение, что явилось основным критерием отнесения ближайшей разломной структуры к сейсмогенерирующей и основанием для дальнейших исследований степени ее сейсмической опасности.

В отношении безопасности Белорусской АЭС неоднократно поднимался вопрос о надежности выбранной площадки для строительства атомной станции в связи с Гудогайским землетрясением. Учитывая важность этого вопроса и, в первую очередь, предложения европейских экспертов по результатам партнерской проверки Национального доклада Республики Беларусь по целевой переоценке безопасности (стресстесты) Белорусской АЭС, были дополнительно изучены исторические источники, документы и геофизический материал, сделан вывод о возможной природе Гудогайского землетрясения 1908 года.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РАЗНОЙ УДАЛЕННОСТИ НА ТЕРРИТОРИЮ БЕЛАРУСИ

Г.А. Аронов

ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Контроль состояния геологической среды – это одна из наиболее важных задач сейсмического мониторинга территории Беларуси. Все регистрируемые сейсмические волны проходят в геологической среде и, соответственно, несут информацию о ее состоянии. Сильное землетрясение – это достаточно продолжительный геодинамический процесс со стадиями подготовки, реализации события и последствий. Процесс подготовки и реализации сейсмического события охватывает не только отдельный участок литосферы, но и гидросферу (в основном ее подземную часть), биосферу, атмосферу и даже ионосферу. Любое, а тем более крупное, землетрясение не может считаться точечным в пространственно-временной среде и изолированным событием и должно рассматриваться как длительный процесс: нарушение и последующее восстановление упругих деформаций в ходе долговременных процессов в обширных объемах природной среды.

Основная задача сети сейсмических наблюдений на территории Беларуси по контролю состояния среды заключается в регистрации далеких, региональных и местных сейсмических событий. Любой, даже слабый, толчок может свидетельствовать о начале геодинамической активизации как на исследуемой территории, так и за ее пределами. Что касается регистрации далеких и региональных землетрясений, то они могут рассматриваться с точки зрения сейсмической безопасности территории Беларуси в двух аспектах. Во-первых, фиксирование непосредственных сейсмических воздействий от удаленных и, особенно, региональных землетрясений, связанных с сейсмической активностью в их очаговых зонах. Во-вторых, регистрация изменений параметров сейсмических волн, связанных с изменением состояния геологической среды. Такими параметрами могут быть спектральные изменения колебаний волн от одних и тех же источников, изменения длительности колебаний, связанные с изменением добротности среды, и т.д. В свою очередь, изменения состояния геологической среды могут происходить в результате обводнения, изменения уровня грунтовых вод, в т.ч. и техногенных, в результате более медленных процессов типа геодинамической активизации. Кроме волн от землетрясений, для названных выше целей подходят также и записи от техногенных источников, например, регулярно повторяющихся карьерных взрывов. В этом смысле информативны также и записи сейсмических шумов. Все названные средства сейсмического контроля состояния геологической среды должны отслеживаться во времени для определения стабильности параметров сейсмического поля.

Сейсмологический мониторинг в Беларуси представляет собой систему непрерывных круглосуточных наблюдений за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний с использованием автоматизированных систем. Сеть сейсмологических наблюдений структурно состоит из трех уровней: глобального, регионального и локального. Глобальный и региональные уровни мониторинга обеспечивали геофизические обсерватории «Плещеницы» и «Нарочь», региональный и локальный – сети сейсмических станций в Солигорском и Островецком районах. За период 1965–2018 гг. сетью сейсмических станций Беларуси зарегистрировано и обработано 60827 землетрясений в разных регионах Земли в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний.

О ЗАКАТАЛЬСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 5 ИЮНЯ 2018 Г. С $K_p=14$

**О.А. Асманов, к.ф.-м.н., З.А. Адиллов
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала**

Заметным сейсмическим событием в 2018 г. на территории, прилегающей к Республике Дагестан, является землетрясение 14 энергетического класса 5 июня в 18:40 в Закатальском районе Азербайджана, которое сопровождалось сотрясениями в эпицентре до 6 баллов. Инструментальные параметры гипоцентра землетрясения имеют следующее решение: $\varphi=41.43^\circ\text{N}$; $\lambda=46.58^\circ\text{E}$; $h=50$ км; $M_S=5.6$. Сетью сейсмических станций Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировано 17 форшоков и множество афтершоков этого землетрясения. Путем заочного опроса и анкетирования населения осуществлен сбор и анализ информации о макросейсмических данных по населенным пунктам Республики Дагестан, начиная с самых южных районов. Оценка интенсивности землетрясения основана на реакции населения, предметов и объектов в соответствии со шкалой ШСИ-17 [1]. По результатам анализа полученной информации составлена карта интенсивности сотрясений (карта изосейст) землетрясения.

Подобное землетрясение 14 энергетического класса было зарегистрировано в том же Закатальском районе Азербайджана в 2012 году. Закатальское землетрясение 2012 г. имело сложный характер. По инструментальным данным определены параметры четырех сильных толчков: 7 мая в 04:40 ($M_S=5.6$), в 14:15 ($M_S=5.7$), в 14:47 ($M_S=5.0$) и 18 мая в 14:46 ($M_S=5.0$). Несмотря на то, что обследование землетрясения 2012 г. началось сразу же после землетрясений, крайне сложным оказалось выделение проявлений отдельных толчков, поэтому приходилось иметь дело с обобщенной макросейсмической картиной. Суммарная площадь разрушений достигла 480 км², что соответствует 7–8-балльному эффекту землетрясения в эпицентральной зоне [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ NSDL ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АФТЕРШОКОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

¹В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., ¹А.В. Федоров, к.ф.-м.н., ²А.Ю. Чеброва, к.ф.-м.н.
¹КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
²КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

С 2015 г. в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН разрабатывается система автоматического детектирования и локации NSDL. В настоящее время система используется для рутинной обработки данных сейсмостанций Европейской Арктики [1]. Начато внедрение системы в ряде подразделений ФИЦ ЕГС РАН.

Изначально система разрабатывалась для региона с относительно слабой сейсмичностью, с редким потоком сейсмических событий. Поэтому внедрение системы в регионах с другой сейсмической обстановкой приводит к техническим проблемам, решение которых, в свою очередь, помогает совершенствовать систему [2].

Это ярко проявилось на примере обработки данных афтершоковой последовательности в районе Углового поднятия, которое расположено на океанической стороне Курило-Камчатского и Алеутского желобов в районе их сочленения. Последовательность началась 20 декабря 2018 г. после землетрясения с магнитудой 7.4. Ближайшей к месту события является станция ВК1, расположенная на острове Беринга приблизительно в 110 км от эпицентра главного толчка. Поскольку другие станции расположены значительно дальше, для детального анализа временного поведения процесса было решено использовать данные только станции ВК1, которая позволяет обнаруживать наиболее слабые события. Данные этой станции были пропущены через подсистему одностанционной обработки NSS [3]. При этом оказалось, что в условиях плотного потока событий NSS генерирует большое количество ложных срабатываний и «перестрелов», вызванных неправильной ассоциацией фаз *P* и *S* в перекрывающихся записях близких по времени сейсмических событий. В процессе работы с данными система получила ряд технических усовершенствований, в результате чего получена последовательность, состоящая из более 15 000 сейсмических событий, которая нуждается в дальнейшем статистическом анализе.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Федоров А.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Прокудина А.В.* Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 29–39. DOI: 10.21455/si2018.1-3.
2. *Асминг В.Э., Гилёва Н.А., Карпинский В.В.* Опыт внедрения системы NSDL в ФИЦ ЕГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 30–34.
3. *Asming V.E., Fedorov A.V.* Possibility of using a single three-component station automatic detector-locator for detailed seismological observations // Seismic Instruments. – 2015. – V. 51, N 3. – P. 201–208.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ РАЙОНА АРКТИЧЕСКОГО ХРЕБТА ГАККЕЛЯ И ОКРЕСТНОСТЕЙ

¹Б.А. Ассиновская, к.ф.-м.н., ¹Н.М. Панас,
²Г.Н. Антоновская, д.т.н., ¹М.К. Овсов, к.т.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург
²ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск

В данном исследовании описаны исходные данные, методика расчетов и результаты предварительной оценки сейсмической опасности в регионе хребта Гаккеля – самой северной сейсмогенной зоны Земли. По геологическим данным регион считается потенциально нефтегазоносным, но его промышленное освоение не является первоочередным. Область исследований включала в себя сейсмически высокоактивную рифтовую зону, континентальные уступы шельфовых морей Баренцева, Карского и Лаптевых, и сопредельные асейсмичные районы.

На первом этапе исследований был составлен унифицированный по магнитуде M_w каталог землетрясений с 1912 по 2014 г. из 544 событий. Для раннего инструментального периода (1912–1964 гг.) использованы база данных Г.П. Аветисова и материалы различных публикаций, каталог ISC для 1964–2014 гг., а также результаты наблюдений Архангельской сейсмической сети в Арктике за 2014–2018 гг.

С помощью структурного анализа геолого-геофизических данных по методике [1] проведена параметризация региона по степени неоднородного строения земной коры, которая нами связывается с возможностью возникновения землетрясений разных энергий. С помощью этих данных осуществлена сейсмическая регионализация: в регионе выделено семь доменов различных геометрических размеров, сейсмической активности, максимально возможной магнитуды.

На основе каталога исследован сейсмический режим – параметры сейсмичности для зон хребта приняты следующими: минимальная магнитуда $M_{w_{\min}}$ – 3.7, сейсмическая активность λ_0 – 2.29, наклон ln – нормального графика повторяемости β – 2.23. Для доменов склона 1 и 2 данные параметры приняты как $M_{w_{\min}}$ – 3.7, λ_0 – 0.5, β – 1.48. Результаты расчетов $M_{w_{\max}}$ значений возможной максимальной магнитуды для региона составили 5.2–7.0.

Далее с помощью программы CRISIS [2] выбрано наиболее адекватное на данном уровне изученности уравнение затухания максимального ускорения движения грунта PGA для землетрясений сбросового типа. Проведен расчет вероятностной сейсмической опасности в терминах PGA для периода повторяемости 500 лет или 10% вероятности превышения этих значений в ближайшие 50 лет, построена карта. Как и ожидалось, наиболее опасными (более 300 см/с^2) оказались домены Гаккелевской зоны, на западе континентального склона интенсивность сотрясений составила около 100 см/с^2 , на крайнем юго-востоке этот параметр равен всего 10 см/с^2 .

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Assinovskaya B.A., Ovsov M.K.* Seismotectonic zoning of the Finnish-Bothnia region based on the structural analysis method // Russ. J. Earth. Sci. – 2014. – V. 14. – ES2005. DOI: 10.2205/2014ES000542.
2. *Ordaz M., Aguilar A., Arboleda J.* CRISIS2007. Program for computing seismic hazard-UNAM-2007. – URL: <https://ecapra.org/topics/crisis-2007>.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В 2018 Г.

С.С. Багаева, К.В. Гричуха, С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Сейсмичность центральной части Северного Кавказа тесно связана с геологическим строением, которое обуславливает наличие очаговых зон землетрясений на этой территории. По данным сейсмичности за 1907–2009 гг., сотрудниками Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1] проведено определение очаговых зон центральной части Кавказа с выделением в 2011 г. основных скоплений очагов землетрясений – узлов в пределах этих зон: Грозненская (включает Курчалойский, Грозненский и Ассиновский узлы); Они-Цхинвалская (включает Онийский, Джавский и Цхинвалский узлы); Пятигорская и Ахметинская очаговые зоны. В 2013 г. положение очаговых зон уточнялось с учетом сейсмической активности, новых схем тектонического и сейсмо-тектонического районирования [2]. В результате в пределах территории РСО–Алании дополнительно выделены следующие очаговые зоны: Моздокско-Терская (включает Моздокский, Терский и Нальчинский узлы); Северо-Осетинская (включает Задалесский, Владикавказский, Сунженский, Мизурский и Кармадонский узлы); Казбегская.

За 2018 г. Северо-Осетинским филиалом ФИЦ ЕГС РАН на контролируемой территории зарегистрировано 850 сейсмических событий. В таблице приводятся количество и энергетический класс землетрясений, зарегистрированных в пределах выделенных очаговых зон, три из них – ощутимые землетрясения, по которым проведены макро-сейсмические исследования.

Таблица. Распределение количества землетрясений 2018 г. по очаговым зонам

Очаговые зоны	Количество землетрясений, шт.	Энергетический класс K_p
Северо-Осетинская	86	4.5–9.4
Моздокско-Терская	2	6.7–7.5
Казбегская	12	4.6–8.9
Грозненская	239	5.1–11.7
Они-Цхинвалская	96	4.1–12.8
Пятигорская (Кисловодск-Нальчикская)	32	5.4–9.6
Ахметинская	20	6.3–10.7

Наибольшая сейсмическая активность наблюдается в южной части Грозненской и Они-Цхинвалской (Онийском и Джавском узлах) очаговых зонах.

Следует отметить, что за последние пять лет сейсмическая активность находится практически на одном уровне. Проводимые исследования, с привлечением априорной информации, позволяют более эффективно изучать изменения сейсмического режима, отслеживать взаимосвязь очагов землетрясений с тектоническими особенностями контролируемой территории.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Погода Э.В., Гричуха К.В., Кабирова О.Г.* Очаговые зоны землетрясений центральной части Северного Кавказа // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2015. – С. 265–268.
2. *Габсатарова И.П.* Исследование пространственно-временных особенностей сейсмичности на Северном Кавказе: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. – Обнинск, 2010. – 177 с.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ХИБИНСКОМ МАССИВЕ

С.В. Баранов, к.ф.-м.н., А.Е. Ганнибал
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

Рассматривается кластеризация землетрясений в Хибинском массиве с целью последующего выявления особенностей и закономерностей возникновения повторных толчков (афтершоков) на данной территории. Исходные данные – каталоги сейсмических событий АО «Апатит», полученные сетями станций, расположенных на рудниках. В каталогах сейсмические события классифицированы (взрывы различного типа, обрушения и землетрясения). Указанные каталоги являются неоднородными по уровню представительности во времени. Следовательно, для корректного выделения кластеров событий необходимо либо использовать метод декластеризации, учитывающий неоднородность данных, либо разбивать каталог по времени на участки, где представительность примерно одинакова. Здесь применяются оба подхода: алгоритм Г.М. Молчана и Е.О. Дмитриевой [1] (выделяет основные толчки и их афтершоки, адаптивно оценивает параметры модели для каждого потенциального основного толчка, учитывая тем самым неоднородность данных) и метод ближайшего соседа [2] (основан на использовании функции близости в области пространства-времени-магнитуды). В результате применения этих методов показано, что сейсмичности Хибин свойственно пространственно-временное группирование, обусловленное техногенной природой землетрясений. Этот вывод согласуется с результатами, полученными ранее другими авторами [3, 4]. На основе анализа пространственного распределения событий [5], вызванных скачком напряжений от более ранних землетрясений, выявлена зависимость размера области, где ожидаются повторные толчки, от магнитуды события-триггера.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00812).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Molchan G.M., Dmitrieva O.E.* Aftershock identification: methods and new approaches // *Geophys. J. Int.* – 1992. – V. 109. – P. 501–516.
2. *Zaliapin I., Ben-Zion Y.* A global classification and characterization of earthquake clusters // *Geophys. J. Int.* – 2016. – V. 207. – P. 608–634.
3. *Козырев А.А., Журавлева О.Г., Федотова Ю.В.* О кластеризации сейсмических событий при отработке удароопасных месторождений Хибинского массива // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2015. – № 2. – С. 108–113.
4. *Журавлева О.Г.* Кластеризация сейсмических событий в условиях удароопасных месторождений Хибинского массива // *Проблемы недропользования.* – 2017. – № 1. – С. 14–19.
5. *Баранов С.В., Шебалин П.Н.* Оценивание области афтершоковой активности по информации об основном толчке // *Геофизические исследования.* – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 34–56.

АРХИВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА

А.В. Берёзина, Н.П. Соколова, Е.В. Першина, Б.С. Омукеева
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В последние годы у исследователей в области сейсмологии значительно возрос интерес к историческим аналоговым сейсмограммам, накопленным в различных сейсмологических архивах по всему миру. В Кыргызстане существует архив аналоговых сейсмограмм, содержащий сотни тысяч сейсмограмм за период времени с 1927 по 2000 год.

Первая сейсмическая станция в Кыргызской ССР была открыта в г. Фрунзе (ныне г. Бишкек) в 1927 г., на станции был установлен сейсмограф с прямой оптической регистрацией, разработанный П.М. Никифоровым. В 1950 г. начали работу станции «Нарын», «Пржевальск» и «Рыбачье». Станции «Фрунзе», «Нарын» и «Пржевальск» были включены в сеть ЕССН СССР, на них дополнительно были установлены широкополосные приборы СКД.

В 1969 г. в Кыргызстане началось создание собственной региональной сети, которое было завершено к началу 1980-х годов. Сеть состояла из 31 стационарной станции, равномерно распределенной по территории Кыргызстана. На всех станциях была установлена стандартная аппаратура Кирноса СКМ-3 с увеличением 20000 и СКД с увеличением 1000. Большинство из этих станций расположены на выходах коренных пород, в штольнях, что позволило регистрировать слабые подземные ядерные взрывы.

Кроме стационарных станций, на территории Кыргызстана в разные периоды времени организовывались временные локальные сети, которые в зависимости от текущих задач размещаются на небольших территориях для оценки сейсмической опасности площадей, предназначенных для строительства гражданских и промышленных сооружений, или для исследования афтершоковых зон сильных землетрясений [1]. Все эти данные собирались в архив Института сейсмологии (ИС) НАН КР. Но так как для записи сейсмических событий использовалась фотобумага, то с течением времени одна часть сейсмограмм потемнела, другая обесцветилась, деформировалась и т.д., то есть проблема сохранения исторического архива ИС НАН КР стала очень актуальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кальметьева З.А., Микольчук А.В., Молдобеков Б.Д. и др.* Атлас землетрясений Кыргызстана. – Бишкек: ЦАИИЗ, 2009. – С. 232.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕЙ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НАД УГЛЕВОДОРОДНЫМИ РЕЗЕРВУАРАМИ В ПЕРИОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С.Б. Боровик
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Применяемые технологии поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений, включающие 3D-сейсморазведку и бурение скважин, в последние годы становятся все более затратными, но при этом количество случаев картирования «пустых» структур практически не уменьшается. Для сокращения затрат на разбуривание «пустых» структур в последние годы все большее внимание уделяется использованию различных инновационных методов, которые позволяют получить дополнительную к традиционной 3D-сейсморазведке информацию об особенностях строения разреза (в т.ч. и о наличии углеводородов) и тем самым снизить риски бурения «пустых» скважин.

Особенно перспективными являются методы, основанные на изучении на земной поверхности тонкой структуры полей микросейсмических шумов [1]. ФИЦ ЕГС РАН, «ГИ УРО РАН» и ООО «Геоспектр» совместно разработан метод [2], получивший название пассивной микросейсмической съемки (ПМСС). Он основан на проведении сравнительно долговременных мониторинговых наблюдений микросейсмических шумов с использованием высокочувствительных сейсмологических комплексов и последующей обработке микросейсмических данных в низком диапазоне частот (1–6 Гц). Применение специальных робастных алгоритмов оценивания детальной структуры полей микросейсмических шумов позволяет устойчиво фиксировать эффекты, связанные с наличием углеводородных залежей самого различного генезиса, и тем самым обеспечивает высокую эффективность применения новой технологии на различных этапах поисков, разведки и доразведки месторождений углеводородов.

ФИЦ ЕГС РАН и ООО «Геоспектр» были проведены исследования по технологии ПМСС в одном из районов Иркутской области (Восточная Сибирь). В результате проведения микросейсмических съемок была выявлена нефтеперспективная структура. Над сводом структуры в течение пяти суток проводились специальные наблюдения, при которых были также зафиксированы восемь землетрясений в пределах Байкальской сейсмически активной зоны. Согласно каталогу землетрясений Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [3], землетрясения имели энергетический класс в диапазоне 8.6–10.5, а их эпицентры были удалены от пункта наблюдений на расстояния от 139 до 784 км.

В результате выполненного анализа оказалось возможным оценить степень влияния землетрясений на изменение структуры микросейсмических шумов над углеводородным резервуаром в низкочастотном диапазоне в зависимости от удаленности эпицентра землетрясения и его интенсивности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маловичко А.А., Шутов Г.Я. Способ оценки нефтегазоносности пород. – Патент 2321024. – 2007.
2. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Сергеев А.А., Баранов Ю.В., Бутырин П.Г., Верхоланцев Ф.Г., Шулаков Д.Ю. Оценка нефтеперспективности объектов с использованием микросейсмических съемок // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – Ханты-Мансийск, 2006. – С. 177–180.
3. *Основной каталог событий* // Байкальский филиал Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук». – Режим доступа: <http://www.seis-bykl.ru/modules.php?name=Data&da=1>.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕЙСМОМЕТРЫ

¹А.С. Бугаев, ¹В.М. Агафонов, ¹А.В. Неешпапа, ²К.С. Белотелов
МФТИ, г. Долгопрудный
ООО «Р-сенсорс», г. Долгопрудный

Впечатляющий прогресс в сейсмологии за последние десятилетия был достигнут в значительной степени благодаря успехам приборостроения в части создания новых сейсмометров и систем сбора данных. Значительный прирост характеристик сейсмометра основан на использовании самых современных технологий в машиностроении, материаловедении и, особенно, в электронике [1]. Расширение полосы пропускания широкополосного сейсмометра до периодов от 100 с и выше предъявляет чрезвычайно строгие требования к механическому проектированию, выбору материала и изготовлению. Это неизбежно ведет к значительному росту цен. Любопытно, что, хотя методы обработки и записи сигналов изменяются каждые десять лет, основной принцип сейсмометра сохранился с тех пор, как в 1906 г. был изобретен инструмент князя Б. Голицына.

Электрохимические сейсмометры [2, 3] предлагают альтернативу обычным электромеханическим устройствам, предоставляя возможность получения высококачественных данных с помощью значительно более дешевых и простых приборов. Принцип работы электрохимических сейсмометров основан на вариациях электрического тока из-за движения электролита в электрохимической ячейке.

Обширные сравнительные испытания были проведены с использованием электрохимических сейсмометров в нескольких сейсмологических лабораториях. Некоторые наиболее важные результаты представлены в настоящем сообщении.

В частности, в Университете Патра проводилось сравнение 120-секундного сейсмометра СМЕ-6211 с Trillium-120. Испытания включали прямое сравнение записей электрохимического сейсмометра с широкополосным датчиком Trillium-120 при регистрации телесеismicких событий и в периоды покоя. Полученные результаты показывают эквивалентность данных для большей части частотного диапазона. Некоторая разница может быть обнаружена на очень низких частотах <0.02 Гц, где Trillium-120 показывает несколько меньший собственный шум, в то время как СМЕ-6211 меньше «шумит» в диапазоне частот от 2 до 10 Гц.

Перспективными направлениями в развитии технологии, основанной на электрохимическом принципе преобразования сигналов, является разработка новых типов преобразующего элемента, создание сейсмометров, интегрированных с регистрирующей аппаратурой, а также специализированных сейсмометров и систем для морских сейсмологических исследований.

Разработка выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (проект RFMEFI57817X0243).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Havskov G., Alguacil J.* Instrumentation in earthquake seismology // Instrumentation in Earthquake Seismology. Series Modern Approaches in Geophysics. – V. 22. – New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2010. – P. 11–76.
2. *Agafonov V., Neeshpapa A., Shabalina A.* Electrochemical Seismometers of Linear and Angular Motion // Encyclopedia of Earthquake Engineering SE - 403-1 / Eds. M. Beer, I.A. Kougioumtzoglou, E. Patelli, I.S.-K. Au. – Springer Berlin Heidelberg, 2015. – P. 944–961.
3. *He W.T., Chen D.Y., Wang J.B., Zhang Z.Y.* MEMS based broadband electrochemical seismometer // Opt. Precis. Eng. – 2015. – V. 23, N 2. – P. 444–451.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРПАТСКОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

¹В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н., ²Л.А. Шумлянская, к.г.н.

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ИГФ НАНУ, г. Киев, Украина

Карпаты являются регионом с высокой сейсмической активностью. Происходящие здесь землетрясения представляют серьезную опасность для населения и инфраструктуры этой территории в связи с возможными разрушениями и человеческими жертвами, которые имели место как в XX в., так и, по геологическим данным, в предыдущие периоды времени. Для решения многих геолого-геофизических задач, в частности, современной геодинамики региона, прогноза сильных землетрясений, сейсмического районирования и сейсмостойкого строительства необходимо иметь достоверные данные о распределениях гипоцентров землетрясений на изучаемой территории. В свою очередь, полнота данных о распределении гипоцентров землетрясений и точность их определения во многом зависят от эффективности системы наблюдений.

Хорошо известно, что оптимальные сети станций сейсмологических наблюдений позволяют определять параметры гипоцентров землетрясений с минимальными погрешностями. Однако даже при всем желании построить оптимальную сеть наблюдений, в силу различных причин существующие локальные и региональные сети сейсмических станций не всегда имеют оптимальную конфигурацию. Естественно в этих случаях оценить, насколько хороша или эффективна та или иная система наблюдений.

Под эффективностью сейсмологической сети наблюдения подразумевается способность сети регистрировать на определенных эпицентральных расстояниях события с минимальными магнитудами и позволяющая определять его основные параметры (время в очаге и координаты гипоцентров) с минимальными погрешностями в зависимости от положения гипоцентра землетрясения [1].

Оценивается эффективность современной сети сейсмологических наблюдений Карпат из 196 станций, которая подразумевает определение минимальных магнитуд землетрясений, регистрируемых сейсмической сетью, и вычисление максимальных погрешностей в определении пространственных координат гипоцентров землетрясений. Для оценки эффективности сети сейсмических станций в Карпатском регионе используется подход, предложенный в [1, 2].

Расчет минимальных магнитуд землетрясений для сейсмологической сети Карпат из 196 станций показывает, что при увеличении станций 40000 сеть уверенно регистрирует землетрясения с $M \geq 2.5$ практически на всей территории Карпат.

Значения ошибок в определении координат эпицентров землетрясений по широте ($\delta\varphi$) (км) и по долготе ($\delta\lambda$) (км) в центре сети не превышают 0.5 км, а на периферии сети – 1.0 км. Значения ошибок в определении глубин очагов землетрясения (h) в центре сети не превышают 1.0 км, на всей территории Карпат – не превышают 10 км.

Число станции карпатской сети достаточно велико (196), но расположены они неравномерно. Для того чтобы система наблюдений регистрировала с одинаковой точностью и одной минимальной магнитудой события, происходящие в разных точках Карпат, необходимо, чтобы сейсмостанции были расположены более равномерно по всей территории, то есть система наблюдений должна иметь оптимальную конфигурацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмин В.Ю. Оптимальное расположение сейсмических станций при регистрации близких землетрясений // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1986. – № 5. – С. 34–42.
2. Бурмин В.Ю., Ахметьев В.М. Погрешности в определении параметров гипоцентров близких землетрясений и эффективность системы сейсмологических наблюдений // Вулканология и сейсмология. – 1994. – № 2. – С. 109–128.

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ В СЕЙСМОЛОГИИ

Р.З. Буртиев, д.ф.-м.н., В.Ю. Карданец
ИГС АНМ, г. Кишинёв, Республика Молдова

Сейсмические процессы происходят и развиваются во времени и пространстве под действием внутреннего детерминизма глобальной тектоники. Неопределенности, связанные с переплетением внутренних физических полей Земли и гравитационной силы небесных тел и их влиянием на глобальную тектонику, вносят элемент случайности в модели сейсмичности. Сейсмические процессы являются сложными и многообразными, так как их формирование обусловлено сложными, многообразными геолого-геофизическими процессами, происходящими в недрах Земли, и характеризуются множеством разнообразных параметров, а результаты наблюдений над ними представляются в виде многомерных случайных величин [1]. При исследовании таких многопараметрических процессов встает вопрос: нельзя ли отбросить часть параметров или заменить их меньшим числом каких-то функций от них, сохранив при этом всю информацию? Для решения данной задачи служит факторный анализ [2]. Факторный анализ основан на определении минимального числа факторов, которые составляют наибольшую долю в дисперсии данных [2]. В исследовании сложной природы сейсмичности факторный анализ помогает глубже понять сущность сейсмических процессов, так как взаимозависимость между сейсмическими параметрами должна быть обусловлена связями между параметрами, выявление которых и является задачей факторного анализа [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ismail-Zadeh A., Matenco L., Radulian M., Cloetingh S., Panza G.* Geodynamic and intermediate-depth seismicity in Vrancea (the south-eastern Carpathians): Current state-of-the art // *Tectonophysics*. – 2012. – V. 530. – P. 50–79. DOI: 10.1016/j.tecto.2012.01.016.
2. *Smith L.J.* A tutorial on Principal Components Analysis. Technical Report OUCS-2002-12. – Department of Computer Science, University of Otago, New Zealand, 2002. – 26 p. – URL: <http://www.cs.otago.ac.nz/research/techreports.php>.
3. *Методологія оцінки сейсмічної небезпеки основі ймовірнісних моделей сейсмічності.* – Київ, 2017. – 327 с.

РАСЧЕТ УРОВНЯ ТЕХНОГЕННЫХ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАПАДНОУРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Ю.В. Варлашова
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Одним из важнейших требований при установке сейсмической станции является ее размещение в месте с возможно низким уровнем микросейсмических шумов. Эта задача особенно сложна в регионах с высокой техногенной нагрузкой. В полной мере это относится к большей части территории Пермского края и, в особенности, к району Верхнекамского месторождения калийных солей [1, 2]. Процесс выбора места для сейсмической станции – это сложное и длительное по времени проведения мероприятие. В связи с этим предлагается использовать расчетные карты амплитуд микросейсмических шумов, что позволит формализовать и обосновать выбор места для установки сейсмической станции. В течение многих лет на территории Пермского края проводятся сейсмологические измерения и составляется единая база данных.

Информация по всем измерениям обобщена в виде, удобном для прогнозирования уровня шумов в произвольной точке пространства, т.е. каждый источник характеризуется определенным максимальным уровнем шумов – среднеквадратической амплитудой в заданном диапазоне частот и характерным затуханием волн, обусловленным преобладанием того или иного типа волн.

Для целей выбора мест размещения региональных станций имеет значение диапазон короткопериодных колебаний (1–10 Гц). Исходя из среднего затухания таких волн от конкретных источников, в качестве примера были рассчитаны карты амплитуд микросейсмических шумов для Пермского края. При расчете этих карт использовалась разработанная в лаборатории природной и техногенной сейсмичности «ГИ УрО РАН» программа *NoiseMap* (автор Д.Ю. Шулаков) [3], использующая модельные характеристики источников и параметры затухания волн.

В качестве исходных данных используются координаты источников: для точечных объектов – координаты центров, для линейных – координаты точек излома, для площадных объектов – координаты угловых точек внешних границ объекта. Для линейных и площадных объектов считается, что уровень шумов определяется расстоянием до ближайшей его точки.

Таким образом, построение расчетной карты уровня микросейсмических шумов дает возможность формализовать выбор места для сейсмической станции, выявить реальное влияние источников шума, рекомендовать рациональное размещение пункта будущих наблюдений, где регистрация полезных волн будет наиболее информативной.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dyagilev R.A., Shulakov D.Y., Verholantsev A.V., Glebov S.V.* Seismic monitoring in potash mines: observation results and development aspects // Eurasian mining. – 2013. – N 2. – P. 24–28.
2. *Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Верхоланцев А.В.* Сейсмологический мониторинг Верхнекамского месторождения: задачи, проблемы, решения // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 25–29. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.05.
3. *Варлашова Ю.В., Шулаков Д.Ю.* Прогноз уровня микросейсмических шумов с целью выбора оптимального расположения сейсмической станции // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 85–88.

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.В. Верхоланцев
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Важным аспектом в области охраны инженерных сооружений является оценка и учет собственных (резонансных) характеристик для обеспечения безопасности при возможных сейсмических воздействиях. Необходимость совместного изучения динамических характеристик сооружений с оценкой сейсмической опасности отмечается многими исследователями [1, 2] и связана тем, что нарушения происходили и продолжают происходить при относительно небольших скоростях колебаний грунта. Кроме опасности, связанной с совпадением собственной частоты сооружения с частотами сейсмического воздействия, возможна дополнительная угроза наложения эффекта усиления колебаний за счет грунтовых условий в основании сооружения (резонансные особенности грунтов). Введенный в 2008 г. ГОСТ Р 52892-2007 [3] рекомендует проводить дополнительные измерения на верхних перекрытиях зданий (при высоте зданий больше 12 м) для оценки усиления резонансными эффектами, однако наш опыт изучения этого явления позволяет говорить о том, что оно проявляется для всех строений высотой более одного этажа, причем возможно как ослабление колебаний (резонансное поглощение), так и усиление [4].

При проектировании и решении вопросов охраны будущих инженерных сооружений выполняется задача определения собственных резонансов будущей конструкции математическим моделированием. Экспериментально определить резонансные характеристики существующего сооружения возможно посредством одновременной регистрации сейсмических колебаний в верхней части сооружения и на грунте вблизи основания (фундамента). Также возможен вариант одновременной регистрации в верхней части сооружения и непосредственно на фундаменте. В качестве источника можно использовать как микросейсмический шум, так и сигналы от импульсных источников (землетрясение, технологические взрывы). В работе представлено сравнение резонансных характеристик для разных типов сооружений, полученных разными подходами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богацкий В.Ф., Фридман А.Г.* Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. – М.: Недра, 1982. – 162 с.
2. *Сапожников А.И.* Особенности колебаний зданий и сооружений при динамических воздействиях различной природы // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015. – № 1 (192). – С. 27–32.
3. *ГОСТ Р 52892-2007.* Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – М.: Стандартинформ, 2007. – 32 с.
4. *Верхоланцев А.В., Шулаков Д.Ю.* Оценка сейсмического влияния буровзрывных работ на поверхностные здания и сооружения // Геофизика. – 2014. – № 4. – С. 40–45.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КАТАВ-ИВАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 04.09.2018 Г., $ML=5.4$

¹Ф.Г. Верховланцев, ²Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н., ³А.В. Верховланцев, ³Н.С. Гусева
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
³«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Район Урала и прилегающая к нему территория характеризуются умеренной сейсмической активностью. Относительно сильные землетрясения происходят здесь достаточно редко. С начала инструментальных наблюдений (1906 г.) до недавнего времени было зарегистрировано всего три тектонических землетрясения (Билимбаевское 1914 г., Качканарское 2010 г., Среднеуральское 2015 г.), которые имели обширные макросейсмические проявления [1–5]. Лишь последние два дали возможность детально изучить характер распространения макросейсмических эффектов на весьма обширной территории в диапазоне интенсивности от 2 до 5 баллов, увязав эти сведения с представительными инструментальными данными. Серьезные дополнения к этому набору данных внесло макросейсмическое исследование эпицентральной зоны самого сильного инструментально зарегистрированного землетрясения ($ML=5.4$), произошедшего 04.09.2018 г. в районе г. Катав-Ивановска.

Для этого события в ходе полевых макросейсмических обследований было охвачено 14 населенных пунктов в радиусе до 80 км от инструментально определенного эпицентра. Еще из 40 населенных пунктов с максимальным расстоянием от эпицентра до 380 км данные об осязательности были получены удаленно. Всего собрано и обработано 205 уникальных макросейсмических анкет, на основании которых построена карта макросейсмического поля. Интенсивность в эпицентре составила 6 баллов. Для оценки интенсивности сотрясений впервые для Уральского региона были использованы количественные характеристики, принятые в шкале ШСИ-2017 [6].

Полученные объективные данные по этому землетрясению свидетельствуют о необходимости пересмотра карты сейсмического районирования для данного района и, возможно, переоценке общего сейсмического потенциала Урала в сторону повышения.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В.* К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды Сейсмологического института АН СССР. – 1940. – № 104. – 12 с.
2. *Гусева Н.С., Дягилев Р.А.* Макросейсмическое поле Билимбаевского землетрясения 1914 г. на Урале // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 133–137.
3. *Сейсмологический мониторинг Западного Урала* [Электронный ресурс]. – URL: <http://pts.miperm.ru/region/index.htm>.
4. *Дягилев Р.А., Верховланцев Ф.Г., Голубева И.В.* Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с $K_p=12.1$, $M_w=4.4$, $I_0=5$ (Урал) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 336–346.
5. *Гусева Н.С., Дягилев Р.А., Верховланцев Ф.Г.* Макросейсмическое поле Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 125–129.
6. *ГОСТ Р 57546–2017.* Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 28 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ФИЦ ЕГС РАН ПО РАЗВИТИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ

Ю.А. Виноградов, к.т.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года», утвержденной Президентом РФ, сформулированы приоритетные задачи научно-технической деятельности для обеспечения суверенитета и национальных интересов Российской Федерации в Арктике. В ней отмечено, что ключевыми факторами, оказывающими влияние на социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), являются:

– низкая устойчивость экологических систем, определяющих биологическое равновесие и климат Земли, и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий;

– отсутствие российских современных технических средств и технологий для поиска, разведки и освоения морских месторождений углеводородов в арктических условиях;

– отсутствие средств постоянного комплексного космического мониторинга арктических территорий и акваторий, зависимость от иностранных средств и источников информационного обеспечения всех видов деятельности в Арктике;

– дефицит технических средств и технологических возможностей по изучению, освоению и использованию арктических пространств и ресурсов, недостаточная готовность к переходу на инновационный путь развития АЗРФ.

В качестве первоочередных мер для совершенствования системы государственного управления развитием АЗРФ предусмотрено создание системы комплексной безопасности для защиты территорий, населения и критически важных объектов Арктической зоны от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера при разработке и реализации проектов освоения арктического континентального шельфа и прибрежной зоны, в частности, развитие системы мониторинга геофизической обстановки с целью минимизации воздействия экстремальных геофизических процессов (естественного и искусственного происхождения) на среду обитания человека и транспортную инфраструктуру.

ФИЦ ЕГС РАН имеет большой опыт проведения работ в Арктике. Четыре из 12 филиалов Единой геофизической службы расположены в АЗРФ и проводят многолетний мониторинг в тяжелых арктических условиях. Сложность проведения любых работ в Арктике обусловлена несколькими факторами: огромная и малонаселенная территория, отсутствие инфраструктуры, низкая транспортная доступность, плохая и дорогостоящая связь, неблагоприятные для работы аппаратуры климатические условия, дикие животные, строгие экологические правила. Для решения задачи мониторинга необходима международная и межведомственная координация, а также объединение усилий между различными научными организациями.

Потепление климата на планете привело к развитию новых, малоизученных видов опасности в Арктике, связанных прежде всего с активным айсбергообразованием, деструкцией криолитосферы, внезапным выбросам газогидратов. Задача мониторинга этих опасных процессов становится все более актуальной в связи с планируемым активным освоением арктических месторождений углеводородов и развитием навигации по Северному морскому пути.

В докладе представлен имеющийся у ФИЦ ЕГС РАН опыт организации мониторинга геофизических полей в Арктике и перспективы развития сети геофизического мониторинга в ближайшие пять-семь лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ПОЛУОСТРОВЕ ЯМАЛ

¹Ю.А. Виноградов, к.т.н., ²А.В. Федоров, к.ф.-м.н.,
³М.С. Пятунин, ¹А.М. Милехина
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
³ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

В связи с начавшейся эксплуатацией газовых месторождений Ямала и подготовкой к освоению углеводородных полей шельфа Карского моря очевидно, что уже в ближайшей перспективе Ямал и Карская нефтегазовая провинция по насыщенности дорогостоящими и потенциально опасными природно-техническими комплексами сравняются с освоенными провинциями Северного и Норвежского морей. Исходя из этого, ФИЦ ЕГС РАН совместно с администрацией ЯНАО приступили к формированию высокочувствительной сети сейсмического мониторинга Северного Ямала для опережающего выявления зон с повышенным уровнем проявления опасных деструктивных процессов и обеспечения непрерывного контроля геодинамического режима в зонах промышленного освоения.

В последние годы, в связи с потеплением климата, появились новые угрозы для промышленной безопасности, создаваемые деструкционными процессами в криосфере. В осадочном чехле шельфа повсеместно были выявлены залежи газонасыщенных пород («газовые карманы» и слои газогидратов метана), из которых происходит повышенная эмиссия метана, вплоть до взрывных выбросов, представляющих опасность для буровых скважин, крупных инженерно-технических сооружений и судов [1]. Активизации газовых выбросов способствуют деградация слоя многолетнемерзлых пород и землетрясения тектонической и техногенной природы. На месте мощных выбросов газа на дне моря остаются кратеры глубиной до 50 м и до километра в поперечнике. Аналогичные по природе гигантские воронки на суше выявлены на полуостровах Ямал и Таймыр [2].

Сейсмическая сеть на полуострове Ямал состоит из трех сейсмических станций, укомплектованных широкополосными сейсмометрами Trillium Compact 120 с цифровыми регистраторами Centaur, комплектами бесперебойного питания и передачи данных, установленных вблизи населенных пунктов Сабетта, Харасавей и Бованенково [3].

Несмотря на то, что сеть работает в опытном режиме, с ее помощью удалось зарегистрировать уникальные события – образование газовых воронок на Ямале. Также оказалось, что станции новой сети помогают существенно уточнить локацию эпицентров сейсмических событий на архипелаге Новая Земля и в Республике Коми. Многочисленные сейсмические события регистрируются и в районе проведения добычи газа и, вероятно, имеют техногенную природу.

В докладе приводятся описания мест установки станций и первые результаты работы новой сейсмической сети.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е.* Газогидраты морей и океанов – источник углеводородов будущего. – М.: ООО «ИРЦ Газпром». – 2009. – С. 416.
2. *Богоявленский В.И.* Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. – 2014. – № 9. – С. 13–18.
3. *Виноградов Ю.А., Пятунин М.С.* Сейсмологический мониторинг на Северном Ямале. Первые результаты // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 92–95.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЦИКЛА, СВЯЗАННОГО С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ТОХОКУ 2011 Г., НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GPS

^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н., ^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²МФТИ, г. Долгопрудный

Японский архипелаг, расположенный на северо-западной окраине Тихого океана, относится к числу наиболее сейсмически активных регионов Земли. По результатам многолетних спутниковых геодезических наблюдений на территории Японских островов получены поля скоростей смещений точек земной поверхности до, во время и после катастрофического землетрясения Тохоку 11 марта 2011 г. ($M_w=9.0$). Проанализирована применимость концепции клавишной модели зоны субдукции для интерпретации зарегистрированных движений земной поверхности [1, 2].

Выявлены существенные различия как в величинах, так и в ориентировке векторов смещений земной поверхности на территории Японских островов на всех стадиях сейсмического цикла. Наблюдаемые различия в амплитуде и направлении смещений могут объясняться присутствием на территории Японии крупных разломных структур, уходящих корнями в зону контакта взаимодействующих литосферных плит и разделяющих острова архипелага на отдельные блоки [3, 4]. При этом, в силу относительно слабого взаимодействия между соседними блоками, каждый из них может деформироваться независимо от смежных структурных сегментов.

На основе данных спутниковой геодезии построены модели очага землетрясения и его последующего развития в течение полугода. Быстрое уменьшение амплитуд смещений в области очаговой зоны свидетельствует о затухании процесса фрикционного асейсмического развития сейсморазрыва в указанный период времени.

Таким образом, все многообразие движений, наблюдаемых на территории Японских островов на протяжении всех стадий сейсмического цикла, связанного с землетрясением Тохоку 2011 г., может быть объяснено в рамках клавишной концепции строения субдукционных регионов. Это позволяет прийти к выводу, что порядок генерации сильнейших сейсмических событий в северо-восточной части Японской сейсмофокальной зоны, по-видимому, обусловлен клавишно-блоковым строением островодужной окраины Евразийской литосферной плиты.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лобковский Л.И., Баранов Б.В.* Клавишная модель сильных землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах // ДАН. – 1984. – Т. 275, № 4. – С. 843–847.
2. *Lobkovsky L.I., Kerchman V.I., Baranov B.V., Pristavakina E.I.* Analysis of seismotectonic processes in subduction zones from the standpoint of a keyboard model of great earthquakes // Tectonophysics. – 1991. – V. 199. – P. 211–236.
3. *Loveless J.P., Brennan J.M.* Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan // J. Geophys. Res. – 2010. – V. 115, N. B02410. – P. 1–35.
4. *Panayotopoulos Y., Hirata N., Sato H., Kato A., Imanishi K., Kuwahara Y., Cho I., Takeda T., Asano Y.* Investigating the role of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line towards the evolution of the Northern Fossa Magna rift basin // Tectonophysics. – 2014. – V. 615–616. – P. 12–26.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ВЫЗВАННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ МАУЛЕ 2010 Г., НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н., ^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²МФТИ, г. Долгопрудный

Чилийская зона субдукции относится к числу наиболее сейсмоактивных регионов Земли, что связано с пологим углом падения океанической плиты в сочетании с высокой скоростью конвергенции плит и особенностями геометрии межплитового сцепления. 27 февраля 2010 г. в пределах сейсмической брешы Дарвина произошло землетрясение Мауле, магнитуда которого составила $M_w=8.8$. Интерпретация смещений земной поверхности, наблюдаемых в окрестности очага землетрясения Мауле на разных стадиях сейсмического цикла, производится в данной работе в рамках клавишной модели возникновения сильнейших землетрясений в зонах субдукции [1, 2]. В пользу клавишно-блокового строения фронтальной части континентальной окраины нависающей Южноамериканской плиты свидетельствует ряд сейсмологических и геологических данных [3, 4]. Использование клавишно-блоковой модели позволило связать наблюдаемые методами спутниковой геодезии межсейсмические, косейсмические и постсейсмические смещения земной поверхности с действием определенных геодинамических процессов и, следовательно, изучить их особенности. Для достижения этой цели были проанализированы данные почти 10-летних непрерывных наблюдений на 76 станциях Чилийской сети GPS-станций, развернутых вдоль очаговой зоны землетрясения Мауле. Анализ вариаций поля поверхностной деформации основан на изучении скоростей смещения станций GPS, оцененных по 1-летним интервалам. Наблюдаемые длительные постсейсмические смещения отражают процесс восстановления стационарного состояния накопления напряжений в сейсмогенных блоках фронтальной части зоны субдукции в сочетании с продолжающимся смещением тылового массива вследствие вязкой релаксации в астеносфере. Для оценки времени перехода сейсмогенной зоны в стационарное состояние накопления упругих напряжений были построены модели развития сейсморазрыва и вязкоупругой релаксации в астеносфере. Построенные модели позволили уточнить общую продолжительность постсейсмических процессов, которая составила более 15 лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобковский Л.И., Баранов Б.В. Клавишная модель сильных землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах // ДАН. – 1984. – Т. 275, № 4. – С. 843–847.
2. Lobkovsky L.I., Kerchman V.I., Baranov B.V. and Pristavakina E.I. Analysis of seismotectonic processes in subduction zones from the standpoint of a keyboard model of great earthquakes // – Tectonophysics. – 1991. – V. 199. – P. 211–236.
3. Beck S., Barrientos S., Kausel E., Reyes M. Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone // J. Seismol. Am. Earth Sci. – 1998. – V. 11, N 2. – P. 115–129.
4. Melnick D., Ehtler H.P. Morphotectonic and geologic digital map compilations of the South-Central Andes (36–42°S) // The Andes. Active Subduction Orogeny. – Springer-Verlag: Berlin, 2006. – Ch. 30. – P. 565–568.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ДАГЕСТАНЕ В 2019 Г.

¹И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., ¹Л.Н. Королецки,
²Н.Л. Пономарева, ¹О.П. Каменская
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Настоящее исследование касается сейсмичности территории Дагестана, где в январе 2019 г. произошли многочисленные проявления слабых землетрясений в виде скопленных очагов практически одновременно в нескольких зонах: первое – чуть южнее центральной части Андийского хребта, начавшееся 17 января, несколько ощутимых с $M=3.1-3.5$ произошло 18–20 января и состояло из порядка 130 событий с глубинами в верхней части земной коры; второе – к востоку в сторону Махачкалы, южнее Чиркейского водохранилища, также с верхнекоровыми очагами. Интересен факт заглуженности ниже поверхности Мохо нескольких очагов землетрясений, эпицентры которых можно отнести к положению первой зоны. Высказано предположение о взаимосвязи этих проявлений. В качестве исходных данных для исследования был взят каталог землетрясений, полученный рутинными методами обработки в Дагестанском филиале ФИЦ ЕГС РАН, с уточнением ряда землетрясений в Информационно-обрабатывающем центре в Обнинске, и записи сейсмических станций на территории Дагестана и Чечни.

Несколько станций в центре Дагестана («Дылым», «Унцукуль», «Гуниб») находились на близком расстоянии от первого и второго скопленных землетрясений, поэтому представляла интерес отработка методов распознавания принадлежности событий к тому или иному очагу по форме записи и подобию их с применением корреляционно-го анализа, изучение спектральных особенностей сейсмических фаз этих событий.

Одновременно обрабатывались методические приемы составления уточненного каталога методом двойных разностей [1] с выделением кластеров сейсмических событий, определение погрешностей вычисления координат. 241 событие было кластеризовано в 23 кластера, наибольший интерес из них представляли три группы, состоящие из 126, 46 и 6 событий с глубинами $h=55-73$ км. Эпицентры последних располагались не более чем на 20 км южнее и севернее первой группы событий в районе пос. Гагатлы.

Установлено, что 126 сейсмических событий, произошедших с 17 по 20 января, с большой степенью вероятности можно отнести к рою, проявившемуся компактно в одном кластере с координатами центра 42.803°N , 46.335°E , $h=13$ км, с отклонением, не превышающим ± 2 км по площади и 5 км – по глубине.

Кроме параметров, на принадлежность этих землетрясений к одному очагу указывает подобие волновых форм этих землетрясений по нескольким станциям. Для установления подобия использовались записи станций «Аракани», «Дылым», «Унцукуль» и «Гуниб» для землетрясений различных магнитуд (энергетических классов). Выбирались фрагменты, включающие P - и S -волны. Для событий в районе Гагатлы (первый кластер) получены высокие значения коэффициентов корреляции записей, фильтрованных в полосе $1-3$ Гц – $R=0.80-0.98$.

Аналогичный анализ записей второго кластера событий с координатами центра 42.947°N , 46.961°E , $h=13$ км не показал такого подобия записей и отнесен нами к возможно индуцированной сейсмичности в районе Чиркейского водохранилища.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Waldhauser F.* HypoDD – A program to compute double-difference hypocenter locations // U.S. Geol. Survey. Open File Report 01-113. – 2001. – P. 25.

ПРИГОДНОСТЬ КАРТЫ МИКРОСЕЙСМОРАЙОНИРОВАНИЯ Г. МАГАДАНА (1984 Г.) ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

^{1,2}Н.К. Гайдай, к.г.-м.н.

¹СВГУ, г. Магадан

²СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Проблема прогнозирования фактического поведения существующей застройки при сейсмических воздействиях на нее всегда была актуальна, поскольку напрямую связана с безопасной эксплуатацией сооружений, а также защитой жизни человека и охраной окружающей среды. Магаданская область находится в сейсмическом районе [1] и периодически подвергается землетрясениям различных амплитуд.

Большинство зданий и сооружений региона были построены еще в советские времена и спроектированы по устаревшим на сегодняшний день нормам. За время эксплуатации застройка получила физический износ. С целью безопасности рекомендовано проведение комплекса мероприятий по сейсмоусилению. Однако это не всегда оправдано в силу малых существующих вибрационных нагрузок на конкретное здание в реальных геологических условиях.

В настоящее время проектные и изыскательские организации, работающие в регионе, а также контролирующие и экспертные учреждения сферы строительства для учета сейсмичности площадок при возведении и эксплуатации зданий и сооружений руководствуются требованиями СП 14.13330.2018 [1].

Карта микросейсмозонирования г. Магадана, действие которой на сегодняшний день не отменено, датирована 1984 г., а комплекс работ, предшествующий ее созданию, осуществлен в период 1976–1977 гг.

С момента издания карты значительно увеличилось количество источников микросейсмических колебаний, обусловленных использованием современного технического оснащения производства, значительным увеличением количества транспортных средств и т.п. Рост вибрационных воздействий на среду, вполне вероятно, мог повлечь за собой значительные изменения ее физико-химических свойств. К тому же, в отличие от норм, принятых во времена создания карты [2], сегодня карты ОСР-2015 [1] приводят значения, повышенные на один балл. При этом на многих застроенных участках за последние десятилетия практически деградировала островная высокотемпературная мерзлота, что увеличило чувствительность оснований и фундаментов.

Заказчик при необходимости имеет право ужесточить требования к обеспечению сейсмостойкости строительства и требовать проведения микросейсмозонирования на стройплощадке в рамках инженерно-геологических изысканий [1]. Однако целесообразным представляется пересмотр сейсмического районирования всех районов г. Магадана на основании экспериментального уточнения сейсмичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 14.13330.2018*. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*». – М., 2018. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minstroyrf.ru>. Дата обращения 17.04.2019.
2. *Карта сейсмического районирования СССР*. Масштаб: 1:5000000 / Гл. ред. М.А. Садовский. – МССС при Президиуме АН СССР: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 1978.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКЕ И РАЗВЕДКЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

^{1,2}Н.К. Гайдай, к.г.-м.н., ^{2,1}И.М. Хасанов, к.г.-м.н.

¹СВГУ, г. Магадан

²СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Одним из путей совершенствования горно-геологических работ при поисках и разведке аллювиальных месторождений золота является широкое применение геофизических исследований (в частности, сейсморазведки), основными задачами которых при поисках россыпных месторождений золота являются: определение морфологии границы рыхлых отложений и коренных пород; определение мощности рыхлых четвертичных отложений; расчленение разреза рыхлых отложений на отдельные горизонты [1–4].

Сейсморазведочные работы были проведены на полигонах, где планируется промышленная добыча россыпного золота. Сейсмические наблюдения производились по методике преломленных волн (МПВ) с использованием сейсмостанции SGD-SEL. Измерения осуществлялись отдельными зондированиями с обеспечением встречных и нагоняющих годографов длиной 115 м с расстоянием между сейсмоприемниками 5 м. Глубинность исследований составила до 30–40 м.

В условиях отсутствия грунтовых вод (Республика Танзания, октябрь) уверенно определяется трехслойный геологический разрез со скоростями продольных волн: первый – 374 м/с, второй – 2500 м/с, подстилающий третий слой – 4600–5000 м/с.

В условиях полного насыщения водой (Северный Урал, ноябрь) зарегистрирован четырехслойный разрез. Первый – 400–600 м/с, второй – 800–1400 м/с (данная толща является наиболее продуктивной и вмещает в себя основную часть россыпного золота («пески»)), третий – 1600–2100 м/с, четвертый (коренные породы) – 4000 м/с.

В условиях развития многолетнемерзлых пород (Центрально-Колымский регион Магаданской обл., апрель) до глубины 30 м достоверно выделены две преломляющие границы. Первый слой: до 3 м – 1500–2500 м/с, от 2–3 до 6–12 м – 3000–4000 м/с. Вторая преломляющая граница разделяет рыхлые и коренные породы – 5000–5400 м/с.

Все выделяемые по сейсмическим данным слои были подтверждены горными работами (бурение, отработка карьеров). Несмотря на существенные различия в геолого-гидрогеологических условиях, гранулометрическом составе и структурно-текстурные особенности геологической среды, сейсмические исследования методом преломленных волн показывают высокую эффективность при расчленении рыхлого чехла четвертичных отложений и определении границы рыхлых и коренных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хасанов И.М., Прусс Ю.В., Муравьев Л.А., Терновский В.А.* Перспективы применения инновационных геофизических методов на стадии разведки россыпей // Проблемы формирования инновационной экономики региона. Материалы IV научно-практической конференции. – Магадан, 2015.

2. *Давыдов В.А.* Применение малоглубинной сейсморазведки для изучения подработанных территорий // Известия вузов. Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 111–116.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

¹И.А. Гарагаш, д.ф.-м.н., ^{2,3}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.,
^{2,3}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н.
¹ИФЗ РАН, г. Москва
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
³МФТИ, г. Долгопрудный

Развитие опасных геодинамических процессов, таких, как оползни и землетрясения, контролируется полями напряжений в земной коре исследуемого региона. В свою очередь, напряженно-деформированное состояние земной коры в значительной степени формируется ее разломно-блоковым строением. Исследование напряженно-деформированного состояния земной коры Северо-Восточной Азии необходимо для решения актуальной задачи создания региональной структурно-динамической модели данного региона. Совместный анализ полей деформаций и геолого-геофизических данных позволит установить главные сейсмогенерирующие структуры территории Северо-Восточной Азии и, соответственно, внести вклад в решение фундаментального вопроса об установлении замыканий границ предполагаемых в этом регионе микроплит.

Расчет полей деформаций земной поверхности в Северо-Восточной Азии проводится на основе анализа многолетних спутниково-геодезических наблюдений. Расчет параметров, характеризующих поле деформаций, производится на основе двух подходов: 1 – для системы треугольных элементов, реализующих покрытие исследуемого региона; 2 – посредством численного решения уравнений механики сплошной среды методом конечных разностей [1]. Во втором случае исходное нерегулярное поле скоростей пересчитывается с использованием сплайн-функций в распределение скоростей для регулярной сетки, что позволяет в дальнейшем получить гладкое решение. Выявление тектонически активных структур осуществляется в результате сопоставления локализации и интенсивности аномалий, выделенных в деформационном поле, с данными о распределении региональной сейсмичности, предоставленными ФИЦ ЕГС РАН. При выполнении расчетов было изучено влияния движений микроплит, выделяемых в Северо-Восточной Азии по данным ГНСС [2, 3], на исходные скорости движений земной поверхности. Выявленный сложный характер деформирования континентального края обусловлен как тектоническими движениями, так и распределенными пластическими деформациями.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобковский Л.И., Гарагаш И.А., Дубовская А.В. Связь напряженно-деформированного состояния земной коры Восточного Прикаспия с зонами возникновения очагов землетрясений // Доклады РАН. – 2013. – Т. 449, № 4. – С. 458–462.
2. Ашурков С.В., Саньков В.А., Серов М.А., Лукьянов П.Ю., Гриб Н.Н., Бордонский Г.С., Дембелов М.Г. Современные деформации Амурской плиты и окружающих структур по данным GPS измерений // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 11. – С. 2059–2070.
3. Габсатаров Ю.В. Кинематика микроплит в Северо-Восточной Азии: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. – М.: ИФЗ РАН, 2015. – 193 с.

РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВРЕМЕННОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ИДГ РАН НА ВЕП

А.Г. Гоев, С.Г. Волосов, И.А. Санина, д.ф.-м.н.,
Н.Л. Константиновская, М.А. Нестеркина
ИДГ РАН, г. Москва

В 2017 г. в рамках работ по исследованию глубинного строения центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) были установлены три временных сейсмических пункта, оборудованных широкополосными трехкомпонентными датчиками. Дислокация станций обусловлена необходимостью построить профиль в субширотном направлении с целью наиболее полного изучения коллизионной зоны тройного сочленения мегаблоков центральной части ВЕП [1]. Включение в регистрационную сеть опорной группы «Михнево» позволяет существенно увеличить надежность получаемых результатов.

Сеть состоит из четырех пунктов регистрации – «Александровка» (ALX), «Воскресенск» (VOSK), «Шатура» (SHAT) и «Михнево» (MNA). Станция «Александровка» (54.89°N, 35.01°E), функционирующая с 01.10.2017 г., укомплектована датчиком Guralp CMG-6TD (предельный период – 30 с) и приурочена к краевой части микроконтинента Сарматия. Пункт наблюдений «Воскресенск» (55.33°N, 38.88°E), установленный 11.04.2017 г., укомплектован датчиком RefTek 151-60 (предельный период – 60 с) и дислоцирован в коллизионной (межблоковой) зоне. Сейсмостанция «Шатура» (55.21°N, 39.97°E), работающая с 03.11.2017 г., укомплектована датчиком RefTek 151-60 (предельный период – 60 с) и установлена в краевой части микроконтинента Волго-Уралья.

За год наблюдений сетью зарегистрировано 765 событий различной природы. Большую часть составляют землетрясения на телесеismicких расстояниях (517) с магнитудами более 4.5. Отлоцировано 46 землетрясений с магнитудами больше 4 на региональных расстояниях (до 3000 км), большей частью из зоны Вранча (Румыния), а также из регионов Кавказа, Ирана и Таджикистана. Основная часть отлоцированных событий приходится на промышленные взрывы на известных карьерах с магнитудами от 1.5, расположенных в Курско-Белгородском регионе, Липецкой, Тульской, Владимирской и Московской областях.

Локация по группе «Михнево» имеет некоторый разброс по азимуту (около 5°), что связано с особенностями программного обеспечения, поэтому наблюдения на временной сети позволили уточнить результаты локации некоторых событий.

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А19-119022090015-6 государственного задания № 01146-2019-0004 и при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-01099).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Volozh Y.A. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Precambrian Research. – 2008. – V. 160 (1–2). – P. 23–45.

НОВЫЕ ВОЛНОВЫЕ ФОРМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В КУРСКО-БЕЛГОРОДСКОМ РЕГИОНЕ

А.Г. Гоев, В.И. Куликов, к.ф.-м.н.,
Н.Л. Константиновская, М.А. Нестеркина
ИДГ РАН, г. Москва

Карьер Лебединского ГОКа является одним из самых крупных в Европе, площадью более 10 км^2 , глубиной более 350 м. Здесь добываются железистые кварциты открытым способом с помощью взрывных работ. Мощность производимых взрывов меняется от 2000 до 3000 тонн. Технология проведения взрывов примерно одинаковая – одновременно к подрыву готовятся несколько крупных блоков, расположенных на разных участках карьера [1].

За период наблюдений на МСГ «Михнево» с 2004 г. было зарегистрировано 135 промышленных взрывов на карьере Лебединского ГОКа. Были созданы «портреты» волновых форм, что позволяло уверенно идентифицировать взрывы на данном карьере, регистрируемые группой «Михнево».

Однако в последнее время возникли некоторые сложности с идентификацией взрывов на данном карьере. За 2018 г. было произведено 22 промышленных взрыва. Применяя кластерный анализ, удалось разделить их на несколько групп, различающихся по спектральному составу. Часть из этих взрывов имеет типичный «портрет»: количество подрывов и замедлений между ними совпадают с теми, что были зарегистрированы в предыдущие годы, что позволяло без труда их идентифицировать. Другая группа взрывов отличалась и по количеству подрывов, и по замедлению между ними, а также по частотному составу.

Для более детального анализа этих взрывов были привлечены записи со станции GRB, установленной на расстоянии 3 км от карьера Лебединского ГОКа в городе Губкине Белгородской области.

Анализируя волновые формы, был сделан вывод о том, что частотный состав меняется в зависимости от местоположения блоков, где проводятся буровзрывные работы [2]. В результате на МСГ «Михнево» мы видим очень сложные волновые формы, связанные с интерференцией волн, сформированных взрывами в отдельных блоках, что приводит к сложностям при идентификации взрывов с помощью методов кросскорреляции.

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А19-119022090015-6 государственного задания № 01146-2019-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – С. 157–169.
2. *Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Чулков А.Б., Куликов В.И., Волосов С.Г.* Проблемы, возникающие при идентификации источника сейсмического сигнала, связанные с вариациями волновых форм (на примере карьера «Афанасьевский») // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 184–188.

КЫЗЫЛ-АРТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 26 ИЮНЯ 2016 Г. С $K_p=15.1$, $MPVA=6.2$, $I_0=7.5$ (КЫРГЫЗСТАН – ЗААЛАЙСКИЙ ХРЕБЕТ)

**В.В. Гребенникова, А.Г. Фролова, к.ф.-м.н., Н.Х. Багманова,
А.В. Берёзина, Е.В. Першина, С. Молдобекова
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика**

26 июня 2016 г. в 17:17 по местному времени (в 11:17 по Гринвичу) в Алайском районе Ошской области Кыргызстана произошло землетрясение с $K_p=15.1$ и интенсивностью сотрясений в эпицентре 7–8 баллов по шкале MSK-64 [1]. Эпицентр находился на северном склоне Заалайского хребта. Сотрясениями была охвачена обширная территория, включающая Ошскую, Баткенскую, Джалал-Абадскую, Нарынскую области Кыргызстана и приграничные районы Узбекистана, Таджикистана и Китая.

Параметры основного толчка ($\varphi=39.43^\circ\text{N}$, $\lambda=73.32^\circ\text{E}$, $h=10$ км, $K_p=15.1$, $MPVA=6.2$) определены по данным 21 сейсмической станции Кыргызстана и соседних государств. Тип движения в очаге по обеим плоскостям – взброс с компонентами сдвига.

Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. В региональный каталог Кыргызстана за период с 26 июня по 25 ноября 2016 г. включены данные 2755 повторных толчков в диапазоне энергетических классов $K_p=5.7\text{--}13.5$. Три афтершока с $K_p=11.5\text{--}11.8$ последовали друг за другом через 6 мин после основного толчка.

Макросейсмическое обследование последствий Кызыл-Артского землетрясения Институтом сейсмологии НАН КР не проводилось. По данным МЧС КР, землетрясение не вызвало каких-либо серьезных деформаций и повреждений. Область максимальных сотрясений от 7–8 до 6 баллов охватила населенные пункты Алайского района Ошской области, характеризующиеся низкой плотностью населения. В плейстосейстовой зоне, в 9 км к северо-западу от эпицентра, расположено село Бор-Дёбё, в котором интенсивность сотрясений достигала 7–8 баллов. В населенных пунктах Сары-Таш, Кёк-Булак, Арча-Булак землетрясение ощущалось с интенсивностью 6–7 баллов. Сильные афтершоки также ощущались во многих населенных пунктах Кыргызстана и приграничных районов. С целью создания более полной картины возможного проявления главного толчка в других населенных пунктах Кыргызстана для них были получены расчетные значения интенсивности с помощью программы «SEISMIC INTENSITY» [2].

Заалайский хребет находится в зоне высокой сейсмической активности. На этой территории выявлено около 50 палеоземлетрясений с $M \geq 6.5$, к ней приурочены многие современные сильные сейсмические события, такие, как Дараут-Курганское 1978 г. ($M=6.8$) и Нуринское 2008 г. ($M=6.6$). Кызыл-Артское землетрясение 26 июня 2016 г. пополнило ряд сильных землетрясений Гиссаро-Кокшаальской зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант МНТЦ ISTC#KR 2398).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
2. *Гребенникова В.В., Миркин Е.Л.* Метод оперативного расчета интенсивности сейсмических сотрясений в населенных пунктах Кыргызстана при сильных землетрясениях // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2011. – С. 495–501.

NEXT-GENERATION OF SHAKEMAP FOR ROMANIA AND NEIGHBORING COUNTRIES

PhD B. Grecu, A. Danet, L. Manea, PhD E. Manea, PhD D. Toma-Danila,
A. Tiganeşcu, PhD A. Constantin, PhD C. Neagoe, PhD C. Ionescu
NIEP, Magurele, Romania

Romania is one of the European countries with a relatively high seismicity dominated by the activity occurring in the subcrustal domain of the Vrancea seismic region. Although the focal volume in which the earthquakes occur is rather narrow, with a horizontal cross section of $30 \times 70 \text{ km}$ and confined to depth-range from 60 to roughly 170 km [1], Vrancea is capable of generating strong-events in relatively short time intervals (3 to 5 earthquakes with magnitude $M_w > 6.5$ per century [2]). These major events can produce damages and affect people in Romania as well as in neighboring countries like Bulgaria, Republic of Moldova and Ukraine. Crustal earthquakes also occur in several seismogenic zones in Romania, but they are of moderate size, less destructive than the intermediate-depth events and their impact is limited in extent and confined mostly to epicentral areas. However, when such earthquakes occur in border regions, they may affect people on both sides of the border. This is the case of the 1991 $M_w = 5.6$ earthquake in Banloc (Romania), near the border with Serbia, when the ground motion caused by the earthquake was largely felt in the western Romania and in most of Serbia's territory.

In earthquake-prone countries, like Romania, near real-time information about the distribution of earthquake ground motion intensity is of significant importance for emergency responders to quickly identify areas that have been shaken most severely so that emergency services may be driven and coordinated more rapidly towards targeted areas. To support this, the National Institute for Earth Physics (NIEP) has implemented the United States Geological Survey (USGS) ShakeMap [3] to provide fast and quantitative description of ground shaking for earthquakes occurring in Romania. At present, maps portraying distribution of the ground motion are generated within 7–8 minutes after the occurrence of any earthquake with $ML \geq 3.0$ on the Romanian territory and are based on the version 3.5 of ShakeMap. Taking advantage of recent technological developments made available by the USGS, in this work we tested the new version of ShakeMap 4.0 for all intermediate-depth earthquakes with $M_w \geq 4.0$ and crustal earthquakes with $M_w \geq 3.5$ occurred in Romania between 1977 and 2018. We made tests using different ground motion prediction equations (GMPEs) and GMPEs weighting schemes, improved soil condition maps and combined strong motion and intensity (macroseismic and Did You Feel It - DYFI) data with the overall aim of finding the proper configuration that will be further used during the implementation of ShakeMap 4.0 in near-real time.

REFERENCES

1. **Popescu E., Radulian M., Bala A., Toma-Danila D.** Earthquake mechanism in the Vrancea subcrustal source and in the adjacent crustal seismogenic zones of the south-eastern Romania // Romanian Reports in Physics. – 2018. – V. 70. – P. 704.
2. **Ismail-Zadeh A., Matenco L., Radulian M., Cloetingh S., Panza G.** Geodynamic and intermediate-depth seismicity in Vrancea (the south-eastern Carpathians): Current state-of-the art // Tectonophysics. – 2012. – V. 530. – P. 50–79. DOI: 10.1016/j.tecto.2012.01.016.
3. **Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H., Scrivner C.W., Worden C.B.** TriNet "ShakeMaps": rapid generation of peak ground-motion and intensity maps for earthquakes in Southern California // Earthquake Spectra. – 1999. – V. 15 (3). – P. 537–556.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17 ОКТЯБРЯ 2018 Г. В ИНГУШЕТИИ

И.Ю. Дмитриева, А.А. Саяпина, С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

17 октября 2018 г. в 15:55 в селе Яндаре Республики Ингушетия произошло землетрясение интенсивностью сотрясений в эпицентре 5 баллов по шкале ШСИ-17 [1]. Оно ощущалось во всех близлежащих населенных пунктах. В соответствии с зонами ВОЗ [2], в эпицентральной зоне этого землетрясения теоретически максимально возможная магнитуда равна $M_{\max}=6.1$. В действительности, по данным [3], в области исследуемого землетрясения такие магнитуды пока не были зафиксированы.

Параметры землетрясения были определены по инструментальным данным сейсмических сетей NOGSR, OBGSR и DAGSR [4]. Гипоцентр землетрясения имеет координаты $\varphi=43.27^{\circ}\text{N}$, $\lambda=44.92^{\circ}\text{E}$, глубину залегания $h=12$ км, $K_p=11.5$. Очаг землетрясения приурочен к активному Сунженскому разлому, в этом месте Терско-Каспийский передовой прогиб встречается с молодой платформой Предкавказья. Механизм очага был построен в программе FA [5] по знакам первых вступлений продольных волн. Согласно полученному решению, землетрясение возникло под действием преобладающих сжимающих напряжений, тип движения – взброс, что согласуется с кинематической характеристикой Сунженской разломной зоны.

Для сбора макросейсмических данных сотрудниками Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН был осуществлен выезд в эпицентральной зону и близлежащие районы. Оценка интенсивности проводилась по реакции людей и предметов быта на основе шкалы ШСИ-17 [1]. Землетрясение с наибольшей интенсивностью 5 баллов проявилось в населенных пунктах Яндаре и Троицкое. Колебания ощущались в Карабулаке с интенсивностью 4–5 баллов; Сунже, Барсуках и Плиево – 4 балла; Назрани – 3–4 балла; Магасе, Али-Юрте, Средних Ачалуках – 3 балла. В семи населенных пунктах колебания проявились интенсивностью в 2 балла. Во Владикавказе землетрясение ощущалось на верхних этажах многоэтажных зданий интенсивностью в 1 балл.

Объем имеющейся макросейсмической информации для рассматриваемой территории относительно невелик. Данные о проявлениях Яндарского землетрясения интересны с точки зрения анализа распределения интенсивности сотрясений и изучения сейсмичности региона в целом.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. *Рогожин Е.А.* Сеймотектоника центрального сектора Большого Кавказа как основа для сейсмического мониторинга и оценки опасности // Вестник Владикавказского научного центра. – 2009. – № 9 (4). – С. 16–22.
3. *Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Палапашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.)*. II б. Кавказ [50–1974 гг., $M \geq 4.0$, $I_0 \geq 5$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
4. *Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В.* О методико-технологических особенностях выполнения сейсмологических наблюдений в Северной Осетии // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы Международной научно-практической конференции / Гл. ред. В.И. Костицын. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. – С. 252–258.
5. *Ландер А.В.* Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений Р-волн). – М.: Фонды автора, 2006. – С. 27.

УТОЧНЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ГИПОЦЕНТРА КАТАВ-ИВАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 04.09.2018 Г. МЕТОДОМ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЛОКАЦИИ ОЧАГОВ

¹Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н., ²Ф.Г. Верховланцев, ³А.В. Верховланцев
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
³«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Катав-Ивановское землетрясение с $ML=5.4$ произошло 4 сентября 2018 г. в Челябинской области, в районе с низкой плотностью сейсмических станций. Расстояние до ближайших трех станций («Уфа», «Арти» и «Стерлитамак»), по которым можно было бы выполнить полноценную трехмерную локацию, составляет от 155 до 180 км. В таких условиях определение местоположения гипоцентра традиционными методами возможно с ошибкой до 10 км. Тем не менее, для такого сильного землетрясения (по факту Катав-Ивановское землетрясение стало самым сильным инструментально зафиксированным землетрясением на Урале) желательно иметь более точные сведения об очаге.

Сразу после землетрясения в эпицентральной зоне региональной сетью была зафиксирована афтершоковая активность. Установка в районе Катав-Ивановска сети временных станций позволила следить за афтершоковым процессом достаточно детально, начиная с 10:44 6 сентября 2018 года. Отдельные афтершоки были достаточно сильными и ощущались на поверхности. Самые сильные из них произошли 5 сентября, 29 сентября и 15 ноября 2018 г. и имели магнитуду $m_b=4.7, 4.4$ и 4.4 соответственно.

Последние два сильных афтершока, вместе с другими землетрясениями в эпицентральной зоне с магнитудой выше 2.5, были зафиксированы как стационарной, так и локальной временной сетью станций, т.е. для них имеется достаточно точное определение гипоцентров, что дает основание к применению метода относительной локации для уточнения координат предшествующих событий в интервале времен от главного толчка до начала детальных наблюдений.

Расчеты с использованием метода относительной локации [1, 2] строятся на положении, что если известны параметры очага мастер-события (x_0, y_0, z_0, t_0) и измерены времена прихода волн из этого очага на разные станции (t_{Ri}) , то для события-соседа, произошедшего спустя интервал времени dt_0 , невязки измеренных времен вступления аналогичных волн на тех же станциях (t_i) будут обусловлены, главным образом, пространственным сдвигом (dx_0, dy_0, dz_0) события-соседа относительно мастер-события:

$$t_i - t_{Ri} = dt_0 + \frac{\partial T_i}{\partial x_0} dx_0 + \frac{\partial T_i}{\partial y_0} dy_0 + \frac{\partial T_i}{\partial z_0} dz_0,$$

где $\frac{\partial T_i}{\partial x_0}, \frac{\partial T_i}{\partial y_0}, \frac{\partial T_i}{\partial z_0}$ – частные производные функции медленности (величина, обратная скорости) в окрестности мастер-события.

Таким образом, приняв за мастер-событие один из сильных афтершоков с надежно установленными координатами, мы получили уточненные оценки координат главного толчка и нескольких афтершоков, последовавших в первые 36 часов после него.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gibowicz S.J., Kijko A.* An introduction to mining seismology. – San Diego, California: Academic Press, Inc., 1994. – 396 p.
2. *Mendecki A.J.* Seismic monitoring in mines. – Chapman & Hall, 1997. – 262 p.

СКОРОСТНАЯ МОДЕЛЬ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНВЕРСИИ ДИСПЕРСИОННЫХ КРИВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

¹Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н., ²М.С. Пятунин, ³А.А. Саяпина

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

³СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

В ходе сейсмологических наблюдений, выполненных на российском сегменте субмеридионального профиля, созданного в рамках проекта «Глубинное строение и сейсмическая структура Большого Кавказа» [1], в период с мая 2017 г. по декабрь 2018 г. получены непрерывные сейсмические записи. Записи получены группой из 15 широкополосных приборов, расположенных с интервалом 5–10 км друг от друга. Установленное оборудование позволило регистрировать сейсмические колебания в частотном диапазоне от 0.0083 до 20 Гц. С такой системой наблюдений представляется возможным получение скоростного разреза на глубину до первых десятков километров, применяя подходы скоростной инверсии по дисперсионным кривым поверхностных волн, извлекаемых из непрерывных записей низкочастотных микросейсм.

Наиболее благоприятными интервалами для такой обработки являются периоды афтершоковой активизации сильных землетрясений. В качестве подходящего примера такого интервала можно привести период с 4 мая по 2 августа 2018 г. после землетрясения на Гавайях с $M=6.9$, за которым последовало более 50 афтершоков с магнитудой более 5. Данное событие также благоприятствовало тем, что волны из эпицентральной зоны распространялись преимущественно вдоль профиля.

Дисперсионные кривые получались по групповым записям нескольких соседних станций, которые выбирались на профиле последовательно. Предварительно тестировались различные размеры групп, чтобы в итоге прийти к приемлемому минимальному набору данных, который позволяет проследить дисперсию поверхностных волн на достаточно широком диапазоне частот и, соответственно, глубин. По итогам теста выбран набор из шести станций, при котором удается получать дисперсионные кривые для периодов как минимум 50 с, при этом регистрируемые длины волн попадают в диапазон от 16 до 35 км. С меньшими наборами данных получать дисперсионные кривые в таком диапазоне частот удастся лишь на части профиля. В результате обработки данных получены дисперсионные кривые для десяти последовательных участков профиля, по которым выполнена инверсия скоростей V_P и V_S на глубину до 40 км.

Обработка выполнялась с использованием программного пакета Geopsy 2.9, в котором реализован и сам расчет дисперсионных кривых по фоновым микросейсмическим колебаниям, и одномерная инверсия упругих свойств пород разреза (скорости продольных и поперечных волн, плотность и др.) [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Sandvol E.A., Nabelek J.L., Mackey K.G., Malovichko A.A., Dyagilev R.A., Vinogradov Yu.A., et al. Uplift and seismic structure of the Greater Caucasus. Second stage of project // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 3–7.
2. Wathelet M., Jongmans D., Ohrnberger M. Surface wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements // Near Surface Geophysics. – 2004. – V. 2. – P. 211–221.
3. Wathelet M., Jongmans D., Ohrnberger M., Bonnefoy-Claudet S. Array performances for ambient vibrations on a shallow structure and consequences over V_S inversion // J. Seismol. – 2008. – V. 12. – P. 1–19.

О ПРОЦЕССЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ КАМЧАТКИ)

А.Д. Завьялов, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Процесс стягивания трещинообразования к плоскости будущего магистрального разрыва качественно описывается моделью лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ-модель) подготовки землетрясения. Явление локализации разрушения отмечено в ряде лабораторных экспериментов на образцах горных пород. В настоящей работе приведены результаты исследований по обнаружению этого эффекта при подготовке сильных землетрясений Камчатского сейсмоактивного региона. Информационной основой работы являлся региональный каталог землетрясений Камчатки [1]. Были рассмотрены все землетрясения с энергетическим классом $K \geq 14$, произошедшие с 1962 по 1996 год. В качестве области исследования для каждого землетрясения был выбран слой толщиной 50 км, включающий 1-ую нодальную плоскость. Анализировалось поведение в пространстве и времени величины расстояния R центра тяжести облака гипоцентров до 1-ой нодальной плоскости соответствующего землетрясения, а также распределение плотности сейсмогенных разрывов P_C в ее окрестности. В ходе исследования сконструирован параметр $S = RP_C$, который одновременно характеризует степень близости сейсмических событий к нодальной плоскости сильного землетрясения и степень растресканности среды в ее окрестности. Чем ближе располагается сейсмичность в данной ячейке к нодальной плоскости сильного землетрясения и чем больше степень растресканности в данной ячейке, тем меньше величина S . В этом смысле параметр S характеризует вклад каждого элементарного объема в подготовку будущего сильного землетрясения. Полученные результаты дают основания полагать, что сейсмические события, происходящие в процессе подготовки очага землетрясения, локализуются вблизи нодальной плоскости будущего магистрального разрыва, и, по-видимому, область такой локализации определяет местоположение будущего гипоцентра сильного землетрясения (точка начала процесса образования магистрального разрыва). После главного события в области пониженных значений параметра P_C , близко расположенной к гипоцентру основного события, происходят афтершоки, которые окончательно завершают процесс разрушения, связанный с данным землетрясением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00096) и программ государственного задания ИФЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.)* // Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ ЛИТОСФЕРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПРЕДКАВКАЗЬЕ

¹А.С. Зверева, ²И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н.,
³Д.В. Лиходеев, к.ф.-м.н., ²В.Ф. Бабкина
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
³ИФЗ РАН, г. Москва

Исследования поглощения энергии сейсмических волн на пути от источника до станции необходимы для адекватной оценки таких параметров, как скалярный сейсмический момент M_0 . Эти исследования напрямую связаны с изучением добротности среды $Q(f)$ – одной из наиболее информативных характеристик среды, дающей представление о материале и физических условиях внутренних слоев Земли. Методика вычислений $Q(f)$ по записям локальных землетрясений основана на кодовой части записей. Для оценки добротности Q использовались методы, разработанные К. Аки, Т.Г. Раутиан и др., в основе которых лежит принцип подавления эффектов источника излучения и локальных эффектов в спектрах поперечных волн с помощью кода-волн, измеренных на фиксированном времени с момента первого вступления (времени двойного пробега S -волны) [1, 2]. Для устранения эффектов направленности излучения проводится усреднение по множеству событий с очагами, расположенными в широком диапазоне азимутов относительно точки приема.

Настоящая работа представляет обобщение результатов вычислений $Q(f)$ для шести станций Центрального Предкавказья («Нейтрино», «Домбай», «Красная Поляна», «Гузеришль», «Горное» и «Кисловодск»), включающего район Большого Кавказа, и платформенные структуры Скифской плиты – моноклиналь Предкавказья в районе Кавказских Минеральных Вод и Ставропольский свод [3]. Эпицентры 324 исследуемых землетрясений с $M \geq 1.6$ располагались на удалении не более чем 170 км от станций в тех же тектонических структурах и в районе Ставропольского свода и сопредельных с ним структурах Скифской платформы на площади примерно 230×350 км. Построены карты распределения значений добротности $Q(f)$ по каждой паре станция-землетрясение для различных центральных частот и различных длительностей окон коды. Для анализа выбирались только значения, удовлетворяющие контролю качества вычисления с использованием отношения сигнал/шум ≥ 3 . Наблюдаются вариации значений добротности для групп сейсмостанций, связанные с условиями расположения сейсмических станций. Для сейсмических станций, расположенных в пределах структур Большого Кавказа, наблюдаются пониженные значения порядка 90–110; в пределах моноклинали Предкавказья – более высокие – 130–150; на Ставропольском своде – до 170 (для $f=1.5$ Гц и $W=40$ с).

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Aki K., Chouet B.* Origin of coda-waves: source, attenuation and scattering effects // J. Geophys. Res. – 1975. – V. 80, N 1. – P. 3322–3342.
2. *Раутиан Т.Г., Халтурин М.С., Закиров М.С.* Экспериментальные исследования сейсмической коды. – М.: Наука, 1981. – 146 с.
3. *Хаин В.Е.* Кавказ. Тектоническая карта. М-б 1:5 500 000 // Большая Советская Энциклопедия. Т. 11. – М.: Изд-во «Советская Энциклопедия», 1973. – С. 112–114.

TRIMBLE NEW INTEGRATED SEISMIC AND GEODETIC SYSTEM WITH HIGH-RATE, REAL-TIME DISPLACEMENT MEASUREMENTS FOR EARTHQUAKE EARLY WARNING (EEW) AND OTHER CRITICAL INFRASTRUCTURE APPLICATIONS

L. Zimakov, J. Raczka
Trimble Inc., Plano, TX, USA

Trimble has designed an innovative, integrated SeismoGeodetic System, model SG160-09, to provide the user with real time and high rate GNSS and accelerometer data, full epoch-by-epoch storage integrity and the ability to create combined GNSS and accelerometer high-rate (200Hz) displacement time series in real-time.

The Trimble SG160-09 SeismoGeodetic System combines the State-of-the Art design, reliability, and data integrity of both the Trimble and REF TEK brands into a single instrument. Not only is the hardware optimized for field deployments, software tools have been specially developed to support both portable field and permanent base system operation. The SG160-09 can support the most demanding applications for the earth systems community including earthquake early warning and volcano monitoring applications, and for infrastructure monitoring including buildings, bridges, dams, oil platforms, and other natural and manmade structures.

The Trimble SG160-09 SeismoGeodetic System combines seismic recording with GNSS geodetic measurement in a single compact, ruggedized package. The system includes a low-power, 220-channel GNSS receiver powered by the latest Trimble-precise Maxwell™6 technology and supports tracking of both GPS, GLONASS, Galileo, and other satellite constellations. The receiver incorporates on-board GNSS point positioning using Trimble® CenterPoint™ RTX™ technology with satellite clock and orbit corrections delivered over the satellite L-band frequency channel, thus allowing cm-level position displacement tracking in real-time anywhere in the world. The Seismic recording element includes an ANSS Class A, low noise, force balance triaxial accelerometer with the latest, low power, 24-bit A/D converter, which produces high-resolution seismic data. The internally built accelerometer has +/- 4g full scale output, large linear range, high resolution, and sensitivity, which make it best suited for both portable and permanent deployment. The SG160-09 processor acquires and packetizes both seismic and geodetic data and transmits it to customers using an advanced, error-correction protocol with back fill capability providing data integrity between the field and the processing center.

The true benefit of the Trimble SG160-09 SeismoGeodetic System is the ability to combine both GNSS and acceleration measurements using the Kalman filter algorithm to create a new high-rate (200 Hz), real-time displacement with sufficient accuracy and very low latency for infrastructure and earth systems needs.

The SG160-09 is ideal for earthquake early warning studies and other mission critical applications, such as volcano monitoring, building, bridge and dam monitoring applications. Being deployed in a network based configuration, the real-time, high resolution displacement data allows users to better estimate the magnitude of a strong earthquake compared to the traditional seismic approach, which is critical for final estimation of the pick ground motion (or intensity) in a given target area. The SG160-09 has a built in algorithm to calculate the τ_c and P_d once the event is declared. Small size, lightweight and low power makes the SG160-09 an ideal instrument for volcano monitoring applications providing ease of installation in harsh environments and the ability to acquire and transmit in real-time high-resolution seismic and geodetic critical information to study micro tremors and volcano slot deformation before, during and after the eruption.

The hardware specifications, system design, data acquisition and processing will be discussed and presented.

SEISMOLOGICAL MARKER REQUIREMENTS FOR NEW GENERATION OF HIGH-RESOLUTION, VERSATILE SEISMIC RECORDER

L. Zimakov, J. Raczka, P. Davidson
Trimble Inc., Plano, TX, USA

The current seismic applications of different scales, including local, regional and global seismic observations require a versatile seismic recorder. These versatile requirements include high dynamic range of the recorder, less weight and lower power for easy deployment and low or no maintenance in the field, self-diagnostics capability and ability to interface with many seismic and geophysical sensors available in the market. Another important specification of a new seismic recorder is the requirement to record data in a commonly adopted by the community format, provide field station meta-data information and transmit the data via secured communication protocol. A quick assessment of the data provides a unique opportunity to study the dynamics of the entire earthquake process in-situ.

REF TEK a Trimble Brand has developed a fourth generation of High-Resolution Seismic Recorder, model Wrangler. The Wrangler features a 32-bit A/D converter, large non-volatile internal memory providing a substantial data buffer for when the connection is not available, or for when you require historical data from the Recorder. With smart setup options the REF TEK Wrangler give the customer a choice between automatic MiniSeed data transfer via SeedLink protocol or the option of to transfer ultra-low latency data for Earthquake Early Warning (EEW) Application.

The Wrangler comes with a built-in Web user interface (WebUI), which allows the end-user to have fully secured command/control of the unit either in the field, or back in the office without requiring additional software. The REF TEK's Wrangler Recorder uses a high-precision TCXO disciplined by an external Trimble GNSS receiver to maintain time accuracy better than 10 microseconds, imperative for precise earthquake location calculation. Alternatively, the Wrangler can be configured to maintain time accuracy by using either NTP or PTP time server for structural engineering applications.

The detailed specifications and field performance of the Wrangler High Resolution Recorder along with the portable low noise broadband seismometer, model Colt, are presented and discussed.

ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В РАЙОНАХ С РАЗНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ

¹Э.И. Золототрубова, ¹И.Т. Ежова, ^{1,2}Л.И. Надёжка, к.г.-м.н.,
¹М.А. Ефременко, к.г.-м.н., ^{1,2}Э.В. Калинина
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

Характер записи любого сейсмического события зависит от типа аппаратуры, механизма очага, геологического строения в месте установки сейсмических станций и геологического строения на пути прохождения сейсмических волн от источника к приемнику. В настоящей работе основное внимание уделено исследованию влияния на характер записей сейсмических событий геологических условий в месте установки сейсмических станций. Рассматривались записи сейсмических событий, вызванных взрывами в Михайловском (Железногорском) карьере КМА, записанных идентичной аппаратурой двух станций: «Сторожевое» (VSR) и «Галичья гора» (LPSR). Расстояние от источника (взрывов в карьере) до сейсмических станций составляет до VSR – 140 км, до LPSR – 180 км. Геологическое строение земной коры на пути прохождения волн от этого источника до сейсмических станций характеризуется близким строением и скоростными характеристиками. Значимыми отличиями является геологическое строение в месте установки сейсмической станции (в радиусе 25 км). Установлено, что в районе сейсмической станции VSR мощность осадочного чехла составляет 180 м. Он представлен девонскими (76 м), юрскими (пески с переслоями глины) и меловыми отложениями. Мощность юрских и меловых отложений в сумме составляет около 100 м. В отличие от места установки станции VSR, мощность осадочного чехла в районе станции LPSR составляет 440 м, и он представлен, в основном, известняками девона. Средняя плотность пород осадочного чехла в районе станции VSR составляет около 2.3 г/см³, в районе станции LPSR – 2.4 г/см³. Кристаллический фундамент и разрез земной коры в целом в районе расположения каждой из сейсмических станций имеет специфические черты. Несмотря на то, что фундамент в районе расположения обеих станций представлен вулканогенно-осадочными породами лосевской толщи, она находится в разном геодинамическом состоянии. В районе расположения станции VSR верхняя часть геологического разреза находится в состоянии сжатия, в районе станции LPSR – в состоянии растяжения. Мощность земной коры в районе сейсмической станции LPSR составляет 46 км, в районе VSR – 44 км. В районе LPSR выделяется переходный слой кора-мантия мощностью до 7.5 км.

Специфичность геологического строения в районе расположения сейсмических станций нашла отражение в характере, структуре и спектральном составе записей промышленных взрывов, производимых в одном и том же карьере. Так, записи по данным станции VSR более высокочастотные, вступление волн *Pg* – нечеткое, в структуре поля хорошо выражены составляющие в диапазоне частот 1.0–2.0 Гц. В спектре горизонтальных составляющих выделяются два максимума в районе частот до 1.5 Гц.

Характерной особенностью записей промышленных взрывов по данным станции LPSR является четкое вступление *Pg*-волны и наличие резонансных колебаний в «хвосте» записи. В спектральном составе выделяется интенсивный максимум в диапазоне частот 0.3–0.8 Гц.

Таким образом, основным фактором, влияющим на характер записи сейсмических событий, по нашему мнению, является геологическое строение в месте установки сейсмических станций.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

З.Г. Ильясова, к.г.-м.н.
ИГССС АН РТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Вероятностный анализ сейсмической опасности (PSHA – probabilistic seismic hazard analysis) подразумевает оценку сейсмических воздействий от различных сейсмических источников с расчетом вероятности превышения расчетных значений на заданный промежуток времени. Для анализа повторяемости расчетных сейсмических воздействий, как правило, используются каталоги землетрясений. При этом необходимо выполнить определенные предварительные процедуры:

- выполнить декластеризацию каталога, т.е. очистить его от форшоков и афтершоков, поскольку анализ зависимости Гутенберга-Рихтера предполагает пуассоновское распределение событий;

- привести значения всех используемых в каталогах магнитуд к моментной магнитуде M_w , т.к. такая магнитуда наиболее часто используется во всех современных уравнениях затухания сейсмических колебаний;

- определить полноту каталогов.

Для территории Таджикистана при PSHA использовались следующие каталоги:

- каталог CASRI-EMCA (каталог землетрясений Центральной Азии с древнейших времен по 2010 г. с магнитудой $MLH \geq 2.8$);

- каталог землетрясений Геологической службы США (PDE) с 1973 по 2016 г. с магнитудой $M \geq 3.2$ [1].

После проведения декластеризации и анализа полноты каталогов выполнялось зонирование территории, т.е. выделение зон по характеру расположения эпицентров землетрясений и тектонических особенностей территории. Для всей территории и для каждой зоны определялась полнота каталога в этой зоне и строилась зависимость Гутенберга-Рихтера для получения значений коэффициентов a и b . Для этого использовались оба каталога и значения коэффициентов a и b принимались с учетом их наибольшего соответствия коэффициентам, полученным для всей изучаемой территории. При этом каталоги анализировались с учетом перекрытия изучаемой территории из расчета 150–200 км от ее реальных границ. Таким образом получалась модель сейсмических источников в виде зон, которая далее использовалась в специальной программе CRISIS2015 для вычислений сейсмических ускорений с заданными вероятностями превышения расчетных значений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант МНТЦ KR# 2398).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Machine-readable EDR*. – USGS, 2017. – On CD.

EARTHQUAKE DISASTER MANAGEMENT IN ROMANIA – RAPID EARLY WARNING SYSTEM

PhD C. Ionescu, PhD A. Marmureanu
NIEP, Magurele, Romania

In Romania earthquakes are part of the category of natural disasters that can produce effects with significant damage in a very short time. The main goal after a strong earthquake is to minimize the total number of fatalities. The response to a strong earthquake, mitigation and rapid recovery immediately after the event are among the most important dimensions of smart city design due to the increase in the various effects of natural disasters. Earthquakes cause great economic and human losses in a very short time with a long period of restoration both in Romania and around the world. Modern telecommunications and technology systems play an essential role in disaster response and management. Extending real-time earthquake monitoring networks using modern communication infrastructures (satellite, internet, GPRS, etc.) makes possible to develop a seismic risk management system at local, national and regional levels. The implementation of a real-time earthquake management system is crucial, because Romania is a country with high seismicity and Bucharest is the European capital mostly exposed to earthquakes.

We propose developing solutions to ensure the continuity of earthquake activity, focusing on technology parks, industrial buildings and transport systems. In this way, real-time monitoring systems for hazardous disaster management infrastructures have been developed through the use of intelligent communications, mobile and computing technologies. Introducing these solutions would lead to:

- Avoiding unnecessary discharges, stopping technological processes and ensuring the operation of critical systems and ongoing operations;
- Minimizing response times and stress;
- Making a better-informed decision-making process during the crisis to ensure continuity of operation.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ МОЛДОВЫ

Е.С. Исичко, В.Н. Гинсарь, д.ф.-м.н.
ИГС АНМ, г. Кишинёв, Республика Молдова

Существующие карты сейсмической опасности большинства европейских стран предполагают в качестве вероятностного уровня сейсмических воздействий события с периодом повторяемости около 500 лет. Поскольку действующая карта сейсмического районирования Молдовы продолжает во многом оставаться наследием советской карты ОСР-78, от которой повсеместно отказались на территории бывшего СССР, в данной работе было решено актуализировать карты районирования на основе современных вероятностных представлений о сейсмической опасности.

Главную сейсмическую опасность для территории Молдовы представляет подковровая сейсмичность зоны Вранча, компактно сосредоточенная в изгибе дуги Восточных Карпат. Современная оценка максимально возможной магнитуды зоны Вранча составляет $M_w=8.1$. График повторяемости землетрясений зоны Вранча, по данным каталога ROMPLUS, позволяет определить магнитуду $M_w=7.9$, как обеспечивающую ближайший к 500-летнему период повторяемости.

Местоположение эпицентров Вранчских землетрясений, относящихся к инструментальной эпохе локации (372 события с $M_w \geq 4$), неплохо аппроксимируется линейной функцией с азимутом 62° . Среднеквадратический разброс очагов от вертикальной плоскости указанного азимута составляет всего 7 км. По вертикали очаги землетрясений располагаются в интервале глубин 75–170 км. Распределение их неравномерное, наибольшая концентрация наблюдается на глубинах более 120 км.

С учетом пространственной геометрии подковровой очаговой области и принимая во внимание тесную связь магнитуды с определенной величиной разрыва, можно разделить очаговую область условно на две зоны, в которых разрывы до нескольких десятков километров могут происходить преимущественно только в определенных направлениях. Из одной зоны – вверх на северо-восток, из второй – вниз на юго-запад.

Для обеих сейсмогенных зон были построены математические модели макросейсмического поля. В качестве исходных данных использована макросейсмика шести сильных землетрясений периода 1940–2004 гг. с $M_w \geq 6$. Уравнения макросейсмического поля определялись методом множественной регрессии. Интенсивность воздействий описывалась как функция магнитуды землетрясения, логарифма гипоцентрального расстояния и фактора эллипсовидности изосейст. Последний параметр отражает специфику Вранчских землетрясений, имеющих ярко выраженную эллипсовидность изосейст, и устанавливает местоположение пункта наблюдений относительно осей эллипса.

В результате для обеих сейсмогенных зон были получены уравнения макросейсмического поля, с помощью которых определены положения изосейст для выбранного вероятностного уровня воздействий с $M_w=7.9$. При этом сейсмические воздействия более глубокой зоны, направленные на северо-восток, полностью перекрывают уровень воздействий другой зоны и тем самым определяют основную опасность для территории Молдовы.

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОДИНАМИКИ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

¹Д.К. Карапетян, к.т.н., ¹Р.А. Пашаян, к.г.н.,
²Л.В. Арутюнян, к.г.н., ¹К.Г. Товмасын
¹ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения
²ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Республика Армения

Изменение геодинамики территории Армении определяет необходимость всестороннего изучения современных геодинамических процессов в пределах тектонически активных участков земной коры. Разработанные методы исследований этих процессов лежат в основе решения задач исследования динамики деформирования земной коры, влияния современных движений земной коры на динамику и химический состав подземных вод. Наряду с геофизическим методом наклономерных измерений медленных движений земной коры и сейсмическими методами [1], для решения поставленных задач применяются методы гидрогеодинамических и гидрогеохимических наблюдений, которые дополняют геодинамическую информацию результатами изучения быстрых тектонических процессов и изменениями ее состояния за короткие промежутки времени. Установлено, что гидрогеодинамические показатели и параметры химического состава подземных вод чувствительны к изменениям напряженно-деформированного состояния среды [2].

В результате сопоставления сейсмичности с тектоникой региона [3] установлена приуроченность эпицентров землетрясений к зонам глубинных разломов Армянского нагорья. Армянское нагорье, расположенное между Иранским и Анатолийским разломами С-З–Ю-В и С-В–Ю-З простираний и разделенное Транскавказской зоной разломов [4], слагает вогнутую на север дугообразную линзообразную структуру. Структурный план развития современных тектонических движений вырисовывается расположением эпицентров сильных землетрясений вдоль Раздан-Паракарского, Ереванского и Азатского разломов, слагающих Азатский палеотектонический узел. Здесь циклично повторяются олигоцен-миоценовые и современные тектонические движения.

Оценка напряженно-деформированного состояния земной коры территории Армении дается по вариациям сейсмического режима, результатам наблюдений гидрогеодинамических скважин, пробуренных на разных сейсмоактивных участках региона, и химического состава минеральных вод центральной части региона. По непрерывным деформографическим записям проводится слежение за изменениями величин деформаций по двум направлениям (С-Ю, В-З) и рассчитываются величина общей деформации геологической среды и скорость изменения деформации во времени. Построенные карты линий равных значений деформаций отражают геодинамические процессы земной коры в виде локальных напряженных точек (сжатия или растяжения). Среди изученных гидрогеохимических компонентов состава вод в качестве показателей геодинамических процессов земной коры предварительно отмечается углекислый газ (СО₂), химические элементы – хлор, магний (СL, Mg) и общая минерализация.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахвердян Л.А., Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В.* Связь между вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмической активностью на территории Армении // Доклады НАН РА. – 2018. – Т. 118, № 3. – С. 260–268.
2. *Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре // Геофизические и тектонические аспекты. – М.: Наука, 2015. – С. 155–172, 207–219.
3. *Карапетян Н.К.* Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1990. – С. 263.

4. *Габриэлян А.А., Саркисян О.А., Симолян Г.П.* Сейсмоструктура Армянской ССР // Известия ЕГУ. – Ереван, 1981. – С. 270.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В.Ю. Карданец

ИГС АНМ, г. Кишинёв, Республика Молдова

В работе делается попытка определить основные параметры исторических землетрясений Карпатского региона на основе макросейсмических данных, с использованием уравнения макросейсмического поля, косвенных параметров и с помощью комплексного сравнения с современными землетрясениями.

Основным источником сведений о параметрах исторических землетрясений Карпатского региона до сих пор служил «Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времен до 1975 г.» [1]. В этом каталоге все параметры определены очень приблизительно, с широким диапазоном значений. К тому же за сорокалетний период с момента выхода каталога исходные макросейсмические данные о землетрясениях Карпатского региона существенно пополнились и были заново оценены по макросейсмической шкале MSK-64 [2].

В исследовании определялись такие основные параметры исторических землетрясений, как макросейсмический эпицентр, интенсивность в эпицентре, глубина очага и магнитуда. Также вычислялись дополнительные параметры: направление максимального макросейсмического эффекта, площадь зон интенсивности, расстояние и азимут до крайнего пункта осязчивости, график спада интенсивности.

Вычисление параметров землетрясений производилось по формуле затухания макросейсмического поля с коэффициентами, полученными Р.З. Буртиевым для промежуточных землетрясений зоны Вранча Карпатского региона, отдельно в четырех азимутальных створах [3]:

$$I_i = 1.52M - 4.74 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 6.79 .$$

Для коровых землетрясений использовалось общее уравнение макросейсмического поля Блэйка–Шебалина [4]:

$$I_i = 1.5M - 3.5 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 3 .$$

Несмотря на возможные погрешности, связанные с правильной оценкой интенсивности в пунктах наблюдения, а также с точностью коэффициентов уравнения макросейсмического поля в применении для конкретных сейсмических событий, удалось определить тип каждого исторического землетрясения и получить более точные значения их параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* – М.: Наука, 1977. – 536 с.
2. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
3. *Буртиев Р.З.* Методология оценки сейсмической опасности на основе вероятностных моделей сейсмичности: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д-ра физ.-мат. наук. – Киев, 2017.
4. *Шебалин Н.В.* Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии). Проблемы макросейсмики // Вычислительная сейсмология. – 2003. – Вып. 34. – С. 57–200.

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ РЯДА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА

Ф.Х. Каримов, д.ф.-м.н., Н.Г. Саломов, к.ф.-м.н., Х.Ш. Хужаев
ИГССС АН РТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Выявление различных взаимосвязей между конкретными природными явлениями и вариациями геофизических полей составляет содержание и главную цель геофизических исследований, например, мониторинга сейсмогеофизических процессов и, в частности, процессов подготовки тектонических землетрясений.

В настоящей работе приводятся примеры сезонных периодичностей хода пластических деформаций предельно напряженных модельных образцов горных пород (ПНО) за 2018 г., хода деформаций земной коры по данным станции «Шаартуз» за 2018 г., вариаций сейсмичности Душанбино-Вахшского района (ДВР) за 2010–2014 гг., хода атмосферного давления за 2018 г. на территории Таджикистана, а также обсуждаются причины сезонных корреляций этих геофизических полей.

Данные 2018 г. подтверждают сезонную периодичность хода пластических деформаций ПНО [1]. Минимальные деформации наблюдаются в июле-августе, наибольшие – в январе-феврале и ноябре-декабре в корреляции с максимумами и минимумами атмосферного давления. Наибольшие атмосферные давления имеют место в зимний период, наименьшие – в летний с сезонным перепадом около 20 мбар.

Рассмотрение хода деформаций по данным геофизической станции «Шаартуз» за отдельные годы показывает их явную годовую периодичность – с максимумами в зимнее время и минимумами в июле-августе. При этом сезонные вариации по обоим компонентам (север-юг и восток-запад) проходят почти синхронно.

По суммарной зависимости обнаруживается явная сезонная периодичность сейсмической активности на территории Душанбино-Вахшского района с максимумами в 500 землетрясений в мае и 570 – в ноябре. Минимальное количество землетрясений отмечено в феврале (180) и в июле-сентябре (200–220). Явная сезонность сейсмичности проявляется в суммарном подсчете, по отдельным же годам максимумы и минимумы проявляются не так явно, однако с тенденцией приуроченности максимумов сейсмичности к переходному периоду от весны к лету и от лета к зиме [2].

Обсуждены возможные причины корреляций между сезонными циклами природных процессов, в частности, приливов, атмосферного давления, температуры, гидрологической и гидрогеологической природы с вариациями пластических деформаций предельно напряженных образцов, деформациями земной коры, сейсмичности. Приведены примеры однозначностей и неоднозначностей в интерпретациях причин возникновения сезонных периодичностей геофизических полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г.** Сезонные вариации деформаций предельно напряженных модельных образцов горных пород // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 115–119.
2. **Старков В.И., Старкова Э.Я.** Отчеты института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. – Душанбе: Фонды ИССС АН РТ, 2010–2015.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИНФРАЗВУКОВОЙ ГРУППЫ НА ОСТРОВЕ ВАЛААМ

¹В.В. Карпинский, ²В.Э. Асминг, к.ф.-м.н.

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

²КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Анатиты

В июне 2016 г. на базе учебно-научной станции Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) на острове Валаам, в дополнение к непрерывно действующей сейсмической станции VALR была развернута инфразвуковая группа VALS, разработанная в Кольском филиале (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН. Группа снабжена тремя разнесенными низкочастотными микрофонами, привязка по времени осуществляется с помощью GPS. Данные с частотой дискретизации 100 Гц сохраняются на компьютере сбора в непрерывном режиме. Также на компьютере сбора работает акустический детектор, позволяющий в режиме, близком к реальному времени, выделять инфразвуковые события по заданным параметрам, определять азимут на источник сигнала. В конце 2018 г. в КоФ ФИЦ ЕГС РАН была разработана новая версия детектора инфразвуковых сигналов. Детектор стал работать существенно быстрее, что позволило в краткие сроки провести обработку данных за 2.5 года в двух частотных диапазонах.

Основной задачей группы является акустический мониторинг, выделение инфразвуковых событий, определение их параметров, выделение событий, имеющих природное происхождение. Также данные используются (совместно с сейсмической станцией VALR) для локализации близких сейсмических событий, особенно слабых.

Анализ полученных данных выявил преобладающие направления на источник сигнала. Было исследовано изменение направлений на источники во времени, выявлены сезонные особенности. Проведено детектирование акустических событий в полосах частот 1–5 и 10–20 Гц, выявлено существенное различие в азимутальном распределении событий для этих диапазонов. Совместный анализ акустических и сейсмических данных показал, что доля событий, имеющих и акустическую, и сейсмическую составляющую низка – она почти полностью исчерпывается карьерными взрывами. Было также отмечено, что, помимо взрывов на близких карьерах («Кузнечное», «Питкяранта»), расположенных на расстоянии 50–60 км, по акустическим данным неоднократно выделялись события, соответствующие взрывам на карьерах, расположенных на расстоянии 100 и более километров.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ассиновская Б.А., Никонов А.А.* Загадочные явления на Ладожском озере // Природа. – 1998. – № 5. – С. 49–53.
2. *Ассиновская Б.А.* Сейсмические события на Ладоге в XX в. // Известия РГО. – 2005. – Т. 137. – С. 70–77.
3. *Ассиновская Б.А., Овсов М.К., Карпинский В.В., Мехрюшев Д.Ю.* Сейсмические события на Ладоге // Геориск. – 2009. – № 3. – С. 6–12.
4. *Карпинский В.В.* К 10-летию непрерывных сейсмических наблюдений на острове Валаам // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 155–159.
5. *Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов Ю.А., Воронин А.И.* Сейсмоинфразвуковой мониторинг на Шпицбергене // Сейсмические приборы. – 2012. – Т. 48, № 3. – С. 20–33.

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

М.В. Кичигин, П.Г. Бутырин, к.т.н.
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Системы сейсмологического мониторинга разных масштабов на территории Уральского региона переводятся на открытый формат передачи и хранения данных miniSEED. Это учтено при разработке сейсмического регистратора «Ермак-5» (лаборатория ПТС «ГИ УрО РАН») [1]. Активная фаза тестирования нового прибора началась в 2016 г. на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) [2]. Внедрение нового регистратора потребовало наблюдения за работоспособностью и состоянием всех приборов, а также оперативного реагирования на инциденты. Для отладки на начальной стадии эксплуатации создана база данных жизненного цикла каждого регистратора. Анализ содержимого базы позволяет выявить слабые места в сложной аппаратной структуре [3]. На основе этой базы разработана система контроля текущей работоспособности и ретроспективного анализа процесса работы всех приборов сетей мониторинга.

Сравнение и анализ существующих на рынке систем контроля известных производителей, таких как Kinometrics, Nanometrics, GeoSIG, IMS, Reftek, «Байкал» и других, показал ряд недостатков: некоторые системы являются закрытыми для использования иностранного оборудования и аналитических приложений; все системы платные; не все системы поддерживают уведомления об инцидентах. В новой системе реализованы: добавление шаблона для анализа информационных пакетов различных форматов; гибкая настройка системы уведомлений; кроссплатформенность (php и python). Регистратор поддерживает настройку интервала следования информационных пакетов, что позволяет максимально актуализировать мониторинг состояния приборов. Дополнительно в систему был добавлен модуль контроля работоспособности сейсмических каналов на основе расчета спектров мощности микросейсм (библиотека ObsPy/Python).

Таким образом, полученное решение позволяет:

- отслеживать состояние системы через WEB-интерфейс;
- автоматически получать уведомления о нештатной работе оборудования;
- удаленно контролировать любой регистратор;
- оценивать работоспособность сейсмических каналов по спектру мощности микросейсм.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бутырин П.Г., Верхоланцев Ф.Г., Верхоланцев А.В., Шулаков Д.Ю.* Цифровой сейсмический регистратор «Ермак-5». Опыт разработки и внедрения // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54, № 2. – С. 5–23. DOI: 10.21455/si2018.2-1.
2. *Butyrin P., Shulakov D., Verkholtantsev P., Verkholtantsev A., Kichigin M.* Seismic recorder "Ermak-5" as the part of the system of seismological monitoring of Verkhnekamskoe potash deposit // SGEM2018 Conference Proceedings. – 2018. – V. 18, Is. 1.1. – P. 963–970, DOI: 10.5593/sgem2018/1.1/S05.120.
3. *Бутырин П.Г., Кичигин М.В.* Особенности развития системы сейсмологического мониторинга Верхнекамского месторождения калийных солей // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 71–74.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА АЧХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕЙСМОМЕТРОВ СМЕ-4211

Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н., Н.А. Гилёва
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Центром молекулярной электроники МФТИ и компанией "R-sensors" разработан и успешно внедрен в продажу широкополосный сейсмометр на основе молекулярно-электронных преобразователей СМЕ-4211 [1, 2]. Байкальским филиалом ФИЦ ЕГС РАН в 2015 и 2017 гг. приобретены пять сейсмометров для полевых эпицентральных работ. Все сейсмометры обладают стандартными характеристиками, в частности: коэффициент преобразования – 2000 В/(м/с) , расширенный температурный диапазон – от -40°C до $+55^\circ\text{C}$, собственные шумы сейсмометра – на уровне модели NLNM. Согласно документации разработчика, сейсмометр может применяться на стационарных сейсмостанциях, в полевых исследованиях и при инженерных работах.

Для использования сейсмометров СМЕ-4211 в комплекте с регистратором «Байкал-8» на стационарных сейсмических станциях проведены эксперименты по влиянию температурного режима окружающей среды на амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). Все пункты наблюдения в Байкальском филиале ФИЦ ЕГС РАН наземные, без термостабильных условий. Сейсмометр № 1 из партии 2015 г. установлен на сейсмической станции «Аршан», сейсмометр № 2 из партии 2017 г. – на станции «Большое Голоустное». Наблюдения проводились в течение года. Выполнялось сравнение АЧХ стационарных станций с комплектом аппаратуры ЦСС («Байкал-11») + три короткопериодных сейсмометра СМ-3 ($T_s=2.0$, $D_s=0.5$) [3, 4] с временными станциями («Байкал-8») + сейсмометр СМЕ-4211) методом эталонного канала по землетрясениям с энергетическим классом $K_p > 9.5$. Для анализа использовался участок записи с максимальными амплитудами длительностью 20 с, с фильтрацией в полосе частот 0.5–20 Гц. В ходе наблюдений отмечено значительное понижение чувствительности аппаратуры при отрицательных температурах с октября и возврат значений АЧХ в исходное состояние при потеплении в апреле. При этом максимальная разница (в 3–4 раза) чувствительности аппаратуры отмечена между летними месяцами и морозным февралем 2019 года. Подобные изменения АЧХ дают ошибку в определении энергетического класса (K_p) более чем на единицу. Изменения чувствительности по сейсмометру № 1 коснулись всех трех каналов, а по сейсмометру № 2 – только горизонтальных, вертикальный канал (Z) вел себя стабильно. По поводу вертикального канала у сейсмометра № 2 в последней документации производителя отмечено: применен значительно более стабильный вертикальный преобразователь нового образца с силовой обратной связью. Хочется отметить, что требований к термостабильным условиям производитель не предъявляет, так как сейсмометр позиционируется производителем как полевой.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Huang H., Agafonov V., Yu H.* Molecular electric transducers as motion sensors // *Sensors*. – 2013. – V. 13. – P. 4581–4597. DOI: 10.3390/s130404581.
2. *Руководство пользователя СМЕ-4211* [Электронный ресурс]. – URL: <http://r-sensors.ru/ru/products/wseismometers/СМЕ-4211-rus>.
3. *Отчет БФ ФИЦ ЕГС РАН за 2018 год* [Электронный ресурс]. – URL: http://seis-bykl.ru/modules/Bfgr/reports/2018_otchet.pdf.
4. *Кобелева Е.А., Чечельницкий В.В.* Методика калибровки сейсмических станций в Байкальском филиале ГС СО РАН // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы*. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 367–371.

ЭФФЕКТЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ИЗМЕНЕНИЯХ ДАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Г.Н. Копылова, д.г.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Проведение наблюдений за уровнем воды в скважинах позволяет диагностировать вариации давления подземных вод в процессе подготовки и реализации землетрясений. Такая информация дополняет сейсмологические и др. данные в части изучения геодинамических процессов формирования очагов и влияния сейсмических волн на состояние геологической среды. В 1997–2017 гг. уровнемерные наблюдения на Камчатке проводились Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН на скважинах Е-1 и ЮЗ-5 с периодичностью 5 мин [1] и были обнаружены в связи с местными ($M \geq 6-7$) и удаленными сильнейшими землетрясениями разнообразные гидрогеосейсмические вариации уровня (далее ГГСВ), соответствующие: 1 – гидрогеодинамическим предвестникам; 2 – косейсмическим скачкам давления вследствие перераспределения напряженного состояния водовмещающих пород при образовании разрывов в очагах; 3 – ко- и постсейсмическим эффектам сейсмических волн, вызванным динамической деформацией водовмещающих пород и сотрясениями стволов скважин.

В скважине Е-1 обнаружены два вида гидрогеодинамических предвестников (ГП), которые используются в практике работы действующих на Камчатке экспертных советов по прогнозу землетрясений: ГП_1 в виде понижений уровня воды с повышенной скоростью в течение суток-первых десятков суток перед землетрясениями с $M \geq 5.0$ на эпицентральных расстояниях $d_e \leq 350$ км; ГП_2 в форме трендов понижения уровня воды в течение шести и более лет, предшествующих и сопутствующих возникновению групп землетрясений с магнитудами M порядка 7–8 на прилегающем участке Камчатской сейсмофокальной зоны.

В скважине ЮЗ-5 перед тремя землетрясениями с $M=6.9-7.8$, $d_e=80-200$ км ретроспективно выделены ГП продолжительностью от одного до трех месяцев по нарушению сезонного хода уровня воды. В этой скважине также проявлялись ГГСВ, вызванные сейсмическими волнами при 19 землетрясениях с $M_w=6.8-9.1$, $d_e=80-14.6$ тыс. км. С учетом морфологических особенностей выделены их четыре типа: колебания (I), кратковременные повышения (II), наложение колебаний и кратковременного повышения (III), длительное понижение уровня воды (IV). Установлена зависимость проявления I–IV типов ГГСВ от интенсивности сейсмического воздействия в районе скважины и амплитудно-частотного состава максимальных фаз движений грунта на ближайшей сейсмостанции. По данным о косейсмических скачках уровня воды проводится локальная оценка величин объемной косейсмической деформации водовмещающих пород в диапазоне ед. $\cdot 10^{-9}-10^{-7}$ [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00337).

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке // Вулканология и сейсмология. – 2019. – № 2. – С. 3–20.
2. Копылова Г.Н., Стеблов Г.М., Болдина С.В., Сдельникова И.А. О возможности оценок косейсмической деформации по данным уровнемерных наблюдений в скважине // Физика Земли. – 2010. – № 1. – С. 51–61.

ШУМОВАЯ ТОМОГРАФИЯ КАВКАЗА: ГРУППОВЫЕ СКОРОСТИ ВОЛНЫ РЕЛЕЯ

Т.Ю. Королева, к.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

Большой Кавказ – самый высокий и молодой горный пояс Европы, представляющий несомненный интерес для исследования. Несмотря на то, что в этой области проводились как глобальные [1], так и локальные [2] исследования, его детальная скоростная структура оставалась сравнительно плохо изученной. Связано это было, в том числе, с недостаточным покрытием данной территории сейсмическими станциями. Однако в последние годы ситуация кардинально изменилась – в рамках реализации проекта [3] здесь была развернута целая сеть широкополосных сейсмостанций. Это открывает большие перспективы для исследования этого региона.

Метод шумовой сейсмотомографии – широко применяющийся в последние годы метод, позволяющий определить скоростную структуру верхних слоев Земли. Основан он на том, что усредненная за достаточно длительный интервал времени кросскорреляционная функция сейсмического шума определяет функцию Грина поверхностной волны [4] и, как следствие, позволяет оценить групповые и фазовые скорости поверхностных волн на трассах между станциями [5]. В данной работе по кросскорреляционной функции $Z-Z$ определяются групповые скорости волны Релея. Полученные карты распределения скоростей в зависимости от периода можно использовать как для самостоятельных интерпретаций, так и, в дальнейшем, для построения трехмерного распределения скоростей S -волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Villaseñor A., Ritzwoller M.H., Levshin A.L., Barmin M.P., Engdahl E.R., Spakman W., Trampert J.* Shear velocity structure of central Eurasia from inversion of surface wave velocities // *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* – 2001. – V. 123. – P. 169–184.
2. *Zabelina I., Koulakov I., Amanatashvili I., El Khrepy S., Al-Arifi N.* Seismic structure of the crust and uppermost mantle beneath Caucasus based on regional earthquake tomography // *J. Asian Earth Sciences.* – 2016. – V. 119. – P. 87–99.
3. *Sandvol E., Nabelek J., Mackey K.* The Caucasus seismic network: The uplift and structure of the Greater and Lesser Caucasus. International Federation of Digital Seismograph Networks // *Dataset/Seismic Network.* – 2017. DOI: 10.7914/SN/XA_2017.
4. *Lobkis O.I., Weaver R.L.* On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field // *J. Acoust. Soc. Am.* – 2001. – V. 110. – P. 3011–3017.
5. *Shapiro N.M., Campillo M., Stehly L., Ritzwoller M.H.* High-resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise // *Science.* – 2005. – V. 307. – P. 1615–1618.

ПРИЧИНЫ АРТЕФАКТОВ В ШУМОВОЙ ПОВЕРХНОСТНО-ВОЛНОВОЙ ТОМОГРАФИИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Т.Ю. Королева, к.ф.-м.н., Т.Б. Яновская, д.ф.-м.н., Е.Л. Лыскова, к.ф.-м.н.
СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Шумовая поверхностно-волновая томография – метод определения скоростного строения верхних слоев Земли, получивший широкое распространение. Основан он на том, что кросскорреляционная функция (ККФ) шума на двух станциях, осредненная за длительный интервал времени, определяет функцию Грина поверхностной волны [1, 2]. Это позволяет оценить групповые и фазовые скорости поверхностных волн на трассах между станциями [3], которые используются в поверхностно-волновой томографии, что дает возможность в конечном итоге оценить пространственное распределение скоростей S -волн.

Метод строго обоснован в предположении, что «шум» является результатом наложения поверхностных волн, распространяющихся от равномерно распределенных по поверхности источников. Поэтому исходные данные, представляющие собой записи длиннопериодных каналов сейсмометров, подвергаются предварительной обработке, немаловажный этап которых – нормализация, позволяющая снизить влияние землетрясений [4], а полученные ККФ усредняют за длительный интервал времени. В то же время нами было показано, что на периодах свыше 30–40 с основной вклад в шум дают землетрясения [5], очаги которых распределены неравномерно. Поэтому в случаях кластеризации очагов в некоторой ограниченной области, например, вследствие афтершоков после сильного землетрясения, максимумы ККФ, определяющей дисперсионную кривую поверхностной волны, сдвигаются в сторону меньших времен, а групповые скорости соответственно завышаются. При определении дисперсии волн Лява по ККФ трансверсальных (Т-Т) компонент шума наличие кластеризации очагов приводит, наоборот, к занижению групповой скорости за счет наложения на Т-компоненту (перпендикулярную межстанционной трассе) вклада от радиальной составляющей волны Релея, имеющей скорость меньше скорости волны Лява. В итоге коэффициент анизотропии, определяемый по ККФ шума, оказывается заниженным по сравнению с тем, который получается по записям землетрясений по близким трассам. Очевидно, что для получения более корректных дисперсионных кривых как волн Релея, так и, особенно, волн Лява, необходимо при усреднении ККФ использовать такие временные интервалы, в которых бы по возможности отсутствовали кластеры землетрясений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00522).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lobkis O.I., Weaver R.L.* On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field // *J. Acoust. Soc. Am.* – 2001. – V. 110. – P. 3011–3017.
2. *Snieder R.* Extracting the Green's function from the correlation of coda waves: a derivation based on stationary phase // *Phys. Rev. E.* – 2004. – V. 69. – 046610.
3. *Shapiro N.M., Campillo M., Stehly L., Ritzwoller M.H.* High-resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise // *Science* – 2005. – V. 307. – P. 1615–1618.
4. *Bensen G.D., Ritzwoller M.H., Barmin M.P., Levshin A.L., Lin F.C., Moschetti M.P., Shapiro N.M., Yang Y.* Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements // *Geophys. J. Int.* – 2007. – V. 169. – P. 1239–1260.
5. *Яновская Т.Б., Королева Т.Ю.* О влиянии землетрясений на кросскорреляционную функцию сейсмического шума // *Физика Земли.* – 2011. – № 9. – С. 3–12.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОБУЖДЕНИЕ ПОТУХШЕГО УДИНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА КАМЧАТКЕ: НАБЛЮДЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

¹Ю.А. Кугаенко, к.ф.-м.н., ¹В.А. Салтыков, д.ф.-м.н.,
²И.Ю. Кулаков, д.г.-м.н., ¹В.М. Павлов, к.ф.-м.н.,
¹П.В. Воропаев, ^{1,3}И.Ф. Абкадыров, ²В.П. Комзелева
¹КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
³ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Удинский вулканический комплекс (УВК) – это два потухших стратовулкана Большая Удина и Малая Удина (БУ и МУ) и несколько голоценовых экструзий в юго-восточной части Ключевской группы вулканов. С октября 2017 г. по настоящее время под УВК впервые регистрируется сейсмическая активизация [1], достигающая высокого – экстремально высокого уровня по шкале «СОУС'09» и развивающаяся пульсирующе, с усилением. По данным Камчатской региональной сети сейсмических станций активизацией охвачен участок 20×20 км в диапазоне глубин до 20 км. Однако сеть является односторонней по отношению к УВК и, следовательно, неоптимальной для локализации слабых удинских землетрясений. Поэтому привлечение данных четырех временных станций, окружавших УВК в мае-июле 2018 г., позволило уменьшить сейсмогенный объем и уточнить его расположение. Землетрясения группируются в основном под БУ на глубине 5–15 км вдоль разлома северо-восточного простирания. Среда под МУ практически асейсмична. Сейсмическая томография [2] выделяет аномалию под БУ в том же диапазоне глубин. Аномалия (пониженная V_s , повышенное отношение V_p/V_s) может интерпретироваться как объем среды, частично содержащий расплав и флюиды. Анализ удинских сейсмических записей показал, что землетрясения относятся к длиннопериодным сейсмическим событиям (LP , частотный диапазон 0.5–5 Гц), которые, по существующим представлениям, связаны с резонансными явлениями при перемещении вязкой магмы в канале питающей системы вулкана. Следовательно, на глубине 5–15 км под БУ происходит продвижение вязкой магмы. Сильнейшее Удинское землетрясение (06.02.2019 г., $M_L=4.1$) произошло под действием напряжения растяжения, ориентированного субширотно, субгоризонтально, вкrest глубинному магмоподводящему разлому, питающему голоценовые извержения в южной части Ключевской группы вулканов. Таким образом, сейсмичность отражает пробуждение магматической системы потухшего УВК. Сейсмические данные пока не подтверждают подъем магмы в его постройку. Однако близость состава пород Удинских вулканов к продуктам вулкана Безымянного, для которого характерны взрывные извержения, требует повышенного внимания к развитию Удинской активизации.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01 и при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 19-05-00204-а, 18-55-52003 МНГ_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Салтыков В.А., Воропаев П.В., Кугаенко Ю.А., Чебров Д.В. Удинская сейсмическая активизация 2017–2018 гг. // Вестник КРАУНЦ. – 2018. – № 1 (37). – С. 5–7.
2. Кулаков И.Ю., Гордеев Е.И., Добрецов Н.Л. и др. Сейсмотомографические реконструкции земной коры и канала магматического питания // Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. (ТТИ-50) / Отв. ред. Е.И. Гордеев, Н.Л. Добрецов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – С. 293–314.

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПЛОТИН ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС)

¹А.В. Лисейкин, к.г.-м.н., ¹В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ²З.А. Адилов,
³PhD Н. Ting-Yu, ³V. Arygianni
¹СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала
³Taiwan Tech., Taipei, Taiwan

Известно, что такие негативные изменения состояния сооружений, как появление трещин, ослабленных зон, приводят к изменению параметров собственных колебаний. Широко распространены методы контроля, основанные на анализе изменений во времени собственных частот. В то же время наблюдаемые вариации частот могут быть связаны и с другими факторами. Например, это может быть меняющаяся во времени внешняя нагрузка, не приводящая к возникновению дефектов. В случае с плотинами ГЭС, такой нагрузкой, как правило сезонно меняющейся, является давление воды со стороны водохранилища. Измерение собственных частот тоже непростая задача. Математическим моделированием показано, что возникновение трещин, секущих не весь объем плотины, а только ее часть, приводит к достаточно малым изменениям частот – порядка 1% и меньше. В особо крупных и сложно устроенных сооружениях, к которым относятся плотины ГЭС, поле стоячих волн имеет сложную структуру, для определения которой необходимо выполнять исследования с высокой детальностью. Применяемый многими авторами подход определения частот по спектрам сейсмических шумов, без увязки точек наблюдения с областями пучностей стоячих волн, часто приводит к ошибкам. Экспериментами показано, если во время измерений меняются режимы работы гидроагрегатов, это также приводит к ошибкам. Поэтому для исключения ошибки интерпретации, прежде чем проводить исследования по мониторингу состояния плотин на основании изменения их собственных частот, необходимо, во-первых, точно определить данные частоты и, во-вторых, тщательно изучить все факторы, на них влияющие.

Предлагается способ мониторинга собственных частот плотин гидроэлектростанций по данным непрерывных сейсмических наблюдений на станциях, установленных внутри плотины и/или на расстоянии от нее. Объектом исследования является крупнейшая в России арочная плотина Чиркейской ГЭС. На первоначальном этапе выполнено детальное изучение собственных колебаний плотины методом когерентного восстановления полей стоячих волн с определением как собственных частот сооружения, так и их мод. Исследования проведены дважды при минимальном и максимальном уровнях наполнения водохранилища (УВБ) и изучены особенности сезонных изменений полного поля стоячих волн. Установлены моды, частоты которых можно использовать для непрерывного мониторинга технического состояния плотины путем периодического определения их значений по записям сейсмической аппаратуры. Рекомендуется использовать пункты наблюдения, расположенные в областях пучностей стоячих волн. Значения собственных частот уменьшаются с ростом УВБ. Определено, что существуют дополнительные факторы, приводящие к эффекту гистерезиса в зависимости между значениями УВБ и собственных частот, предположительно связанные с релаксационными процессами в теле плотины и/или в системе плотина-основание после изменения УВБ. Предложена методика мониторинга состояния плотины, основанная на сопоставлении наблюдаемых значений частот с прогнозными. Последние определяются по линейным зависимостям от УВБ с учетом временных сдвигов, связанных с процессами релаксации.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АНИЗОТРОПИИ В ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЕВРОПЫ

Е.Л. Лыскова, к.ф.-м.н., Т.Б. Яновская, д.ф.-м.н., Т.Ю. Королева, к.ф.-м.н.
СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Радиальная (трансверсальная) анизотропия верхней мантии Земли обнаруживается из сравнения скоростных разрезов поперечных волн, получаемых путем инверсии дисперсионных кривых волн Релея и Лява. Сведения о вариациях анизотропии с глубиной получены по дисперсионным кривым на достаточно однородных океанических трассах [1]. В океанической мантии скорость волн SH , получаемая по данным волн Лява, больше скорости волн SV , определяемой по волнам Релея, так что коэффициент анизотропии $\alpha=(V_{SH}-V_{SV})/V_{SH}$ положителен, составляет около 4% под границей Мохо и уменьшается до нуля на глубине около 200 км. Данные об анизотропии континентов значительно более скудные и часто противоречивые, что объясняется сильной латеральной неоднородностью коры и верхней мантии континентов. В европейском регионе, по данным [2], в верхней мантии выявлены зоны с $V_{SV}>V_{SH}$, тогда как по данным [3] везде оказалось $V_{SH}>V_{SV}$. Неопределенность в наблюдаемых значениях коэффициента α объясняется тем, что во всех работах он определялся по результатам томографии скоростей волн Релея и Лява, получаемым по разным выборкам трасс. Соответственно, значения скоростей волн SH и SV оказывались сглаженными по разным областям, что приводило к погрешностям в оценке коэффициента анизотропии. Чтобы исключить эти погрешности, нами была предложена другая методика оценки пространственного распределения коэффициента анизотропии [4]. Предварительные результаты о распределении коэффициента анизотропии в верхней мантии Европы были представлены в [5] по данным землетрясений и сейсмического шума. Было показано, что: 1 – коэффициент анизотропии под континентальной частью европейского региона близок к нулю, но выявляются зоны, в которых $V_{SV}>V_{SH}$; 2 – коэффициент анизотропии, получаемый по данным сейсмического шума, оказывается заниженным по сравнению с тем, который получается по близким трассам от землетрясений. Поэтому для получения более достоверного распределения коэффициента анизотропии мы использовали только данные землетрясений и увеличили объем исходных данных. В результате были получены латеральные распределения коэффициента анизотропии от границы Мохо до глубины 150 км. Подтвержден полученный ранее вывод о существовании зон, в которых $V_{SV}>V_{SH}$, и уточнено их местоположение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00522).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Anderson D.L., Regan J.* Upper mantle anisotropy and the oceanic lithosphere // *Geophys. Res. Lett.* – 1983. – V. 10, N 9. – P. 841–844.
2. *Chang S.-J., Van der Lee S., Matzel E., Bedle H.* Radial anisotropy along the Tethyan margin // *Geophys. J. Int.* – 2010. – V. 182, N 2. – P. 1013–1024. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04662.x.
3. *Schivardi R., Morelli A.* EP mantle: a 3-D transversely isotropic model of the upper mantle under the European Plate // *Geophys. J. Int.* – 2011. – V. 185. – P. 469–484.
4. *Королева Т.Ю., Лыскова Е.Л., Яновская Т.Б.* Оценка анизотропии верхней мантии Европы по данным землетрясений и сейсмического шума. Проблемы и перспективы // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко.* – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 194–197.
5. *Королева Т.Ю., Лыскова Е.Л., Яновская Т.Б.* Радиальная анизотропия подкоровой мантии Европы по данным землетрясений и сейсмического шума // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко.* – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 132–135.

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ КАВКАЗЕ

Х.Д. Магомедов
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

В Дагестанском филиале (ДФ) ФИЦ ЕГС РАН выполняется комплекс теоретических и методических исследований, мониторинговых сейсмологических, геофизических и геохимических наблюдений на региональном и локальном уровнях. Для решения поставленных задач задействованы 17 цифровых сейсмических станций, одна геохимическая станция, четыре геохимических и два геофизических пункта наблюдений. В 2018 г. на геохимической станции «Караман» установлен новый газовый хроматограф «Кристалл 2000 М», который работает в тестовом режиме.

Проводимый комплекс мониторинговых наблюдений позволяет формировать прогноз возможного развития сейсмического процесса на региональном уровне.

На базе данных сейсмологических наблюдений ДФ ФИЦ ЕГС РАН совместно с Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН получены области концентрации аномально пониженных и аномально повышенных значений параметра V_p/V_s . Область пониженных значений располагается в районе Чиркея, охватывая территорию северо-запада Дагестана и района сильных землетрясений 1970 и 1976 гг. Поле повышенных значений располагается в районе Дербента и Касумкента, охватывает большую территорию до границ с Азербайджаном и прибрежную зону Каспия. Предполагается, что пониженные значения соответствуют области, испытывающей напряжения растяжения, повышенные значения – области с напряжением сжатия.

Таким образом, в данной статье предлагаются результаты мониторинга корреляции областей концентрации аномально пониженных и аномально повышенных значений параметра V_p/V_s с сейсмическим процессом на территории Дагестана и прилегающих районов с приведением карт и прогностических кривых на сеймостанциях сети ДФ ФИЦ ЕГС РАН.

Немалый прогностический интерес представляет и ситуация, связанная с ходом высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента, рассмотрению которой уделяется соответствующее внимание. По данным на 23.09.2018 г., в подрегионе Восточного Кавказа (41.50–46.30°N, 43.00–48.00°E) продолжает наблюдаться дефицит высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента (M_{0cum}). $\Delta M_{0cum} \approx 3.99 \cdot 10^{18} \text{ Н}\cdot\text{м}$, что соответствует возможности возникновения на этой территории землетрясения с магнитудой $M_w \approx 6.3$. Это значение примерно соответствует вероятности землетрясения с магнитудой около 6. Ситуация с ходом высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента по состоянию на середину 2019 г. не изменилась по сравнению с 2018 годом.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

THE PARADOX OF LARGER PEAK GROUND ACCELERATIONS IN EXTRA-CARPATHIAN AREA THAN IN EPICENTER

¹G. Marmureanu, ²**L.S. Borgia**, ¹PhD A. Marmureanu,
¹C.O. Cioflan, ³I. Ilies, ¹G.-M. Craiu, ⁴I. Stoian
¹NIEP, Magurele, Romania
²URBAN-INCERC, Bucharest, Romania
³IGS, Chisinau, Moldova
⁴IGR, Bucharest, Romania

The authors are calling on the people who are involved in researches on hazard and seismic risk around of world. Shortly, why are we recording PGA values much higher than epicenter value? [1–4]. There was a need to create, for Europe, a unified framework for seismic hazard assessment and to produce a common integrated European probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) model and specific scenario based on modeling tools developed by Cornell (1968) [2, 3]. PSHA model needs to start with PGA epicenter value. This common and classic methodology is not entirely applicable to strong and deep Vrancea earthquakes and to many other sites from the extra-Carpathian area from Bucharest to Chisinau, Republic of Moldova [3, 5]. From the beginning, we have to mention that it is an issue of earthquake physics, to highlight the strong nonlinear behavior of soils from the extra-Carpathian area during deep and strong Vrancea earthquakes in any hazard and seismic risk analysis, when PGA records are higher than the epicenter ones [2, 3, 6]. The leading question is, if this is happening only in this area of Europe... Vrancea is the site of strong intermediate-depth seismicity, down to 160–200 km depth and large magnitudes ($M_w \leq 7.9-8.0$) and is one of the most active seismic zones in Europe [5, 4, 7].

REFERENCES

1. **Borgia S.** Data processing of strong motion records obtained during Vrancea Earthquakes. – Academic Society Ed. "M.T. Botez", 2010 (in Romanian).
2. **Marmureanu G., Misicu M., Cioflan C.O., Balan F.S.** Nonlinear Seismology - the seismology of the XXI Century, in lecture notes of Earth sciences, perspective in modern seismology. – V. 105. – Springer Verlag, Heidelberg. – P. 46–67.
3. **Marmureanu G.** Certitudini/incertitudini în evaluarea hazardului și a riscului seismic Vrancean. – Editura Academiei Române, 2016. – 330 p.
4. **ROMPLUS Catalog - 984-2018.** – Bucharest: National Institute for Earth Physics, 2018.
5. **Cornea I., Lazarescu V.** The geology and seismotectonic of Romania. Chapter II. In the 1977 March 4, earthquake of Romania (in Romanian). – Romanian Academy Publishing House, 1982.
6. **Polonic G.** Structure of the crystalline basement in Romania // Rev. Roum. Geophys. – 1996. – P. 40, 57–70.
7. **Mutihac V., Stratulat M.J., Fechet R.M.** Geologia României. – București: Didactică și Pedagogică, 2004. – 252 p. (in Romanian).

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ АНОМАЛИЙ ВЫЧИСЛЕННЫХ И ИЗМЕРЕННЫХ ПОЛЕЙ В СИСТЕМЕ GIS-ENDDB

^{1,2}А.В. Михеева, к.ф.-м.н.

¹ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск

²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В геоинформационную систему GIS-ENDDB [1] включены глобальные каталоги сейсмичности и данные измерений различных геофизических полей. Статистическая обработка этих данных и визуализация распределения характеристик сейсмогеодинамического процесса в виде изолиний позволяют выявить пространственную взаимосвязь распределения сейсмичности с аномалиями геофизических полей. Первые попытки выявления этой взаимосвязи были сделаны в [2] на основе визуального сравнения карт, полученных в результате применения различных методов анализа данных (в частности, карт изолиний максимальной зафиксированной магнитуды землетрясений M_{\max}) для разных выборок сейсмологических каталогов – с одной стороны, и различных модификаций измеренного геофизического поля (в данном случае – регионального поля теплового потока (ТП)) – с другой. Эти результаты носили качественный характер, поэтому для количественного сравнения полей реализована функция корреляционного анализа.

Корреляционный анализ осуществляется по гистограмме распределения числа ячеек (узлов) N_y от разности ΔF приведенных значений полей F_1 и F_2 (относительно среднего арифметического $F_{i.о\text{ср}}$) в ячейках, равновеликих для сравниваемых полей:

$$\Delta F = \left| \frac{F_1 - F_{1.о\text{ср}}}{F_{1.\text{max}}} - \frac{F_2 - F_{2.о\text{ср}}}{F_{2.\text{max}}} \right|,$$

где $F_{i.\text{max}}$ – максимальное отклонение F_i от $F_{i.о\text{ср}}$, $i=1, 2$.

Для выявления неслучайных вариаций гистограммы $N_y(\Delta F)$ даются на фоне кривой нормального распределения, что позволяет не только визуально (по отклонению первых столбцов от нормы), но и количественно установить степень корреляции, приняв за норму значение $k_0=1/33$ (в норме ~68% узлов должны различаться менее, чем на ~33%), за суммарный показатель корреляции – $C=k/k_0$, а за максимальное значение отсутствия корреляции – $C=1$. Для исследованных в [2] территорий получены гистограммы, которые показывают: 1 – умеренную корреляцию полей ТП и M_{\max} в области Североамериканского континента (каталог NEIC, $M \geq 5$, ячейка $3 \times 4^\circ$) – $C=2.1$ (хотя для сетки распределения полного числа событий N в сравнении с полем ТП показатель корреляции очень высок – $C=3.1$, а для A_{10} – $C=3$); 2 – отсутствие корреляции по всему Азиатско-Дальневосточному региону (COMPLEX, $M \geq 4$, $H \geq 50$ км, ячейка $6 \times 8^\circ$): $C=0.75$ (для N : $C=1.45$) и 3 – высокую корреляцию в прямоугольной области, охватывающей Внутри-Азиатский горный пояс ($30-40^\circ\text{N}$, $66-84^\circ\text{E}$, COMPLEX, $M \geq 5$, $H \geq 50$ км, ячейка $1 \times 1^\circ$): $C=2.4$. Для области (3) проведен сравнительный анализ по различным параметрам сейсмогеодинамических (N , A_{10} , A_7 , M_{\max} , H_{\max}) и геофизических (ТП и Δg) полей, который показал наиболее высокое значение $C=2.5$ при сравнении полей H_{\max} и ТП (COMPLEX, $M \geq 5$, ячейка $1 \times 1^\circ$).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Михеева А.В.* Геоструктурные элементы, выявляемые математическими алгоритмами и цифровыми моделями геоинформационно-вычислительной системы GIS-ENDDB. – Новосибирск, 2016. – 300 с.
2. *Михеева А.В., Соколова Л.С.* О возможной взаимосвязи сейсмичности и теплового поля по данным GIS-ENDDB // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 204–208.

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

К.Е. Морару, д.г.-м.н.

ИГС АНМ, г. Кишинёв, Республика Молдова

Тектонические особенности твердой части литосферы юго-западной части Русской (Восточно-Европейской) платформы отчетливо проявляются в гелиевом, макросейсмическом и гидрогеохимическом полях. Это обусловлено разломной и структурной тектоникой этого региона. Самые древние разломы характеризуются раздвиговой составляющей, сильно контрастными и весьма контрастными гелиевыми аномалиями, совпадением в плане осей этих аномалий с таковыми гравимагнитного поля и вертикальной ориентировкой плоскости сместителя.

Более молодые тектонические разломы северо-западного и северо-восточного простирания сопровождаются слабо контрастными и контрастными гелиевыми аномалиями, оси которых не совпадают с аналогично ориентированными осями геофизических полей и имеют наклонную ориентировку плоскости сместителя. Несовпадение на поверхности параллельно ориентированных осей гелиевых и геофизических аномалий обусловлено наклонным залеганием сместителя одного и того же разлома.

Тектонические разломы и окружающие их зоны дробления являются проводящими каналами для гелиеносных флюидов, имеющих аномальный химический состав по сравнению с водами выщелачивания жестких стабильных блоков.

Древние разломы глубокого залегания наиболее проницаемы, так как они связаны с процессами растяжения данного участка земной коры. Они сопровождаются гелиеносными флюидами с существенной хлоридно-натриевой составляющей.

Более молодые тектонические разломы на территории Молдовы сопровождаются гелиеносными флюидами с преимущественной сульфатно-натриевой составляющей.

Стабильные жесткие блоки, не затронутые разломной тектоникой, вмещают сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые воды и являются зонами выщелачивания.

Фон макросейсмического поля всецело зависит от мантийного уровня анизотропности и в своих деталях подчинен местоположению разломов первой группы, имеющих древнее глубокое залегание, субвертикальную плоскость сместителя и относящихся преимущественно к раздвигам.

На коровом уровне анизотропности земной коры «молодые» тектонические разломы Карпатской системы, ориентированные перпендикулярно фронту сейсмических волн, создают положительные аномалии макросейсмического поля. Разломы, ориентированные по касательной к сейсмическому фронту, создают теневой эффект за этим нарушением.

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИКИ В НАЧАЛЕ ХХ ВЕКА: УТОЧНЕННЫЙ КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С 1904 ПО 1920 Г.

¹А.Н. Морозов, к.т.н., ²Н.В. Ваганова, к.г.-м.н., ²Е.В. Шахова, к.ф.-м.н.,
^{1,2}Я.В. Конечная, к.т.н., ²Г.Н. Антоновская, д.т.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск

В основе исследований по сейсмической опасности любой территории лежит сейсмологический каталог, по данным которого вычисляются параметры сейсмического режима. Наиболее значимы в каталогах сильнейшие землетрясения, которые и определяют сейсмический потенциал выявленных зон ВОЗ (возможных очагов землетрясений). Для Арктического региона информация об исторических и палеоземлетрясениях практически недоступна, поэтому большую роль играют землетрясения, зарегистрированные за инструментальный период. В рамках данного исследования были обобщены данные о землетрясениях, зарегистрированных в Арктике за период с 1904 по 1920 г., из разных источников и проведено уточнение параметров их очагов с использованием единой скоростной модели *ak135*, единого алгоритма расчета параметров гипоцентра и всех доступных бюллетеней сейсмических станций.

На основе данных Tams (1922), Gutenberg, Richter (1941), Linden (1959), International Seismological Summary (ISS) за период с 1917 по 1919 г. и каталога ISC-GEM составлен предварительный каталог землетрясений за период с 1904 по 1919 г., эпицентры которых располагаются выше 70°N. Практически все эпицентры землетрясений располагаются в Евразийской Арктике. Большинство эпицентров приурочено к срединно-арктическим хребтам.

Для каждого землетрясения производился поиск времен вступлений в бюллетенях сейсмических станций, функционировавших в тот период времени. Для этого использовались данные, полученные в рамках проектов ISC-GEM Catalog и EuroSeismos, а также архивы ФИЦ ЕГС РАН и Российской государственной библиотеки.

Начало инструментального периода в Арктическом регионе можно отсчитывать с регистрации землетрясения 9 октября 1904 года. В период с 1904 по 1911 г. сейсмическими станциями мировой сети в Арктическом регионе регистрировались землетрясения с магнитудами больше 6.0. После 1912 г. уже регистрировались землетрясения с магнитудами не менее 5.0. Эти значения можно считать значениями представительной магнитуды мировой сети для данного региона.

После процедуры уточнения эллипсы ошибок большинства землетрясений имеют большую площадь из-за узкого азимутального створа и удаленности сейсмических станций, что неизбежно для Арктического региона в тот период времени. Однако это не мешает однозначно отнести их эпицентры к определенным сейсмоактивным зонам. Большинство землетрясений приурочено к основным сейсмоактивным зонам Арктики – срединно-океаническим хребтам, архипелагу Шпицберген, шельфу моря Лаптевых. Для семи землетрясений из 25 не удалось обнаружить вступления из доступных бюллетеней сейсмических станций, поэтому до сих пор остается открытым вопрос о «реальности» этих землетрясений. Эти землетрясения требуют дополнительного изучения, но уже с использованием записей сейсмических станций.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

¹А.Н. Морозов, к.т.н., ²Н.В. Ваганова, к.г.-м.н., ^{1,2}Я.В. Конечная, к.т.н.,
³И.А. Зуева, ⁴Н.Н. Носкова, к.г.-м.н., ³Н.В. Шаров, д.г.-м.н.,
⁵Б.А. Ассиновская, к.ф.-м.н., ⁵Н.М. Панас
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск
³ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск
⁴ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
⁵ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

На основе объединения каталогов, бюллетеней и, частично, исходных данных региональных сейсмических сетей на севере Европейской части России и Скандинавских стран, с последующим пересчетом и уточнением параметров гипоцентров сейсмических событий был создан единый каталог землетрясений для севера Европейской части России за период с 2005 по 2017 год. Уточнение параметров очагов производилось с использованием единой скоростной модели BARENTS [1] и единого алгоритма расчета. Для каждого землетрясения была проведена проверка его тектонической природы на основе критериев, разработанных в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН.

Созданный единый уточненный каталог позволил оценить проявление современной сейсмичности на севере Европейской части России. В частности, было показано, что современная сейсмичность исследуемой территории проявляется в виде землетрясений небольшой магнитуды. Распределение эпицентров зарегистрированных землетрясений неоднородно. Наиболее сейсмически активным (по числу землетрясений и плотности эпицентров) является Фенноскандинавский (Балтийский) щит. Далее по уровню сейсмичности следует северо-восток Русской плиты и северная часть Урала. Для всех землетрясений севера Европейской части России характерны значения глубин очагов в пределах земной коры.

Полученные в статье результаты упорядочивают наши знания о проявлении современной сейсмичности на севере Европейской части России. Созданный единый уточненный каталог может стать основой для геолого-тектонических и геодинамических построений, а также для более обоснованного установления уровня сейсмичности различных регионов, что необходимо для столь плотно населенного, с развитой промышленностью и инфраструктурой севера территории.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асминг В.Э.* Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-Западного региона: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. – М., 2004. – 24 р.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СТАНЦИЙ ПУЛКОВСКОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ

Л.М. Мунирова, О.В. Карпинская, к.х.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

При обработке данных сейсмических событий, зарегистрированных Пулковской сетью станций, было установлено расхождение значений магнитуд событий, определенных на различных станциях. Для решения этой проблемы было проведено уточнение шкалы локальной магнитуды M_L для территории северо-западной части России [1]. Для расчетов было использовано более 3000 замеров амплитуд в симуляции сейсмографа Вуда-Андерсона для 236 сейсмических событий (взрывы и землетрясения), зарегистрированных региональной сейсмической сетью в период с 2010 по 2016 год. Получена калибровочная кривая для оценки локальных магнитуд M_L в диапазоне гипоцентральных расстояний 1–420 км. Получены станционные поправки для трех станций региона. Их учет в представленном наборе данных обеспечивает среднеквадратичную ошибку определения магнитуды ± 0.2 .

Было проанализировано отношение спектров P/S волн от землетрясений и взрывов в диапазоне частот 2–15 Гц, зарегистрированных Пулковской сетью станций. Обработаны данные о 13 землетрясениях и 15 карьерных взрывах. Были выбраны землетрясения на территории внутри Пулковской сети на Карельском перешейке [2] и землетрясения, произошедшие на территории Финляндии и Эстонии [3]. По спектрам смещений P -волн были вычислены динамические параметры событий (магнитуда, радиус землетрясения, сброшенное напряжение). Для аппроксимации полученных амплитудных спектров была использована теоретическая дислокационная модель Брюна [4]. Было установлено отличие отношения спектров P/S волн землетрясений от взрывов. Приведен анализ полученных результатов.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Uski M., Tuppurainen A.* A new local magnitude scale for the Finnish seismic network // *Tectonophysics.* – 1996. – V. 261, N 1. – P. 23–37.
2. *Ассиновская Б.А., Габсатарова И.П., Панас Н.М., Юски М.* Сейсмические события 2014–2016 гг. на Карельском перешейке и их природа // *Сейсмические приборы.* – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 40–61.
3. *Ņikuļins V.* Seismicity of the East Baltic Region and application-oriented methods in the conditions of low seismicity. – Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 2017. – P. 292.
4. *Brune J.N.* Tectonic stress and the spectra of shear waves from earthquakes // *J. Geophys. Res.* – 1970. – V. 75. – P. 4997–5009.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ Г. ДУШАНБЕ

Ш.Я. Муродкулов, к.г.-м.н.
ИГССС АН РТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Согласно существующей карте сейсмической опасности территории Таджикистана, район г. Душанбе находится в зоне 9-балльных сотрясений по шкале MSK-64 [1]. Оценка результатов сейсмического микрорайонирования в баллах интенсивности шкалы MSK-64 в настоящее время не отвечает растущим требованиям сейсмостойкого строительства. В мировой практике все большее применение находит оценка сейсмических воздействий в единицах пиковых ускорений грунта (PGA – Peak Ground Acceleration).

Для более детальной оценки сейсмической опасности в районе расположения г. Душанбе выполнена оценка сейсмических воздействий в радиусе 160 км от города с использованием современных способов оценки сейсмической опасности при помощи ГИС-технологий. Способ заключается в прямом вычислении пиковых ускорений грунта в ячейках с задаваемыми размерами в функции расстояний от выбранных сейсмических источников (активных разломов) с определенной максимальной магнитудой при помощи программы ArcGIS Spatial Analyst и эмпирического уравнения затухания сейсмических ускорений.

Для учета влияния локальных грунтовых условий на территории г. Душанбе на сейсмическое воздействие изучались сейсмические свойства этих локальных грунтов с помощью современных инструментальных методов. Применялись малогабаритные цифровые сейсмические станции типа EDL и цифровой томограф Tromino® для определения сейсмических свойств грунтов с последующим использованием измеренных параметров для уточнения величин сейсмических ускорений на поверхности. Изучались два основных параметра, определяющих влияние свойств грунтов на сейсмическое воздействие – первая резонансная частота толщи грунта и коэффициент сейсмического усиления. В качестве базовой характеристики, получаемой при помощи приборов, использовалось изменение соотношения скоростей сейсмических волн в горизонтальном направлении к скоростям в вертикальном направлении (показатель H/V). Этот метод был впервые предложен японским ученым Е. Накамура (Y. Nakamura) в 1989 г. [2] и в настоящее время широко используется.

С помощью сейсмографов EDL изучались сейсмические свойства грунтов на территории г. Душанбе путем организации временной локальной сейсмической сети, действовавшей течение полугода и позволившей измерить сейсмические колебания в 72 точках. По данным наблюдений, были проанализированы сейсмические свойства грунтов: спектры реакции, дисперсные кривые, значения первой резонансной частоты толщи грунтов. В результате оказалось возможным оценить коэффициенты усиления сейсмических ускорений в зависимости от типа грунтов и использовать их при сейсмическом микрорайонировании территории г. Душанбе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант МНТЦ KR# 2398).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
2. *Nakamura Y.A.* Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground // Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute. – 1989. – V. 30. – P. 25–33.

ОТРАЖЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ВАРИАЦИЯХ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ

^{1,2}Л.И. Надёжка, к.г.-м.н., ²В.И. Дубянский, к.г.-м.н., ¹И.А. Сизаск
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

Из фундаментальных свойств нелинейности всех процессов в земной коре следует, что любая аномалия в упорядоченном строении структуры геологической среды от микро- до макроуровня является свидетельством и результатом нелинейности процессов, образовавших эту аномалию. А.В. Николаев выделил пять сущностей геологической среды, которые можно отнести к проявлению ее нелинейных свойств: 1 – иерархически неоднородная структура в широком диапазоне масштабов, от зерен минералов до глобального; 2 – физическая нелинейность – фундаментальное свойство горных пород, имеющее яркие и характерные проявления в виде волновых и не волновых процессов, которые происходят, как правило, по нелинейным законам; 3 – энергетическая активность горных пород, реализующаяся в виде сейсмической, акустической, электромагнитной эмиссии, тепловых потоков, крипа и других процессов; 4 – нестабильность (изменчивость) во времени горных пород близкая к нелинейности происходящая под воздействием эндогенных, экзогенных и геодинамических процессов; 5 – нелинейные взаимодействия геофизических полей внутри среды и их влияние на ее физические параметры [1].

Микросейсмическое волновое поле Земли существует в широком диапазоне частот от долей герца до мегагерц. При выполнении сейсмологического мониторинга в основном рассматривается микросейсмическое поле в диапазоне частот от 0.1 до 20 Гц.

Ежегодно в течение более десяти лет выполняется анализ временных вариаций микросейсмического поля, как правило, в трех частотных диапазонах (0.1–0.4, 0.7–1.4 и 2.0–8.0, 10.0–20.0 Гц) по данным сейсмических станций, расположенных в разных геологических условиях нелинейной геологической среды. Результаты анализа свидетельствуют, что частота и интенсивность временных вариаций микросейсмического поля в разных частотных диапазонах существенно разная в разных условиях. Общим для районов всех станций является синхронный характер временных вариаций микросейсмического поля за разные годы.

Временные вариации микросейсмического поля в этом относительно низкочастотном интервале в целом коррелируются с изменением температуры воздуха. Временные вариации микросейсмического поля в диапазоне частот 0.7–1.4 Гц, по данным разных станций, специфичны в районе каждой из них. Для района с четко выраженной гетерогенностью геологической среды в микросейсмическом поле намечаются суточные вариации. Еще более отчетливо суточные вариации микросейсмического поля отличаются в диапазоне частот 2.0–8.0 Гц в районе всех станций. Однако интенсивность поля в ночное/дневное время в районе разных станций разная и зависит от степени гетерогенности (нелинейности) геологической среды.

Можно сделать вывод, что временные вариации микросейсмического поля в различных диапазонах частот можно использовать для районирования территории по степени ее нелинейности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Николаев А.В.* Проблемы нелинейной сейсмологии // Вопросы нелинейной геологии и геодинамики. – М.: ГЕОС, 1998. – С. 65–69.

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛАТВИИ

В.Г. Никулин, д. геол.
LEGMC, г. Рига, Латвия

Будучи расположенной в относительно спокойных геологических условиях на северо-западе Восточно-Европейской платформы, территория Восточно-Балтийского региона (ВБР), и, в частности, Латвии, не относится к сейсмически активным зонам. Кроме исторических землетрясений (до 1931 г.) с интенсивностью сотрясений до 6 баллов по шкале MSK-64 [1] и современных землетрясений (в Эстонии на о. Осмуссаар в 1976 г., $I=6$, $M=4.8$ и в Калининградской области России в 2004 г., $I=6-7$, $M=5.2$) [2], серьезных причин для беспокойства земные недра не создали. Оценки сейсмической опасности Латвии показали, что с вероятностью более 10% на уровне жестких грунтов (девонские отложения) в течение 50 лет сотрясения могут превысить $10-13 \text{ см/с}^2$ [3] в ряде населенных пунктов, приуроченных, главным образом, к тектоническим разломам в земной коре. Однако грунтовые условия, характеризующиеся рыхлыми и обводненными четвертичными отложениями, расположенными на поверхности девонских отложений, создают благоприятные условия для возникновения резонансных явлений и усиления колебаний на дневной поверхности.

Хотя основные источники глобальных тектонических напряжений значительно удалены от территории Латвии, геодинамические условия в ряде мест нельзя признать благоприятными (Плявиньская ГЭС, Инчукалнское подземное хранилище газа). Используя для сейсмического мониторинга *Baltic Virtual Seismic Network* (BAVSEN), основанную на станциях сети GEOFON Potsdam, удастся исследовать техногенную сейсмичность (магнитуды >1.5), обусловленную карьерными взрывами (горючий сланец, доломит) и взрывами в акватории Балтийского моря. Основная проблема сейсмического мониторинга связана именно с поиском эффективных методов идентификации тектонических землетрясений с магнитудами <2.0 среди большого количества техногенных сейсмических явлений.

Основные перспективы развития сейсмологических исследований в Латвии связаны с внедрением инженерно-сейсмологических методов, включая сейсмическое микрорайонирование, мониторинг гидротехнических сооружений (Плявиньская ГЭС), исследование влияния геодинамически активных зон на медико-биологические характеристики человека, создание Национального центра данных в рамках СТВТО для контроля за техногенными источниками, способными вызывать повышение радиационного фона как в региональном, так и в глобальном масштабе [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
2. *Gregersen S., Wiejacz P., Debski W., Domanski B., Assinovskaya B., Guterch B., Mantyniemi P., Nikulin V.G., Pacesa A., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Grunthal G., Husebye E.S., Sliupa S.* The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004 // *Phys. Earth Planet. Inter.* – 2007. – N 164. – P. 63–74.
3. *Nikulins V.* Assessment of the seismic hazard in Latvia. Version of 2007 year // *Scientific Journal of Riga Technical University. Material sciences and applied chemistry.* – 2011. – V. 24 (1). – P. 110–115.
4. *Nikulins V.* Detection of nuclear explosions by remote regional seismic network // *SnT2019.* – 2019. – P. 77.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ ЗА 2000–2018 ГГ.

Н.Н. Носкова, к.г.-м.н.
ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Территория Республики Коми характеризуется относительно слабой сейсмической активностью. С появлением и развитием инструментальных сейсмических наблюдений на севере Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Среднем Урале представления о сейсмичности расширились, появилась возможность регистрировать слабые сейсмические события, в том числе техногенные.

В геологическом отношении территория республики находится в области сочленения трех крупных структур: северо-восточной части Русской плиты ВЕП, Печорской плиты и Уральской складчато-надвиговой области. Большинство эпицентров землетрясений 2000–2018 гг. зарегистрировано на юге Коми, и в тектоническом плане они приурочены к Кировско-Кажимскому авлакогену и прилегающим к нему сводам Волго-Уральской антеклизы Русской плиты [1]. Здесь же случилось одно из сильнейших землетрясений на Европейском Севере в XX в. – 7-балльное Сысольское землетрясение 1939 г. [2]. Несколько эпицентров на западе Коми относятся к Мезенской синеклизе Русской плиты.

Землетрясения 2012–2015 гг. на востоке Коми произошли в северной части (Полярный, Приполярный и Северный Урал) Уральской складчато-надвиговой области [3]. Землетрясения в этой части Урала не регистрировались ранее в инструментальный период и отсутствуют исторические сведения о них.

Возникновение сейсмических событий на северо-востоке Республики Коми обусловлено тем, что здесь расположен Печорский угольный бассейн, где ведется добыча каменного угля на четырех месторождениях. Регистрируемые техногенные события вблизи шахтных полей являются горными ударами [4], поэтому в связи с активным развитием горнодобывающей отрасли особенно актуальной для оценки сейсмичности территории Республики Коми является проблема идентификации тектонических и техногенных событий.

Регистрация тектонических землетрясений 2000–2018 гг. на Урале и северо-востоке Русской плиты свидетельствует, что рассматриваемая территория не является сейсмически пассивной. И хотя регистрируемые землетрясения в основном низкомagnitude (ML=2.1–4.6) и верхнекоровые, они отражают современную тектоническую активизацию земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Носкова Н.Н., Михайлова Р.С.* Республика Коми и Кировская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 229–238.
2. *Никонов А.А., Чепкунас Л.С.* Сысольское землетрясение 13 января 1939 г. на Русской плите – уточнение параметров, Вопросы инженерной сейсмологии. – 2009. – Т 36, № 4. – С. 25–41.
3. *Носкова Н.Н.* Новые данные о сейсмичности северной части Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 3 (255). – С. 3–12. DOI: 10.19110/2221-1381-2016-3-3-12.
4. *Носкова Н.Н., Асминг В.Э.* Уточнение параметров ряда сейсмических событий, произошедших в Воркутинском районе Республики Коми в 1971–2016 гг. // Геофизический журнал. – 2018. – Т. 19, № 4. – С. 46–63. DOI: 10.21455/gr2018.4-4.

АНАЛИЗ БЮЛЛЕТЕНЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «КУМТОР», КЫРГЫЗСТАН

К. Омурбек

ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Уникальное золоторудное месторождение «Кумтор», расположенное на северном склоне Акшийракского хребта, разрабатывается уже более 20 лет открытым взрывным способом. Сейсмические волны взрывов записываются цифровыми сейсмическими станциями сети KRNET («Каракол» – PRZ, «Каджисай» – KDJ) и станцией «Тарагай» – TARG. Количество взрывов в сутки достигает четырех.

Исходными данными исследований являются карточки взрывов Института сейсмологии НАН КР за январь 2017 г. – январь 2018 года. Нами изучены скорости сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение (V_P , V_S , V_P/V_S); максимальные амплитуды и их отношения (A_P , A_S , A_P/A_S) [1–4]. Скорость сейсмических волн определялась составлением годографов для каждого взрыва.

Соотношение величин V_P , V_S , V_P/V_S выражает состояние среды, а именно: малые значения V_P , V_S и V_P/V_S выражают проявление флюидов, малые значения V_P и V_S , но большое значение V_P/V_S – частичное плавление, большие значения V_P и V_S – относительно высокие давления. В изменении значений скоростей V_P , V_S и V_P/V_S во времени выделяются иерархии циклов (ритмов) вариации [5, 6]. На основании данных скорости поперечных волн и плотности горных пород оценена жесткость среды земной коры.

В заключение можно отметить, что значения скорости распространения сейсмических продольных и поперечных волн повторных взрывов V_P , V_S и отношения V_P/V_S , а также жесткости земной коры изменяются во времени. Установлена иерархия циклов вариации V_P , V_S , V_P/V_S и жесткости. В этих циклах наблюдаются проявления флюидов, частичного плавления и условий высоких давлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М.* О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн // Доклады РАН. – 2001. – Т. 381, № 6. – С. 822–824.
2. *Гамбурицева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др.* Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами // ДАН СССР. – 1982. – Т. 266. – С. 1349–1353.
3. *Гамбурицева Н.Г.* Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. – Бишкек: Илим, 2006. – С. 94–104.
4. *Омуралиев М., Омуралиева А.* Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. – Кыргызпатент, 2011. – № 1616.
5. *Меджитова З.А.* Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. – Бишкек: Илим, 2006. – С. 81–87.
6. *Омуралиев М.* Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. – Бишкек: Илим, 2006. – С. 88–94.

АНАЛИЗ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ СТАНЦИЕЙ «ЛОПУХИНКА»

Н.М. Панас
ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

Территория Санкт-Петербурга и Ленинградской области относится к слабоактивным в сейсмическом отношении районам. В районе исследования сейсмическая активность известна лишь в районе Финского залива [1]. На южном берегу залива Нарвская активная зона маркируется известным Нарвским землетрясением, произошедшим 28.01.1881 г., с интенсивностью в эпицентре 6 баллов по шкале MSK-64 [2]. Глубина очага – 3 км, магнитуда $M=3.5$. Эпицентральная область этого события расположена на западе от г. Нарвы.

Пулковская сеть из пяти сейсмических станций (VAL, VYB, IZM, PUL и LOPUX) регистрирует локальные сейсмические события, региональные взрывы и далекие землетрясения. Определение эпицентра события на станции «Лопухинка» (LOPUX) во многих случаях затруднено, в связи с чем появилась необходимость в поиске возможных средств для решения данной проблемы.

Станция «Лопухинка» расположена в Ломоносовском районе Ленинградской области, в 26 км к югу от Финского залива у одноименного поселка Лопухинка. Станция находится в непосредственной близости от дороги, что зачастую затрудняет выделение сейсмических фаз из-за высокого уровня техногенных шумов, особенно в дневное время.

Поскольку визуально запись проезда автотранспорта в некоторых случаях можно спутать с сейсмическим событием другой природы, либо пропустить необходимое для регистрации событие на фоне шума, появилась необходимость в изучении подобного рода событий и сравнение их с более известными нам взрывами и землетрясениями. Основной задачей в данной работе являлось выделение полезной записи на фоне шума от проезжающих машин. Для этой цели были отобраны записи проезда машин, взрывов и землетрясений, записанных станцией LOPUX. Записи автотранспорта выбраны исключительно в ночное время во избежание эффекта наложения записей от нескольких источников. Далее с использованием различных методик были получены данные отдельно по каждой группе событий (взрывы, землетрясения, машины), проведен спектральный анализ сейсмических волн в программных комплексах WSG и Micronoise, построены спектрограммы в программе Geotool, выявлены некоторые сходства и различия между событиями. Сейсмическая запись, источником которой является машина, обычно имеет продолжительность 10–20 с от начала импульса. Установлено, что записи машин, как правило, возбуждают высокие частоты, что хорошо иллюстрируется спектрограммами. Проведен поляризационный анализ, в результате чего стало более очевидно, что волны от машин – это поверхностные волны, имеющие эллиптическую поляризацию. В результате проведенного исследования стало возможным составить алгоритм по распознаванию слабых землетрясений и взрывов на фоне шума от машин.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Панас Н.М., Ассиновская Б.А.* Тектонические события на Карельском перешейке // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 259–263.
2. *Никонов А.А.* Нарвское землетрясение 28.01.1881 г. в восточной части Финского залива // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2010. – Т. 37, № 4. – С. 35–46.

ВОПРОСЫ МАГНИТУДНОЙ УНИФИКАЦИИ КАТАЛОГОВ И ОЦЕНКИ МАГНИТУД ГЛУБОКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Классификация землетрясений с опорой на магнитуду по поверхностной волне до сих пор используется при составлении унифицированных каталогов для сейсмрайонирования. В рамках разрабатываемой в ФИЦ ЕГС РАН базы данных «Сильные и ощутимые землетрясения России и сопредельных стран» проводятся работы по унификации объединенного на основе разных источников каталога землетрясений по магнитуде по поверхностной волне ($M=M_S, MLH$), с проверкой действующих соотношений между разными типами магнитуд [1] на современных данных региональных и международных каталогов землетрясений и, при необходимости, установлением новых зависимостей. В Сейсмологическом бюллетене ФИЦ ЕГС РАН [2] имеется уникальный материал в виде набора разного типа магнитуд ($MPSP, MPLP, M_S$) для землетрясений не только с глубинами в земной коре, но и с промежуточными глубинами и глубокофокусных, в отличие от каталогов международных центров, где магнитуды M_S приводятся только для землетрясений с $h \leq 60$ км. Это позволило провести исследование по актуализации корреляционных соотношений [1] между магнитудами по объемным ($MPSP, MPLP$) и поверхностным (M_S) волнам в широком диапазоне глубин.

Настоящее исследование зависимости магнитуд M_S от глубины проводилось двумя независимыми способами: 1 – с привязкой к магнитуде $MPSP$, 2 – с привязкой к моментной магнитуде M_w .

Установлено, что уже с глубин более 30 км становится заметным уменьшение магнитуд M_S с глубиной, что требует введения магнитудных поправок для более объективной оценки вклада глубокофокусных (мантийных) землетрясений в общий энергетический баланс регионов. Уменьшение происходит более плавно, чем предлагаемая в [1] «ступенька» в виде поправки $\Delta M = 0.8$ к магнитуде MLH для землетрясений Гиндукуша и Карпат с $h > 70$ км, что дает основание сгладить ее, введя на участке $h \approx 30-90$ км логлинейно возрастающую поправку к инструментально определенной магнитуде M_S в функции глубины:

$$30 < h < 90 \text{ км} - \Delta M_S = 1.29 \cdot \lg(h) - 1.92. \quad (1)$$

Выражение (1) получено осреднением отклонений расчетных магнитуд $M_S = f(MPSP)$ и $M_S = f(M_w)$ от инструментально определенных M_S , которые на одинаковых глубинах в указанном интервале $30 < h < 90$ км оказались близки между собой.

На глубинах $h > 90$ км рекомендуется использовать функцию поправки к инструментально определенным значениям M_S , ΔM_S , полученную с привязкой к магнитуде M_w :

$$h > 90 \text{ км} - \Delta M_S = 0.533 \cdot \lg(h) - 0.44. \quad (2)$$

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондорская Н.В., Горбунова И.В., Киреев И.А., Вандышева Н.В. О составлении унифицированного каталога сильных землетрясений Северной Евразии по инструментальным данным (1901–1990 гг.) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. – М.: ИФЗ РАН, 1993. – С. 70–79.
2. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеismic станций) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/.

РЕГИСТРАЦИЯ ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВКМ, И ОЦЕНКА МАГНИТУДНЫХ НЕВЯЗОК

^{1,2}Р.С. Пивоваров, ^{1,2,3}Э.В. Калинина,
¹М.А. Ефременко, к.г.-м.н., ¹С.П. Пивоваров
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж
³ИДГ РАН, г. Москва

В практике обработки телесеismicких событий возникает вопрос расхождения значений магнитуд одних и тех же землетрясений на различных сейсмических станциях [1]. При анализе причин значительных расхождений в величинах магнитуд по определениям отдельных станций, расположенных в центральной части Восточно-Европейской платформы, обнаружена существенная зависимость этих расхождений от района очага землетрясений. В ранее проведенных исследованиях [2, 3] были отмечены систематические отклонения значений магнитуд станций Воронежской сети наблюдений относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН для землетрясений некоторых сейсмоактивных зон. В настоящей работе представлены результаты детального анализа разброса значений магнитуды MS .

Для проведения исследования использовались бюллетени землетрясений, составленные по результатам обработки широкополосных сейсмических станций «Сторожевое» (VSR), «Галичья гора» (LPSR), «Новохоперск» (VRH) и «Обнинск» (OBN) за 2015–2017 гг. Всего за этот период отобрано более 700 землетрясений, произошедших на эпицентральных расстояниях от 10 до 180° с магнитудами $MS > 4$, с очагами в земной коре и верхней мантии, с четкими фазами P и LR . Сейсмическая станция «Обнинск» (OBN) была выбрана в качестве опорной, так как ежегодно с ней проводится сверка на идентичность работы аппаратуры станций Воронежской сети. Для каждого выбранного землетрясения рассчитывалась погрешность в определении магнитуды по формуле: $\Delta M = M_{OBN} - M_{c/c}$, где M_{OBN} – магнитуда сейсмического события по данным станции OBN, $M_{c/c}$ – магнитуда, определенная по данным другой сейсмической станции.

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что более 90% значений магнитуд телесеismicких землетрясений, полученных на сейсмических станциях Воронежской сети наблюдений и приведенных к опорной станции «Обнинск», не имеют отклонений больше допустимых. Вместе с тем, выделяются зоны с завышенными значениями MS относительно OBN, к этим зонам относятся: Шпицберген, Камчатка, Средиземноморье и район Памира и Гиндукуша. Заниженными относительно OBN значениями выделяются зоны западного побережья Северной и Южной Америки, срединно-океанических хребтов, Суматры, Филиппин и Фиджи. Смешанные зоны как с положительным, так и с отрицательным отклонением наблюдаются в районе Японии и Греции.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Латырева Н.С.* Определение MLH при составлении «Сейсмологического бюллетеня сети опорных сейсмических станций ЕССН» // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. – М., 1974. – С. 9–18.
2. *Ефременко М.А., Пивоваров Р.С., Калинина Э.В.* Оценка магнитудных невязок для сейсмической станции «Галичья гора» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 163–165.
3. *Пивоваров Р.С., Калинина Э.В.* Оценка магнитудных невязок широкополосной сейсмической станции «Сторожевое» // Двадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: «ГИ УрО РАН», 2019. – С. 149–151.

ОБ ОПТИМАЛЬНОСТИ ВОРОНЕЖСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И РЕЗУЛЬТАТАХ НАБЛЮДЕНИЙ

С.П. Пивоваров, М.Е. Семенов, д.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Инструментальные сейсмологические наблюдения на территории Воронежского кристаллического массива были начаты в 1996 г. с установки аналоговой сейсмической станции «Воронеж» [1]. В настоящее время в регионе работают 17 станций, пять из которых входят в федеральную сеть наблюдений, а остальные станции образуют две локальные сети наблюдений вокруг Нововоронежской и Курской АЭС [2].

Организация сети сейсмологических наблюдений является одним из важных условий получения качественных данных, соответствующих поставленным задачам. В течение более десяти лет проводится сейсмологический мониторинг района размещения Нововоронежской АЭС. Одной из задач мониторинга является регистрация локальных сейсмических событий с магнитудой 0.5 и ниже. В этой связи необходимо было создать такую сеть, которая обеспечивала бы регистрацию низкомagnitudeных событий. В настоящее время разработана оптимальная конфигурация сети, сейсмические станции установлены в местах с минимальным уровнем сейсмического шума.

Как показано в [3], оптимальная геометрия сейсмических станций для территории России при условии регистрации сейсмических событий с магнитудой $MPV=3.6$, эпицентры которых распределены равномерно по всей территории, должна представлять собой сеть, состоящую из равносторонних треугольников, в вершинах и в центре которых должны располагаться сейсмические станции. При этом длина стороны треугольника взаимосвязана с максимальным эпицентральной расстоянием, на котором регистрируются сейсмические события самой дальней станцией.

Нами показано, что при условии низкого сейсмического шума в районе установки сейсмических станций, для регистрации и определения параметров сейсмических событий с магнитудой 0.5 достаточно организовать сейсмическую сеть следующим образом. Площадь наблюдений покрывается двумя четырехугольниками, повернутыми относительно друг друга на 45° . В углах четырехугольников и в общем центре установлены сейсмические станции. Такая сеть, как показал опыт работ, позволяет внутри первого четырехугольника с минимальной ошибкой определять параметры сейсмического события с магнитудой ≤ 0.5 при условии, что длина стороны четырехугольника не будет превышать 10 км.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старовойт О.Е., Надёжка Л.И., и др. Некоторые черты строения Воронежского кристаллического массива и первые результаты сейсмических наблюдений на его территории // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 156–163.
2. Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., и др. Сейсмологические исследования на территории Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 170–173.
3. Бурмин В.Ю. Оптимизация сетей сейсмологических наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной сейсмологической школы. – Обнинск ГС РАН, 2007. – С. 54–62.

АНАЛИЗ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В ДАГЕСТАНЕ В КОНЦЕ 2018 Г. – НАЧАЛЕ 2019 Г.

¹Н.Л. Пономарева, ²Л.Н. Королецки, ¹М.М. Ахмедова
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В течение пяти месяцев (ноябрь 2018 г. – март 2019 г.) на территории Дагестана почти одновременно были отмечены два явно выраженных мелкофокусных роя землетрясений: один – в районе села Учкент, примерно в 38 км северо-западнее г. Махачкалы; второй – в высокогорном Дагестане, на южном склоне Андийского хребта [1], названный Гагатлинским по имени близлежащего мелкого поселения.

В работе использованы данные каталогов, полученных в результате сводной обработки в Дагестанском филиале ФИЦ ЕГС РАН, а также данные сейсмических станций «Грозный», «Дышне-Ведено» и «Махачкала», уточненные в Информационно-обрабатывающем центре ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинске.

Отличительными чертами Гагатлинского роя являются: чрезвычайно компактный ареал эпицентров, очень малая глубина гипоцентров $h \leq 15$ км, схожесть спектров S -волн, реализация подавляющего числа толчков в течение трех недель, начиная с 17.01.2019 г., и наличие одного события с очень близкими координатами, но с глубиной очага ниже поверхности Мохо – $56 \leq h \leq 65$ км. Зарегистрировано около 130 землетрясений этого роя, и многие из них ощущались с интенсивностью до 2–3 баллов жителями сел Гагатли, Кижани и Зило, расположенными в 3–5 км друг от друга. Самые сильные события $M=3.1-3.5$ произошли 18–20 января 2019 г. и ощущались в том числе в селе Ботлих, в 18 км южнее с. Гагатли. Существенной особенностью этой зоны является наличие многочисленных разрывных нарушений [1]. Эта особенность проявилась в ощутимости рассматриваемого роя – ни одного толчка, ощущавшегося в селе Гагатли, не почувствовали в селе Анди, расположенном в четырех километрах северо-западнее. Между этими селами находится проявившийся на поверхности разрыв, который, очевидно, обозначает локальный разлом над отражающей площадкой.

По современным и историческим данным сейсмических каталогов Дагестана и сведениям, полученным от местных жителей, в рассматриваемом районе подобных процессов раньше не наблюдалось.

Серия сейсмических событий с очагами к северо-западу от Махачкалы характеризуется большей протяженностью во времени – толчки происходили с 25.12.2018 г. по 28.02.2019 г., а максимальная магнитуда не превысила $M \leq 2.7$. Эта область известна длительной слабой сейсмичностью, обусловленной как чрезвычайной раздробленностью и принадлежностью к дизъюнктивной зоне Срединного разлома [2], так и влиянием режима заполнения Чиркейского водохранилища, являющегося крупным объектом техногенного давления на вмещающую среду [3].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никитин М.Ю.* Неотектоника Горного Дагестана // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. – М.: Наука, 1987. – С. 221–228.
2. *Черкашин В.И., Сабаньев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И.* Тектоническая карта Дагестана // Труды ИГ ДНЦ РАН. Вып. 60. Тектоника Дагестана (объяснительная записка) / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. – Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников), 2012. – С. 89.
3. *Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А. и др.* Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных регионах. – М.: Наука, 1982. – 75 с.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

^{1,2}Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ²Н.А. Гилёва

¹ИЗК СО РАН, г. Иркутск

²БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Анализ макросейсмических данных считается наиболее старым способом изучения землетрясений. Историю макросейсмических исследований в Восточной Сибири можно условно разделить на три этапа. Первый этап следует отсчитывать, по-видимому, с момента Цаганского землетрясения 12 января 1862 г. ($M=7.5$), после которого изучение сейсмических проявлений приобрело более или менее системный характер с акцентом на каталогизацию сейсмических событий прошлого. Начальные шаги по систематизации макросейсмической информации из разрозненных источников (газет, журналов, дневников, личных свидетельств и т.д.) были предприняты А.П. Орловым, работавшим в г. Иркутске в 1868–1871 гг. и составившим первый каталог землетрясений Южной Сибири. Создание в конце 1901 г. сейсмической станции «Иркутск» ознаменовало начало второго этапа, продлившегося практически столетие. С этого момента целенаправленный сбор макросейсмических сведений осуществлялся на профессиональной основе. Основным способом получения данных – почтовая рассылка опросных листов – применялся в Восточной Сибири на протяжении всего XX в. и не потерял актуальности до настоящего времени. Полученные в результате данные позволили построить подробные карты макросейсмических проявлений для большинства сильных землетрясений Прибайкалья в XX в., а также составить региональные уравнения макросейсмического поля. Развитие информационных и коммуникационных технологий на рубеже XX–XXI вв. дало возможность получать информацию об ощутимых землетрясениях посредством глобальной сети Интернет (т.е. на качественно ином уровне), и, соответственно, положило начало третьему этапу макросейсмических исследований. В сентябре 2008 г. на Интернет-сайте Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1] была размещена интерактивная анкета, позволяющая любому очевидцу землетрясения, имеющему доступ к сети Интернет, в кратчайшие сроки сообщить свои наблюдения в обрабатывающий центр. Результаты, полученные в течение последних десяти лет, свидетельствуют о высокой эффективности и перспективности использования интерактивных методов сбора макросейсмических данных. Количество ответов, поступающих даже после умеренных 4–5-балльных землетрясений, достигает нескольких сотен. Следует отметить, что большинство сообщений поступает в течение нескольких часов после землетрясения, что существенно повышает оперативность оценок последствий сейсмического события.

Дальнейшие перспективы получения качественных макросейсмических данных связаны, по всей видимости, с распространением мобильных устройств, имеющих подключение к сети Интернет, а также с повышением информированности и заинтересованности общества.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Опрос населения* // Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: <http://www.seis-bykl.ru/modules.php?name=Anketa>.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ РЕГИСТРАТОР PEGASUS С ОЧЕНЬ НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

¹О.Г. Разинков, к.ф.-м.н., ¹Д.Д. Сидоров-Бирюков, ²T. Parker, ³P. Devanney
¹ООО НПК «ВУЛКАН», г. Москва
²Nanometrics Inc, г. Сокорро, США
³Nanometrics Inc, г. Канада, Канада

Быстрое развитие аппаратных средств привело к тому, что при построении плотных автономных сейсмических сетей важным параметром эффективности становится время, затраченное на развертывание одной станции. Общая сложность и высокая стоимость систем в сочетании с высокими временными затратами тормозят и усложняют исследования. Использование широкополосных датчиков для прямой установки в грунт [1] позволяет существенно сокращать время инсталляции одной станции и за короткое время разворачивать автономные сети, обеспечивающие высокий уровень сейсмологического наблюдений. Сейчас появляются новые сейсмические системы на основе геофонов, требующие гораздо меньших затрат на логистику и обладающие существенно более привлекательной ценой [2]. Однако на частотах ниже 1 Гц подобные системы неэффективны ввиду низкой чувствительности геофонов на данных частотах. Такие системы, как правило, не используются для длительных исследований, в то время как качественный широкополосный сейсмический регистратор может работать с широкополосным датчиком автономно в течение долгого времени.

Мы представляем новую модель такого регистратора с очень низким энергопотреблением – Nanometrics Pegasus [3]. Потребляемая мощность составляет менее 200 мВт для записи трех каналов с использованием синхронизации времени по сигналам GNSS в рабочем цикле. Это очень компактный (<0.001 м³), легкий (<0.5 кг) и прочный регистратор со степенью защиты IP68 для работы в полевых условиях. Установка и обслуживание производятся при помощи мобильного приложения. Специально разработанный комплекс программного обеспечения обеспечивает удобное, быстрое и надежное получение данных из регистратора при помощи ноутбука, в то время как проверка работы полевой станции выполняется просто и удобно при помощи мобильного телефона. При использовании регистратора с широкополосными датчиками серии Trillium Compact [4] общее энергопотребление станции составляет менее 0.4 Вт. У регистратора есть опциональный 4-й канал высокого разрешения, к которому можно подключить дополнительный геофизический датчик, в частности инфразвуковой, наклономер или датчик давления. Все метаданные автоматически создаются в регистраторе в формате, соответствующем стандартам FDSN.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Разинков О.Г., Сидоров-Бирюков Д.Д., Townsend B., Parker T., Bainbridge G., Greiss R.* Сейсмические приборы для прямой установки в грунт: Преимущества и области применения // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы шестой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 52.
2. *Schlupp A., Chavot P., Grunberg M., Bes-De-Berc M., Jund H., Ajak F., Vergne J., Masson F., Schmittbuhl J.* SeismoCitizen: A project combining seismology and human science approaches based on a deployment of a dense low cost seismic network hosted by citizens // EGU General Assembly 2019. Geophys. Res. Abstr. – 2019. – V. 21. – P. 15478.
3. *Регистратор Pegasus* // НПК Вулкан [сайт]. – URL: <https://www.vulcan-inc.ru/index.php/equipment/nanometrics/pegasus>. Дата обращения 22.04.2019.
4. *Универсальный сейсмометр Trillium Compact* // НПК Вулкан [сайт]. – URL: <https://www.vulcan-inc.ru/index.php/equipment/nanometrics/tc>. Дата обращения 22.04.2019.

SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF SEISMICITY AND SOURCE PROPERTIES IN ROMANIA (SOUTH-WESTERN CARPATHIANS) REVEALED BY WAVEFORM CORRELATION TECHNIQUES

¹PhD M. Rogozea, ¹R. Dinescu, ¹PhD F. Borleanu,
^{1,2}PhD M. Popa, ^{1,2}PhD M. Radulian
¹*NIEP, Magurele, Romania*
²*ARS, Bucharest, Romania*

The seismic activity in the Carpathian Orogen (Romania) is concentrated in a small volume, in the Vrancea region located at the bending of the Eastern Carpathians. The intermediate depth seismicity associated with this area produced significant deformation generating hazard in south-western Europe. Nevertheless, the seismic activity is extended along the Southern Carpathians emphasizing numerous crustal, small to moderate size events which are continuously shaping the aspect in the Neogene intra mountainous basins. Despite the previous studies performed in the southwestern Carpathians, the spatio-temporal evolution of seismic activity is still subject to numerous debates. On the other hand, the recent developments of the Romanian Seismic Network showed an increasing trend of the detected and located seismic events within this area but at the same time was emphasized that this process is strongly influenced by the number of seismic stations, network geometry and detection approach. To improve the image of the seismicity patterns and its evolution in time in the aforementioned region we ran a multi-channel waveform correlation detector to the seismic data recorded between 2010 and 2018 by a 3-component broadband seismic station Gura-Zlata (GZR) placed within the epicentral area.

Our results showed that the proposed detection technique is an efficient method to increase detection and location capabilities. We highlighted as well, clustering properties of seismicity associated with a complex system of faults and potential influences of anthropogenic activities.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ВОДОРОДА В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В СВЯЗИ С ПРОЯВЛЕНИЕМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

О.А. Саидов, к.г.-м.н.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН проводит исследования по изучению газо-геохимических критериев оценки сейсмической активности на Восточном Кавказе. При этом основное внимание уделяется исследованию дегазации легких газов, в частности, вариаций водорода в приземной атмосфере, поскольку их вариации во временном интервале могут отражать внутреннее состояние блоков земной коры, их стабильное или активное состояние.

Согласно модели М.А. Садовского [1], сейсмическая энергия заключена в некотором объеме горной породы, в одном из блоков иерархической структуры, теряющем устойчивость при энергообмене с окружающей средой. Заключительная стадия активизации сейсмичности, по мнению В.Л. Барсукова и А.А. Беляева [2], представляет собой генератор механических импульсов возрастающей периодичности и частоты. Время их распространения зависит от плотности среды и, по сравнению со временем диффузии растворов и газов в земной коре, можно считать мгновенным. При этом регистрирующая газогеохимическая система представляет собой резонатор с ограниченным набором собственных частот. Появление предвестника отражает эффект резонанса на одной из собственных или кратных ей частотах регистрирующей геохимической системы.

При обработке данных временного ряда исходили из предположения, что не абсолютные значения, а приращения значений величины исследуемого параметра, его дисперсия могут иметь определенную физическую сущность при исследовании предвестников землетрясений. Как известно, по физическому смыслу дисперсия отражает энергетическое воздействие на систему, в данном случае на физико-химическую систему подземных водно-газовых образований, а также на дегазацию массива горных пород. В связи с этим данные геохимических временных рядов подвергнуты статистической обработке, суть которой изложена в [3].

Исследования показали тесную взаимосвязь между статистическими параметрами смежных временных интервалов геохимического ряда и сейсмическими событиями на Восточном Кавказе.

Показано скачкообразное изменение дисперсии водорода в смежных временных интервалах геохимического ряда, которое сопровождается сейсмическими событиями. Сначала происходит повышение величины дисперсии, после чего идет его скачкообразное снижение, ступени которого соответствует сейсмическим событиям. При этом наиболее вероятным представляется появление в земной коре на заключительной стадии подготовки очага возбуждающих колебаний разной периодичности и частоты.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Подобие в геофизике // Природа. – 1991. – № 1. – С. 13–23.
2. Барсуков В.Л., Беляев А.А. Геохимические методы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1992. – 213 с.
3. Саидов О.А., Даниялов М.Г. О методике обработки и интерпретации временных геохимических рядов, как предвестника землетрясений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 184–189.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

В.А. Салтыков, д.ф.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Уровень представительности регистрируемых землетрясений является важным параметром, характеризующим возможности сейсмометрической сети по мониторингу сейсмической обстановки. Под представительностью обычно понимается нижний энергетический уровень землетрясений, которые могут быть зарегистрированы в заданной пространственной области без пропусков. Следует различать теоретическую представительность и фактическую, наблюдающуюся в действительности. Теоретическая представительность может быть оценена, исходя из уровня сейсмических шумов на станциях регистрации, задаваемого поглощения сейсмических волн средой и необходимого для локации числа сейсмических станций. Такая представительность является параметром сети сейсмических станций и характеризует возможности этой сети с учетом принятых допущений. Не меньший, а, возможно, даже больший интерес представляет оценка фактической представительности, которая будет характеризовать качество получаемого каталога.

Основным допущением при оценке представительности является закон Гутенберга-Рихтера, согласно которому распределение числа землетрясений N по энергии имеет степенной характер. При пропусках в регистрации слабых землетрясений характер распределения меняется. В этом случае представительность можно определить, как нижнюю границу линейного участка графика повторяемости – энергетический класс K_C или магнитуда M_C .

Используемая в работе методика оценки представительности основана на проверке соответствия распределения числа землетрясений по магнитудам (классам) экспоненциальному закону с заданной статистической значимостью.

В докладе показаны примеры, демонстрирующие некорректность оценок представительности каталога для больших пространственных или временных выборок из каталога. Показано, что такие оценки дают завышенные значения K_C (или M_C), что соответствует худшему качеству каталога по сравнению с реальным. Такой эффект связывается с объединением в один анализируемый объект пространственно-временных участков с различным наклоном графика повторяемости γ (или b -value).

Одним из направлений усовершенствования методики расчета K_C является определение характерных пространственно-временных масштабов вариаций γ . Именно использование единичных выборок из каталога с такими (или меньшими) продолжительностями и протяженностями может дать адекватную оценку качеству получаемого каталога.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

МОНИТОРИНГ ПРИЛИВНОЙ КОМПОНЕНТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА КАМЧАТКЕ В 2013–2019 ГГ. В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В.А. Салтыков, д.ф.-м.н., П.В. Воропаев, Ю.А. Кугаенко, к.ф.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Проведенный ранее анализ данных, полученных в течение последних 30 лет, выявил ряд особенностей, которые свидетельствуют о модуляции высокочастотного сейсмического шума (ВСШ) приливами и связи ВСШ с различными геофизическими процессами, в том числе с изменением напряженного состояния среды в процессе подготовки. Эти работы носили не только фундаментальный, но и прикладной характер, что связано с актуальностью проблемы сейсмического прогноза. Обнаружено важное свойство отклика ВСШ на приливное воздействие – эффект не является стабильным во времени. В 1990-х гг. по результатам исследований ВСШ на Камчатке выдвинута гипотеза о связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с геодинамическими процессами в регионе. Позднее на основе многолетних натуральных наблюдений было показано, что приливная чувствительность ВСШ наиболее стабильна и статистически значима в период подготовки сильных локальных землетрясений. Обнаруженный эффект синхронизации процессов лег в основу методики прогноза сильных локальных землетрясений по изменению характера отклика ВСШ на приливное воздействие.

Базовым элементом методики является экспериментально выявленный в 1992–1995 гг. эффект стабилизации фазового сдвига $\Delta\varphi$ между выбранной волной приливного гравитационного потенциала и выделенной из рядов огибающей ВСШ гармоникой с соответствующим приливным периодом. Синхронизация ВСШ с внешним приливным воздействием, проявляющаяся в виде стабилизации фазового сдвига, рассматривается как прогностический признак и является новым, ранее не обнаруженным предвестником землетрясений.

Учитывая, что прогностическая методика основана на наблюдениях ВСШ до середины 2013 г., представляет интерес рассмотреть результаты ее использования в последующее время. Здесь следует отметить, что станция «Начики» была закрыта в сентябре 2015 г. по независящим от КФ ФИЦ ЕГС РАН причинам. Станция «Карымшина» функционирует. В 2017 г. начаты работы по организации еще одного пункта в районе Усть-Камчатска.

С сентября 2013 г. по май 2019 г. произошло более 20 землетрясений, соответствующих прогнозируемому типу (по соотношению магнитуда – расстояние). Для землетрясений, которые имели предвестник, выделенный по методике ВСШ, в докладе представлены временные участки стабилизации фазового сдвига по данным станций «Начики», «Карымшина» и «Крутоберегово» с отмеченным временем землетрясения, положение его эпицентра, а также дата подачи прогнозного заключения в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Приведенные данные демонстрируют перспективность используемого подхода для прогноза сильных локальных землетрясений и не противоречат определенным ранее характеристикам методики, включая оценки ее эффективности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00185).

SEISMIC ACTIVITY – MONITOR AND FORECAST

I. Sandu
IGS, Chisinau, Moldova

The study interest for the seismic phenomena has been extremely high and it continues to be in the scientific world. As time goes on, with the rapid development of the global economy, more and more infrastructures become exposed to a possible interaction with this natural phenomenon, and therefore, the scenarios of possible economic losses (material and human) are becoming ever more diverse. This has historically been documented up to the 19th century - by pre-instrumental period of seismic observations, through descriptive reports. Subsequently, the reports became more complex, providing data on the source parameters, as bulletin or catalog standard format, that ultimately provide (show online) the seismic activity on Globe. But all this effort sums up the questions when, where and how the seismic energy was released - in the past, even if the data transfer about the seismic signal propagations occurs in real time.

The main role of monitoring is to inform society quickly, from simple people to key persons with administrative responsibility, about a possible danger. Applying the time difference on seismic wave propagations, the most effective warning system existing at the moment uses automatic seismic activity monitor.

Therefore, the seismic monitoring solves the reverse problems in modern seismology which link to events that have already taken place so, expanding the scope of application, by the time axis - for future events; it defines the multitude of attempts in locating seismic events as forecasting and prediction. Here, need to be mentioned that the prognosis for seismic events occurrence are for long and of short duration (with error domains), while for the prediction, variations in the values of the source parameters are not allowed.

In order to say something about the future, it is necessary to understand the present and the past. This principle is the basis of statistical models, which try to extrapolate the behavior of seismic activity in time and space. Here, the most simplistic form of forecasting is long-lasting, or hazard estimation, which operates with annual, monthly average values, and defines the frequencies of earthquakes occurrence, thus establishing the period of repetition of major earthquakes (which can also be less than months and years). These periods are commensurate with the lifetime of modern constructions, so the seismic hazard estimation has a specialized engineering field.

Short-term forecast resorts to correlation techniques between time series for seismic observations and other dynamic parameters - precursors, which can be useful in identifying possible seismic events occurrence. For most cases, these precursors are considered from the same time-series of seismic observations (which explains the inefficiency of the method). New tendencies in modern seismology are increasingly geared towards diversifying observations, establishing correlation relationships with other physical phenomena - related to variations in the values of gravitational, magnetic, electric fields, so the author identify that main problem may be related to the influence of the variations of the gravitational field on the geodynamic processes. And since the question - is the Earth system an isolated system or not was open, the author has answered this question, considering the earthquakes as an effect of geodynamic processes. His conclusion about seismic phenomenon - it is not random, its occurrence is conditioned by the variation of the gravitational field (determined by the relative location of the Sun and the Moon). And since their movement is well defined, it can be forecasted, just as the influence of these two bodies on the earth system through the gravitational field. This fact, suggests the author of this paper, to be applied further on forecast, and parallel with the seismic monitoring, the gravitational field need to be included.

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАЙКАЛА

^{1,2}Д.П.-Д. Санжиева, ^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н.

¹ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

²БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ

Район Центрального Байкала (51.7–53.7°N; 106.1–109.1°E) является центральной частью Байкальского рифта и относится к одной из сейсмически активных областей России. Он характеризуется довольно высокой плотностью микро- и слабых землетрясений ($K_p < 8$) и наличием эпицентров сильных землетрясений с $K_p > 13$ [1]. В 1996 г. начала свою работу локальная сеть сейсмостанций на территории Республики Бурятия. В сеть входят десять станций Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН и ГИН СО РАН, расположение которых позволяет полностью охватить район исследования [2]. В сводной обработке также используются данные пяти станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН. С 2001 г. все станции оснащены цифровой аппаратурой с непрерывной записью, это позволило расширить диапазон определения очаговых параметров в сторону землетрясений с более низкими энергетическими классами.

Для 64 землетрясений Центрального Байкала были определены значения сейсмического момента M_0 , линейных размеров очага R , угловой частоты f_c и сброшенного напряжения σ с использованием модели круговой дислокации Бруна [3]. По ней спектр смещений в простейшем своем представлении состоит из двух прямых – горизонтальной в области низких частот и наклонной в области высоких, пересекающихся в точке, соответствующей угловой частоте. Уровень горизонтальной линии пропорционален сейсмическому моменту, а значение корнер-частоты (угловой) связано с линейными размерами очага. При спектральном анализе из спектров смещений продольной и поперечной волн были вычтены составляющие, характеризующие геометрическое расхождение и неупругое затухание волн в среде распространения.

Очаговые параметры и форма спектра смещений в очаге дает информацию для более корректного моделирования возможного землетрясения и расчета сейсмического воздействия в инженерной сейсмологии.

Также нами было проведено уточнение региональной корреляционной зависимости $M_w - K_p$ (или $M_w - ML$), которая необходима для формирования каталога землетрясений с возможностью сравнения очаговых параметров землетрясений Байкальской рифтовой зоны с другими регионами мира.

Работа выполнена в рамках темы НИР ПФНИ ГАН IX.136.1.2 «Исследование факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса и сейсмическую опасность Прибайкалья» (№ НИОКТР АААА-А16-116121550016-3), а также в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Radziminovich N.A., Gileva N.A., Melnikova V.I., Ochkovskaya M.G.* Seismicity of the Baikal rift system from regional network observations // J. Asian Earth Sci. – 2013. – V. 62. – P. 146–161.
2. *Масальский О.К., Гилёва Н.А., Хамидулина О.А., Тубанов Ц.А.* Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 41–46.
3. *Brune J.N.* Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. – 1970. – V. 75, N 26. – P. 4997–5009.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ OBSPY ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЛОКАЦИИ БЛИЗКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ПРОГРАММЕ WSG

^{1,2}И.Н. Сафронич

¹ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Известные программы обработки для локации сейсмических событий используют расчет времен прихода волн по скоростной модели Земли. Программа WSG использует таблично заданные дискретные годографы первых вступлений волн P и S типов. Имеющиеся в комплекте годографы (модель IASPEI-91) имеют шаг по расстоянию 1° , а минимальный по глубине – 15 км, что достаточно для локации очагов телесейсмических и региональных сейсмических событий. При локации на близких расстояниях (до 2°) в результат вносится дополнительная погрешность. Использование для локации годографов волн Pg (шаг по расстоянию – 0.25° , по глубине – 5 км) ограничивается отсутствием в комплекте годографа волны Sg с аналогичной дискретизацией. Кроме того, использование годографа первых вступлений P - и S -волн с плавным изменением разницы между их временами прихода на расстояниях до 2° облегчает локацию сейсмических событий и исключает ошибки, связанные с последовательной сменой волн, приходящих первыми: прямая волна, рефрагированная, а затем головная. Для получения корректного «сшивания» необходим шаг по глубине не более 2 км, а по расстоянию – 0.05° .

Помочь в создании необходимого годографа может библиотека ObsPy (<http://docs.obspy.org>) с открытым исходным кодом для бесплатного, высокоуровневого языка программирования Python. Она предназначена для быстрой разработки сейсмологических приложений на основе проверенных временем алгоритмов для автоматической обработки сейсмологических данных. В ней расчет времени прихода производится по 1D скоростным моделям. Комплект моделей включает: IASPEI-91, Джеффриса-Буллена, ak135 и др. Это позволяет рассчитать таблицу для P - и S -волн с любым шагом как по расстоянию, так и по глубине и сохранить их в формате текстового годографа, а затем заменить ими соответствующие файлы в комплекте программы WSG.

Кроме того, для улучшения локации библиотека ObsPy дает возможность использовать для расчета свою (региональную) скоростно-плотностную модель. Она задается простым текстовым файлом с четырьмя колонками значений: глубина в км (с произвольным шагом); скорость продольных волн в км/с на этой глубине; скорость поперечных волн в км/с; плотность в г/см³. Сейсмическая граница задается повторением одной и той же глубины с разными значениями скоростей или плотностей. Созданная региональная модель в программе доступна по имени ее файла.

Модуль создания, визуализации и сохранения комплектов годографов входит в комплекс вспомогательных программ, разрабатываемых в лаборатории СМ ВКМ на языке программирования Python. Он позволяет для выбранной скоростной модели Земли рассчитать табличные годографы с любым шагом как по расстоянию, так и по глубине для любого набора волн. Причем имеется возможность получать годографы для нестандартных волн, трассу которых в литосфере можно задать с помощью ее названия, составленного по определенным несложным правилам. Для получения полных и «плавных» годографов первых вступлений P - и S -волн в ObsPy необходимо отдельно задавать пары волн « p » и « P », а также « s » и « S » и выбирать для таблицы минимальные значения времени. При создании комплекта годографов одновременно создается текстовый файл описания phaselist, необходимый программе WSG и содержащий список для сопоставления имени волны с названием ее файла годографа.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРА НАКАМУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТРУЗИИ В КРОВЛЕ ДОКЕМБРИЙСКОГО ФУНДАМЕНТА ВКМ

^{1,2}И.Н. Сафронич

¹ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Приведены результаты использования спектра Накамуры [1] для исследования хорошо изученного Ёлкинского интрузивного массива площадью менее 10 км^2 , расположенного в кровле докембрийского фундамента Хоперского мегаблока Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и перекрытого осадочным чехлом мощностью 200 м. Двухфазная интрузия представлена ассоциациями пород: габбро-диоритами, диоритами мамонского комплекса (в центре) и норитами еланского комплекса (по краям). Интрузия расположена во вмещающих породах воронцовской серии.

В качестве исходных данных использовались сейсмические записи, полученные при проведении микросейсморайонирования Ёлкинского участка. Пункты регистрации микросейсм располагались по площади интрузии на расстоянии от 300 до 600 м (время записи от 6 до 11 часов). Базовый пункт наблюдения располагался вне интрузии.

Спектр Накамуры (H/V отношение) рассчитывался для трехкомпонентной спектральной модели микросейсмического фона. Метод расчета модели приведен в [2]. Модель построена по 600 мгновенным спектрам Фурье трехкомпонентных фрагментов записи длительностью 81.92 с (8192 отсчета), выбранных со сдвигом 30 с на непрерывном интервале без исключения зашумленных фрагментов. Расчет проводился в процессоре обработки сигналов программы WSG. Метод расчета позволяет выделить амплитудно-частотный состав постоянно действующих процессов: микросейсмического фона и техногенной нагрузки, при этом максимально уменьшает влияние на результат непостоянных помех. В результате такого расчета H/V отношение базового пункта по дневным, ночным, утренним и вечерним записям достаточно стабильно.

Для всех 32 пунктов были рассчитаны спектры Накамуры. Анализировались их отношения к спектру базового пункта (в числителе), нормированные на среднее значение в диапазоне частот 5.6–5.9 Гц. Из этих нормированных отношений выбраны те, которые в диапазоне частот 2–5.5 Гц имеют максимальные и минимальные значения. Их отличие достигает 2.5 раз. Отношения «минимальны» в пунктах, пространственно приуроченных к диоритам, а «максимальны» – над норитами. На частотах ниже 2 Гц их значения стремятся к «1», т.е. к вмещающим породам, кроме двух пунктов, где они ниже и выше. Это возможно отражает присутствие в этих пунктах подводящих каналов еланского и мамонского комплексов. Примечательно, что отношение, значения которого в диапазоне 4–5.5 Гц совпадают с нижней границей, а в диапазоне частот 2–3.5 Гц с верхней, соответствует пункту наблюдения, расположенному над диоритовым массивом в кровле фундамента, окруженного норитами. Полученные результаты показывают перспективность использования спектра Накамуры для изучения многофазных интрузии в кровле докембрийского фундамента ВКМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nakamura Y.A. Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground // Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute. – 1989. – V. 30. – P. 25–33.
2. Сафронич И.Н. Метод расчета модели микросейсмического фона // Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии. Материалы Международной конференции / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 65.

РОЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В 2019 Г. В РАЙОНЕ СЕЛА МАЙРАМАДАГ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ–АЛАНИЯ

А.А. Саяпина, И.Ю. Дмитриева, С.С. Багаева, К.В. Гричуха
СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

В феврале 2019 г. на южной окраине села Майрамадаг зафиксирован рой слабых сейсмических событий, отдельные землетрясения которых ощущались во Владикавказе интенсивностью 2 балла по шкале ШСИ-17 [1]. Рои в пределах этого района возникали в 2007 и 2011 гг., а еще ранее и в 2004 г., только несколько юго-восточнее [2]. Исторически сильных землетрясений в области сейсмической активности в инструментальный период не зарегистрировано, однако под руководством Е.А. Рогожина в этой местности были установлены очаги древних землетрясений и определен сейсмический потенциал $M_{\max}=6.5-7.1$ [3]. Проявление сейсмичности здесь связано со средней ветвью глубинного Владикавказского разлома, который определяется по геофизическим данным. В приповерхностной части ему соответствует расслоенная вертикальная флексура.

Рассматриваемый рой землетрясений начался 15.02.2019 г. заметной группой из 12 сейсмических событий, имеющей в своем составе два ощутимых землетрясения: в 13:37 с $K_p=9.2$ и в 16:05 с $K_p=9.4$. Очаги землетрясений совпали по координатам эпицентров $\varphi=42.99^\circ\text{N}$, $\lambda=44.50^\circ\text{E}$ и по глубине $h=11$ км. Далее сейсмические события количественно распределились следующим образом: 16.02.2019 г. – одно, 19.02.2019 г. – девять, 24.02.2019 г. – одно. Без учета ощутимых толчков всего записано 21 землетрясение с $K_p=4.7-7.4$. Для подтверждения взаимосвязи и генетической однородности группы событий в рое необходимо удостовериться в подобии их записей и спектров на одной и той же станции. Данное исследование проводилось на записях сейсмостанции «Лац», удаленной на 25 км от места возникновения сейсмических событий. На нефильтрованных записях, выровненных по времени вступления P -волны, четко проявилось большое сходство роевых землетрясений разной энергии между собой. Схожими оказались и их спектры.

Для двух подобных и наиболее значимых по классу землетрясений роя ($K_p=9.2$ и $K_p=9.4$) собраны знаки первого движения в P -волне на 17 сейсмических станциях и получен механизм очага в программе FA [4]. Согласно полученному решению механизма, тип движения в очаге определен как сброс. Простираение плоскости разрыва и вытянутость области распределения роя совпадают с предполагаемым активным разломом северо-западного простираения [5], который близок к очаговой зоне роя.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. *Каталоги сейсмических событий центральной части Северного Кавказа по данным СОФ ФИЦ ЕГС РАН за 2004–2019 гг.* – Владикавказ: Фонды СОФ ФИЦ ЕГС РАН.
3. *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. – С. 256.
4. *Ландер А.В.* Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений P -волн). – Фонды автора, 2006. – С. 27.
5. *Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С., Рогожин Е.А.* Зона владикавказского активного разлома С.К. на территории РСО-А // Вестник Владикавказского научного центра. – 2008. № 8 (3). – С. 44–56.

МОНИТОРИНГ СИЛЬНЕЙШИХ СУБДУКЦИОННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

¹И.А. Сдельникова, к.ф.-м.н., ^{1,2}Г.М. Стеблов, д.ф.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ИФЗ РАН, г. Москва

Высокая точность современных спутниковых геодезических измерений и достаточно густые сети в ряде сейсмически активных регионов предоставляют широкие возможности для изучения всей совокупности деформаций земной поверхности [1]. Интерпретация деформаций земной поверхности позволяет исследовать глубинные процессы деформирования, приводящие к возникновению сильнейших землетрясений.

Известно, что самые сильные землетрясения происходят в зонах субдукции. Сильнейшие землетрясения в каждой зоне субдукции происходят довольно редко и высвобождают огромное количество деформаций, накопленных за сотни лет. В случае, если возникшее землетрясение мелкофокусное и подводное, то деформации морского дна в эпицентре события приводят к возникновению цунами. Часто ущерб, нанесенный цунами, значительно превосходит последствия самого цунамигенного землетрясения. Кроме того, последствия от цунамигенного землетрясения могут сказываться и в регионах, значительно отдаленных от очага землетрясения.

Методы спутниковой геодезии позволяют разработать комплексный подход к изучению цунами, который подразумевает как изучение процессов, приводящих к его возникновению (исследования, направленные на изучение механизмов подготовки и генерации цунами), так и изучение вопросов совершенствования системы оперативного прогноза опасности цунами [2].

В работе продемонстрирована возможность как предварительного, так и оперативного геодинамического мониторинга подготовки и реализации сильнейших субдукционных землетрясений по данным спутниковой геодезии.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стеблов Г.М., Лобковский Л.И., Владимирова И.С., Баранов Б.В., Сдельникова И.А., Габсатаров Ю.В.* Сейсмотектонические деформации Курильской островной дуги на различных стадиях сейсмического цикла, связанные с Симуширскими землетрясениями // Вулканология и сейсмология. – 2018. – № 6. – С. 57–69.
2. *Сдельникова И.А., Стеблов Г.М.* Мониторинг цунамигенных землетрясений методами спутниковой геодезии // Геофизические исследования. – 2016. – Т. 17, № 1. – С. 46–55.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В СЕЙСМОЛОГИИ

В.С. Селезнев, д.ф.-м.н.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Рассмотрим тот раздел сейсмологии, который принято называть структурная сейсмология. В этом разделе по данным сейсмологических наблюдений изучают строение Земли. Рассмотрим, как это происходит. При регистрации землетрясений сейсмические колебания распространяются на большие расстояния, и эти колебания земной поверхности фиксируются сейсмоприемниками. В результате получают сейсмические записи смещений, скоростей смещений или ускорений. Все колебания привязаны к единому времени с точностью обычно 0.001–0.002 с. Далее, на сейсмограммах отдельные записанные колебания отождествляют с какими-либо волнами (волны – это то, что получается в результате решения теоретических задач для определенных моделей) и определяют их времена прихода. Для того, чтобы выделять одни и те же волны на различных сейсмограммах, полученных в разных точках, применяют принципы корреляции волн (дискретные, позиционные, транспозиционные и т.д.). В зависимости от того, как проведена корреляция волн, класс (отраженная, преломленная, Лява и т.д.) и тип (P , S , SV , SH) волны может быть строго определен или быть только предполагаемым. В сейсмологии, как правило, природа волн не доказывается, а предполагается, так как для доказательства природы волны требуются непрерывные и многократные системы наблюдений. Поэтому и результаты построений зависят от того, насколько точно была угадана природа используемых волн.

Провести интерпретацию волнового поля можно только в рамках какой-то выбранной интерпретатором модели. Если мы не умеем решать прямые задачи в рамках сложных (например, анизотропных сред), то и выбрать такую модель в качестве интерпретационной мы не сможем, хотя и понимаем, что реальная среда сложнее даже этой модели. Поэтому все, что возможно сделать в этой ситуации, это определить параметры той интерпретационной модели, которую мы выберем. Если выберем другую интерпретационную модель, то, соответственно, определим другие параметры этой модели, которые будут лучше или хуже объяснять особенности наблюдаемого волнового поля. Поясним на примере. Если в методе ОГТ в дальней части сейсмограммы при трехкомпонентной регистрации интерпретатор увидел разделение S -волны на SV и SH , то это говорит о том, что среда, по которой эти волны проходили, анизотропная. В этом случае, строго говоря, и интерпретационная модель должна быть анизотропная, даже в том случае, если проводится интерпретация только P -волн. А такого программного обеспечения нет, поэтому интерпретатор должен забыть о том, что видел разделение S -волн и получить результирующие разрезы в рамках изотропной модели, то есть той, с которой он умеет работать. Какой может быть модельная ошибка, – это отдельный разговор, ясно, что она, при неправильно выбранной интерпретационной модели, может быть значительной, и определенные в рамках такой модели параметры среды, не будут иметь ничего общего с реальной ситуацией. В сейсмологии ситуация может быть еще сложнее, так как кроме вопроса с выбором модели, остро стоит вопрос о доказательстве природы используемой волны.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ САХАЛИНСКОГО РЕГИОНА

Е.П. Семенова, Т.А. Фокина
СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск

Ежегодно в Сахалинской области регистрируются сотни землетрясений различной магнитуды, и только небольшой процент этих событий проявляет макросейсмический эффект. По данным СФ ФИЦ ЕГС РАН, с 2000 по 2018 г. на Сахалине произошло 423 ощутимых землетрясения. Таким образом, в среднем ежегодно на Сахалине происходило 22 ощутимых землетрясения, хотя иногда их было намного больше (83 – в 1995 г., 56 – в 2001 г., 46 – в 2007 г.).

На территории Сахалинского региона регистрируются землетрясения двух типов: коровые, т.е. происходящие в земной коре Сахалина и его шельфа, и глубокофокусные, гипоцентры которых находятся в той части зоны субдукции Курило-Охотского региона, которая расположена под Сахалином – на глубине 200–300 км под заливом Анива и до 600 км – под районами средней части Сахалина.

Макросейсмические проявления сахалинских землетрясений с нормальной глубиной очага изучены неплохо [1, 2]. Как правило, наиболее сильно мелкофокусное землетрясение ощущается в ближайших к эпицентру населенных пунктах, с расстоянием интенсивность сотрясений убывает, изосейсты несколько вытянуты в субмеридиональном направлении.

Мелкофокусные землетрясения Сахалина очень опасны, поскольку их эпицентры нередко находятся вблизи населенных пунктов или прямо под ними. Поэтому землетрясение магнитудой 5 вызывает на поверхности сотрясения интенсивностью до 7 баллов, магнитудой 6 – соответственно сотрясения силой 8 баллов, а землетрясение магнитудой 7 может стать катастрофическим.

Иная картина наблюдается для глубокофокусных землетрясений. Они, как правило, ощущаются не сильно, но на обширной территории. И максимальный макросейсмический эффект отмечается не в эпицентре, а в районе приближения зоны субдукции к земной поверхности. Так, глубокофокусные землетрясения с эпицентрами на территории Сахалинского региона иногда заметно ощущаются в Японии, в то время как в ближайших к эпицентру населенных пунктах Сахалина имеются данные о слабом макросейсмическом проявлении или совсем отсутствуют.

В докладе будет рассказано о наиболее интересных макросейсмических проявлениях землетрясений с эпицентрами на о. Сахалин и в акваториях омывающих его дальневосточных морей.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оскорбин Л.С.* Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений // Сейсмическое районирование Сахалина. – Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 34–45.
2. *Оскорбин Л.С.* Количественная оценка сейсмичности и сейсмической опасности Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина. – Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 23–33.

РАЙОНИРОВАНИЕ ВКМ ПО КОЛИЧЕСТВУ ВЫДЕЛИВШЕЙСЯ СЕЙМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ ЗА 20 ЛЕТ

¹А.Е. Семенов, ²А.М. Семенов
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в настоящее время функционирует сеть сейсмических станций (16 станций), однако они расположены неравномерно по территории. Большая часть сейсмических станций образует локальные сети вокруг атомных станций. Курская локальная сеть в западной части Курского мегаблока включает семь сейсмических станций. Ближайшая сейсмическая станция «Гупово» расположена на расстоянии 3.6 км от площадки, наиболее удаленной является сейсмическая станция «Мухино» – на расстоянии 18 км.

Нововоронежская локальная сеть расположена в Лосевской шовной зоне и включает восемь сейсмических станций, три из которых входят в региональную Воронежскую сеть. Сейсмические станции пространственно образуют два кольца. В первом ближайшем кольце станции располагаются на расстоянии до 10 км от площадки, во втором, дальнем, – на расстоянии 40–60 км. Кроме локальных сетей функционируют еще две сейсмические станции, входящие в региональную Воронежскую сеть: «Новохопёрск», расположенная в восточной части Хопёрского мегаблока, и «Галичья гора» в северной части Лосевской шовной зоны.

Таким образом, плотность покрытия территории ВКМ сейсмическими станциями неравномерна. Наиболее плотная сеть сейсмических станций отмечается в центральной части Лосевской шовной зоны. На большей части Курского и Хопёрского мегаблоков сейсмические станции отсутствуют. В связи с этим, несмотря на хорошую чувствительность локальных сетей и отдельных станций [1], районирование по количеству выделившейся энергии выполнено только для центральной части ВКМ. На этой территории представительная регистрация сейсмических событий начинается с шестого энергетического класса.

Вся исследуемая территория разбивалась на элементарные ячейки 10'×10'. В каждой из ячеек вычислялось количество выделившейся энергии, а затем элементарные ячейки объединялись с учетом точности определения эпицентра, характера геофизических полей и геологической ситуации. Всего, согласно каталогам, на территории ВКМ зарегистрировано 560 местных землетрясений 2–10 энергетических классов. Для анализа использовалась информация о 340 землетрясениях. По результатам анализа показано, что сейсмическая активность различна в разных частях ВКМ. Наибольшее количество сейсмической энергии выделилось в Лискинской и Елец-Липецкой зонах. В первой из них выделившаяся сейсмическая энергия за двадцатилетний период составляет $4 \cdot 10^9$ Дж, во второй – $3 \cdot 10^9$ Дж. Новохопёрская и Лосевско-Мамонская зоны, которые контролируются глубинными коромантийными разломами, характеризуются выделившейся энергией $1 \cdot 10^9$ и $2 \cdot 10^9$ Дж за такой же период, соответственно. Кроме этих зон, выделяется ряд слабо сейсмически активных зон, которые контролируются фрагментами разломов, активизированных в фанерозое.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А.* Оценка регистрационных возможностей сети сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 466–470.

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

^{1,2}М.Е. Семенов, д.ф.-м.н., ³Е.В. Комаринский

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

³Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция», г. Курчатов

Оценка влияния сейсмических событий на здания и сооружения является важным фактором обеспечения безопасности объектов гражданского строительства, а также повышенного экологического риска, что важно для густозаселенных территорий.

Территория Воронежского кристаллического массива подвержена воздействию телесеismicких землетрясений, а также сейсмических событий, вызванных промышленными взрывами. Вместе с тем, в регионе высокая плотность населения, развитая инфраструктура и значительное число экологически ответственных объектов. Все это делает проблему сейсмической безопасности особенно актуальной, в том числе и в части обеспечения устойчивости основных объектов и систем жизнеобеспечения. Рассматриваемая задача не нова. Большое внимание этим вопросам уделено в работах М.А. Садовского [1]. Однако в основном исследовались сейсмические события, вызываемые ядерными взрывами.

В настоящее время в условиях платформенной территории, к которой относится территория Воронежского кристаллического массива, значительную роль играют сейсмические события, вызванные короткозамедленными промышленными взрывами. Как показано в [2], Воронежский регион относится к районам, где взрывные работы особенно развиты. При оценке их влияния на здания и сооружения важную роль, кроме грунтовых условий, играет учет методики проведения короткозамедленных взрывов. Оценка их влияния на здания и сооружения по методике однократных сейсмических воздействий не является достаточно корректной.

Рассматривается модель, которая описывает сейсмические воздействия, базируется на операторной трактовке гистерезисных преобразователей. Вводится преобразователь, который является статическим, т.е. его свойства не меняются во времени. Введенный преобразователь позволяет корректно определить реакцию строительных конструкций на ступенчатое воздействие, формируемое функцией Хевисайда. Оператор, соответствующий данному преобразователю, определен на всех кусочно-непрерывных входах и удовлетворяет условию Липшица. Это означает, что решение у дифференциального уравнения с этим оператором в правой части существует, и оно – единственное.

Введенный таким образом преобразователь является математической моделью, описывающей связь между напряжениями и деформациями в строительных конструкциях. Предлагаемая модель является только первым приближением, не учитывающим особенностей конструкции, свойств материала и грунтов. В дальнейшем предполагается развитие полученных результатов и построение модели, корректно отражающей сейсмические воздействия, вызванные короткозамедленными промышленными взрывами.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Садовский М.А.* Избранные труды: Геофизика и физика взрыва / Отв. ред. В.В. Адушкин. – М.: Наука, 2004. – 440 с.
2. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с.

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИАРГУНЬЯ

^{1,2}А.И. Середкина, к.ф.-м.н., ^{1,3}В.И. Мельникова, д.г.-м.н.,

^{1,3}Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ³Н.А. Гилёва

¹ИЗК СО РАН, г. Иркутск

²ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Территория Юго-Восточного Забайкалья, наряду с приграничными районами Северного Китая и Восточной Монголии, в сейсмологическом и сейсмотектоническом отношении на сегодняшний день изучена слабо. В сложившейся ситуации любые данные об очаговых параметрах, тектонической позиции и макросейсмических проявлениях местных землетрясений приобретают значительную ценность. В настоящей работе такие характеристики получены для семи региональных сейсмических событий, произошедших на территории Приаргунья в 2000–2017 гг.

Тензор сейсмического момента и глубина гипоцентра рассчитывались по амплитудным спектрам поверхностных волн с привлечением дополнительной информации о знаках первых вступлений объемных волн на региональных сейсмических станциях [1]. В результате инверсии было установлено, что моментные магнитуды рассматриваемых сейсмических событий изменяются от 4.2 до 4.6, а их гипоцентры расположены на глубинах от 3 до 37 км, т.е. во всей толще земной коры, мощность которой для исследуемого района по разным данным в среднем составляет около 38 км [2]. Фокальные механизмы землетрясений демонстрируют разнородный характер подвижек в их очагах: от чистых сбросов до взбросов, при этом все полученные решения характеризуются малыми значениями функции нормированной невязки ($\varepsilon < 0.3$).

Для пяти землетрясений (2001–2017 гг.), зарегистрированных однотипной аппаратурой, также были вычислены динамические параметры очагов по амплитудным спектрам *S*-волн в рамках модели [3]. Следует отметить, что значения скалярных сейсмических моментов, рассчитанные с помощью обоих методов, практически совпадают между собой, что свидетельствует о корректности полученных результатов. Низкие значения снятых и кажущихся напряжений, а также отношений энергии к сейсмическому моменту, наряду с различным характером подвижек в очагах исследуемых землетрясений, вероятнее всего, обусловлены локальными перераспределениями напряжений в мелко-масштабных блоках земной коры.

Работа выполнена в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта «Сейсмичность, глубина очагов землетрясений, сейсмоплотностная структура и трехмерное напряженно-деформированное состояние земной коры Востока Байкальской рифтовой зоны (блок 3)», а также в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Середкина А.И., Мельникова В.И.* Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // *Физика Земли*. – 2014. – № 3. – С. 103–114. DOI: 10.7868/S0002333714030090.
2. *Shen W., Ritzwoller M.H., Kang D., Kim Y., Lin F.-C., Ning J., Wang W., Zheng Y., Zhou L.* A seismic reference model for the crust and uppermost mantle beneath China from surface wave dispersion // *Geophys. J. Int.* – 2016. – V. 206. – P. 954–979. DOI: 10.1093/gji/ggw175.
3. *Brune J.N.* Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // *J. Geophys. Res.* – 1970. – V. 75 (26). – P. 4997–5009. DOI: 10.1029/JB075i026p04997.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В АНТАРКТИДЕ

О.Е. Старовойт, к.ф.-м.н., А.А. Маловичко, чл.-корр. РАН,
С.Г. Пойгина, В.В. Крумпан, Д.Г. Бадалян, А.М. Милехина
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

История советских сейсмических наблюдений в Антарктиде началась в 1956 г. с открытием станции «Мирный», в 1962 г. начала работу сейсмическая станция «Новолазаревская». Эти станции с самого начала работы были включены в Единую сеть сейсмологических наблюдений СССР, с 1994 г. они вошли в телесеismicкую сеть Геофизической службы РАН (ныне ФИЦ ЕГС РАН), главной задачей которой является обеспечение непрерывного мониторинга сейсмоактивных зон земного шара, включая Россию. На российские антарктические сейсмостанции были возложены следующие функции: мониторинг сильных землетрясений земного шара с магнитудой $M > 6$; регистрация землетрясений сейсмоактивной зоны вокруг Антарктиды; регистрация локальных явлений в Антарктиде, в т.ч. местных землетрясений и разрывов ледникового покрова.

В декабре 2012 г. станция «Мирный» с аналоговой аппаратурой была законсервирована. Станция «Новолазаревская», благодаря установке в 1999 г. широкополосной 16-разрядной цифровой аппаратуры SDAS с полосой пропускания 0.04–5 Гц, переведена на цифровую технологию сбора, хранения и обработки сейсмических записей. Обработка данных производится сейсмологом непосредственно на станции и в виде сводок отправляется через Интернет в ИОЦ ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск).

Большая часть очагов землетрясений, регистрируемых антарктическими станциями и станцией «Новолазаревская» в частности, находится в Южном полушарии, в районах, входящих в сейсмический пояс Антарктиды. С увеличением числа цифровых сейсмических станций Глобальной сети, а значит, и чувствительности этой сети, количество зарегистрированных землетрясений (в основном слабых, так называемых ледотрясений или ледяных землетрясений) в континентальной части Антарктиды в последние три десятилетия значительно выросло. Наибольшая сейсмическая активность на шестом континенте была отмечена в период с 28 мая 2007 г. по 28 ноября 2008 г., когда число зарегистрированных землетрясений составило 18, в т.ч. два форшока в 2007 г. и 15 афтершоков в 2008 г. землетрясения 4 ноября 2007 г. с $m_b=5.7$. Самый сильный афтершок с $m_b=5.0$ произошел 23 июля 2008 года. Эпицентры этих событий находились на Земле Уилкса в 60–80 км к юго-востоку от аэродрома Уилкинс.

В результате работы по обобщению сейсмологических данных был составлен каталог и построена карта землетрясений на территории и вблизи берегов Антарктиды за инструментальный период сейсмических наблюдений (1956–2018 гг.) по данным ФИЦ ЕГС РАН, NEIC и ISC. Наиболее сильные землетрясения в континентальной части Антарктиды отмечены 22 февраля 2005 г. с $m_b=5.6$ в бухте Дейвиса, близ берега Клари; 19 мая 1984 г. с $m_b=4.9$, 4 ноября 2007 г. с $m_b=5.7$ и 23 июля 2008 г. с $m_b=5.0$ в районе аэродрома Уилкинс; 1 июня 2012 г. на берегу Сондерса с $m_b=5.5$.

По итогам работ РАЭ в Государственном научном центре «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ААНИИ) выпускаются электронные квартальные бюллетени «Состояние природной среды Антарктики» [1], где раз в год, начиная с 1999 г., публикуются итоги работы российских сейсмических станций на этом материке.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Квартальный бюллетень «Состояние природной среды Антарктики»* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.aari.aq>.

FOUR NEW ISC SERVICES

PhD D.A. Storchak, PhD K. Lentas, L. Brown,
PhD P. Franek, PhD K. Lieser, PhD D. Giacomo, J. Harris
ISC, Thatcham, United Kingdom

The International Seismological Centre (ISC) [1] continues its mission of producing the most long-term and complete bulletin of instrumentally recorded seismicity on a global scale, primarily based on seismic bulletin reports from ~150 permanent national, regional and global seismic networks. This presentation covers four new areas of development at the ISC.

Firstly, we cover the start of routine computation of the source mechanisms of moderate to large earthquakes, based on automatic waveform determination of polarities of first motions made at the ISC as well as those reported to the ISC. Currently, the ISC mechanisms cover the period 1938–1984 and 2011–2016.

Secondly, we describe the ISC effort to alleviate the unfortunate recent steady decrease in reporting the depth phases (*pP*, *sP*, etc) by agencies. To help constrain the depths of moderate to large earthquakes, we began picking the depth phases at the ISC, using a large number of waveforms freely available on-line for events with magnitude 4.8 and higher, worldwide.

Thirdly, we describe the growing effort of publishing scientific articles from agencies that report seismic bulletin data to the ISC. These articles contain a history of the seismic network, its current status as well as software and procedures used for monitoring seismic events and producing seismological bulletins such as location algorithms, velocity models, magnitude types etc. Each article is given its own DOI and made openly available long-term, both in print and on-line. In addition, these articles are linked to the ISC Agency Registration and there are plans to integrate such articles with FDSN resources.

Finally, we introduce a different supplementary ISC service that allows individual researchers or groups to submit entire catalogues/bulletins of seismic events that were built as a result of a short-term experiment, aftershock deployment or a critical review of seismicity in certain region or even globally. We also encourage submission of other seismological datasets such as results of source or earth structure studies, velocity models, notable earthquake observations etc. This long-term secure repository of seismic datasets includes all necessary metadata such as a DOI, author contact information, affiliation, relevant scientific publication, date of submission as well as associated information such as comments, formats, positions of relevant seismic stations etc. The ISC Repository is a new open facility that has a good potential to serve geophysicists for a very long time. This facility is likely to be recognized by scientific journal editors as one of the legitimate independently maintained places for depositing author-processed datasets to satisfy editorial board requirements on open access to data.

REFERENCES

1. *International Seismological Centre* [Site]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/>. – United Kingdom, Thatcham: Internat. Seismol. Centre, 2019.

О ВНУТРИСУТОЧНЫХ ПЕРИОДАХ В СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Д.Г. Таймазов, к.ф.-м.н., М.Г. Магомед-Касумов, к.ф.-м.н.,
Т.И. Шарапудинов, к.ф.-м.н., М.С. Султанахмедов
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

На текущий момент можно считать достоверно установленным существование суточной периодичности в количестве слабых землетрясений во многих регионах мира с максимумом, как правило, вблизи полуночи по локальному солнечному времени [1–3]. Исследование таких короткопериодичных, регулярно повторяющихся процессов играет важную роль в выявлении и количественной оценке причинно-следственных связей сейсмического режима с эндогенными, экзогенными и антропогенными факторами. Из известных методов анализа сейсмичности следует упомянуть предложенную Ю.В. Ризниченко [4] методику расчета сейсмической активности по числу очагов землетрясений, произошедших в единицу времени на единичной площади, и приведенному к определенному диапазону энергетических классов. Другая методика, предложенная Г. Беньоффом [5], основывается на предположении, что деформации пропорциональны корню квадратному из суммарной энергии землетрясений на единицу времени и площади. Общим недостатком этих методов является то, что полученные оценки сейсмической активности или высвобожденных деформаций не вполне адекватно отражают динамику накопления напряжений и энергии упругой деформации в земной коре в период подготовки анализируемых землетрясений, а относятся к моментам их сброса в результате землетрясений. Это затрудняет корреляционный анализ сейсмического процесса с другими сопутствующими геодинамическими процессами. Упомянутые недостатки существующих методов в известной мере устранены в предложенном в [6, 7] способе реконструкции динамических процессов в земной коре. Целью данной работы является апробация предложенного в [6, 7] метода на каталоге сейсмологических наблюдений на 16 станциях региональной сети Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН по территории Восточного Кавказа (41–45°N и 45–49°E) за последние пять лет (2014–2018 гг.). Результаты обработки показали высокую эффективность рассматриваемого метода. В частности, в диапазоне 4–6-х энергетических классов сейсмических событий удается довольно отчетливо выделить суточную и полусуточную гармониками.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сидорин А.Я.* Суточная периодичность землетрясений и ее сезонные изменения // Сейсмические приборы. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 69–84.
2. *Журавлев В.И., Лукк А.А.* Полуденная активизация сейсмичности в Турции и ряде других регионов мира // Геофизические исследования. – 2011. – Т. 12, № 4. – С. 31–57.
3. *Журавлев В.И., Лукк А.А.* Особенности суточной периодичности слабых землетрясений Ирана // Физика Земли. – 2012. – № 1. – С. 63–81.
4. *Ризниченко Ю.В.* Избранные труды. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408 с.
5. *Беньофф Г.* Сейсмические данные о строении коры и тектонической деятельности // Земная кора. – М.: ИЛ, 1957. – С. 76–88.
6. *Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д.* Способ реконструкции динамических процессов в земной коре по сейсмическим наблюдениям // Патент РФ № 2659452. Оpubл. 02.07.2018. – Бюл. № 19. – 6 с.
7. *Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д.* Алгоритм реконструкции динамических процессов в земной коре по сейсмическим наблюдениям // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2015. – Вып. 64. – С. 151–154.

УТОЧНЕНИЕ СКОРОСТНОГО РАЗРЕЗА ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ МЕТОДОМ НАКАМУРЫ НА НОВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ ИДГ РАН

С.А. Тарасов, С.Г. Волосов, Э.М. Горбунова, к.ф.-м.н.,
Г.Н. Иванченко, к.ф.-м.н., О.Ю. Ризниченко, к.ф.-м.н., С.А. Королев, к.т.н.
ИДГ РАН, г. Москва

В 2017 г., в рамках проекта по исследованию глубинного строения центральной части Восточно-Европейской платформы, сотрудниками ИДГ РАН был установлен субширотный сейсмический профиль протяженностью порядка 500 км, включающий в себя новые станции «Александровка» (54.89°N, 35.01°E), «Шатура» (55.21°N, 39.97°E), «Воскресенск» (55.21°N, 38.88°E) и «Монаково» (55.76°N, 42.30°E), а также базовые станции «Обнинск» и «Михнево». Профиль укомплектован трехкомпонентными широкополосными станциями RefTek и Guralp (граничный период – не менее 30 с).

Как показано в [1], для успешного решения задачи восстановления глубинного скоростного разреза необходима как можно более полная информация о скоростных характеристиках осадочной толщи и, в особенности, первых 0.5–1 км. Несмотря на значительную изученность геологического строения Московской синеклизы, сведения о ее скоростном строении основываются на интерполяции и носят обрывочный характер.

Для уточнения скоростного разреза осадочной толщи в непосредственной близости от пунктов регистрации были использованы данные глубокого бурения на минеральные воды и метод Накамуры [2, 3]. Метод использует отношения спектральных амплитуд горизонтальных и вертикальных компонент (H/V отношения) записей микросейсмических колебаний для определения характеристических частот и амплитуд усиления колебаний локального участка. В основе метода лежит предположение о том, что микросейсмические колебания представляют собой поверхностные волны Лява и Релея. В средах различной плотности эти волны затухают неодинаково, что позволяет на качественном уровне оценить разрез осадочной толщи (наличие слоев, неоднородностей и пр.) под точкой регистрации, а также в первом приближении оценить скоростной разрез. Таким образом, для всех станций сети были рассчитаны спектральные отношения (H/V) и определены резонансные частоты, характеризующие реперные горизонты разреза. В частности, для станции «Шатура» был выявлен доминирующий резонансный пик на частоте порядка 1 Гц. Воспользовавшись уравнением из [3], было установлено, что этот пик отвечает глубине порядка 400 м. По данным бурения, выполненного в непосредственной близости от станции, данная граница соответствует границе верхнего девона и нижнего карбона с характерной сменой литологических условий осадка накопления.

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А19-119022090015-6 государственного задания № 01146-2019-0004 и при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-01099).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю., Санина И.А. Скоростная модель западной части Волго-Уралии методом функции приемника // Физика Земли. – 2018. – № 6. – С. 154–169.
2. Nakamura Y.A. Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground // Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute. – 1989. – V. 30. – P. 25–33.
3. Read K., Naggat H.E., Eaton D. Site-response spectra for POLARIS station sites in Southern Ontario and Quebec // Seismol. Res. Lett. – 2008. – V. 79, N 6. – P. 776–784.

ДОБРОТНОСТЬ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВЕП, ОПРЕДЕЛЕННАЯ ПО КОДЕ ВОЛНЫ Lg ПО ДАННЫМ МСГ «МИХНЕВО»

С.А. Тарасов, О.Ю. Ризниченко, к.ф.-м.н., И.А. Санина, д.ф.-м.н.,
А.В. Варыпаев, к.ф.-м.н., Г.А. Воронин
ИДГ РАН, г. Москва

Регистрируемая на региональных расстояниях волна Lg является наиболее мощной высокочастотной фазой на всех трех компонентах записи. В большинстве работ волна Lg моделируется распространением высших мод поверхностных волн в слое земной коры, ее характер существенно зависит от толщины слоя и его структуры. Также предлагают моделировать коду волны Lg как совокупность закритически отраженных S -волн в коровом волноводе. Последний подход позволяет использовать модели однократного рассеяния, разработанные К. Аki, Н. Sato и другими авторами, для построения алгоритмов расчета параметров затухания (добротности) по коду волны Lg . Традиционно добротность представлена степенной зависимостью $Q(f) = Q_0 f^n$, где Q_0 – добротность на частоте 1 Гц и n – показатель степени. Xie и Nuttli предложили метод определения добротности по коду волны Lg по данным одной станции, исключая влияние источника и условий точки наблюдения [1]. Алгоритм SSR (stacked-spectral-ratio) основан на расчете отношения спектров в последовательных временных окнах коды волны Lg .

Для территории Евразии имеющиеся данные по добротности Lg -коды региональных землетрясений представлены в работах Mitchell и др. [2]. Полученные карты пространственного распределения параметров Q и n в центральной части ВЕП имеют низкое разрешение из-за отсутствия сети сейсмических станций и землетрясений на региональных расстояниях.

Малоапертурная группа «Михнево» расположена в центральной части ВЕП и осуществляет мониторинг сейсмических событий различной природы с 2004 г. [3]. Накоплен обширный материал по регистрации крупных промышленных взрывов в карьерах на расстояниях 300–400 км, записи которых обладают относительной стабильностью волновых форм и содержат интенсивные фазы волны Lg . На основе анализа волновых форм серии взрывов на карьере «Михайловский» ($\Delta=330$ км) обсуждается возможность их использования для определения параметров добротности по методу SSR. Исследована зависимость величины добротности от длительности коды, уровня сейсмического шума и частотного диапазона. Отмечены особенности спектрального состава коды волны Lg , связанные предположительно с наличием мощного осадочного слоя в месте расположения группы. Полученные значения Q_0 и n в различных частотных диапазонах более характерны для районов умеренной тектонической активности.

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А19-119022090015-6 государственного задания № 01146-2019-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xie J., Nuttli O.W. Interpretation of high-frequency coda at large distances: Stochastic modeling and method of inversion // Geophys. J. – 1988. – V. 95. – P. 579–595.
2. Mitchell B.J., Cong L., Ekström G. A continent-wide map of 1 Hz Lg coda Q across Eurasia and its relation to lithospheric evolution // J. Geophys. Res. – 2008. – V. 113, N B04303. DOI: 10.1029/2007JB005065.
3. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – С. 287–342.

SEISMIC RISK QUANTIFICATION IN MOLDOVA

S. Troian, Dr. Hab. V. Alcaz
IGS, Chisinau, Moldova

Earthquakes are the natural hazards which can cause material losses, social chaos and casualties. However, effects are not caused by the hazard itself, but by the damages and failure of buildings and engineering structures. In the XX-th century the Vrancea earthquakes caused damages to tens of thousands of buildings, which led to numerous casualties and fatalities. The Moldova's buildings stock is in unsatisfactory condition, 80% of the buildings being built before 1993, and 25% even before 1978 [1]. These buildings represent an imminent danger and considerably contribute to the high seismic risk of the region.

Seismic risk evaluation is a crucial element for the protection of the citizens and infrastructure of the Republic of Moldova. The quality of the building stock is decisive in the process of seismic risk quantification [2]. The article "Seismic Risk" presented below contains a detailed investigation and analysis of the national building stock in order to determine its capacity to withstand future earthquakes. In addition, the seismic risk was evaluated for two earthquake scenarios (similar to the 10.11.1940 event and the worst-case scenario). Determining the seismic risk will allow to quantify the economic, social and environmental damages a future seismic event can cause. The results of this evaluation will also come in hand to government bodies in planning and directing resources into prevention of human and material losses.

REFERENCES

1. **Troian S.** Seismic vulnerability of the building in Moldova. Analyzing the existing methods (*in Romanian*). Vulnerabilitatea seismică a clădirilor din Republica Moldova. Analiza metodelor existente // J. of the Institute of Geology and Seismology. – 2016. – V. 1. – P. 67–77.
2. **Алказ В.Г.** Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска Республики Молдова. – Кишинёв: Elena-VISRL, 2007. – 229 p.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ДЕТАЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

А.В. Федоров, к.ф.-м.н., В.Э. Асминг, к.ф.-м.н.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Анатиты

Архипелаг Шпицберген расположен на северо-западной окраине Восточно-Европейской платформы и сложен разновозрастными осадочными интрузивными и метаморфическими породами. Множество разноранговых разломов пересекают данный район в субмеридиональных и субширотных направлениях. Более половины площади суши архипелага покрыто активными ледниками. Все эти аспекты обуславливают высокий уровень локальной сейсмичности, отражающей экзогенные и эндогенные процессы, проявляющиеся в основном в слабых и умеренных событиях.

Записи региональной сети сейсмических станций характеризуются низким уровнем фонового сейсмического шума, что позволяет уверенно регистрировать слабые сейсмические события отрицательных магнитуд на расстояниях более сотни километров от станций. Применение автоматической системы детектирования и локации сейсмических событий NSDL [1], разработанной в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН для обработки данных местных станций, позволило значительно детализировать картину слабой сейсмичности архипелага. По результатам обработки данных Шпицбергенской сети мониторинга, за 2018 г. системой NSDL выявлено более 35 000 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от -1.6 до 5.7 .

Для полученной выборки сейсмических событий была проведена процедура кластеризации по амплитудным и спектральным параметрам записей. Цель данной работы заключалась в выявлении групп сейсмических событий, порожденных общими физическими процессами. В результате было выделено четыре основных кластера. Первый кластер объединил тектонические события, по большей части произошедшие в пределах срединноокеанического хребта и в зоне афтершоковой активности пролива Стурфьорд. Второй кластер объединил события, ассоциируемые с деструкцией ледников Шпицбергена. В третий кластер попали события, также произошедшие на срединноокеаническом хребте, характеризующиеся значительным доминированием амплитуды P -волн над S -волнами, что может свидетельствовать об особенностях ориентации механизма очага относительно сейсмических станций. Четвертый же кластер составили несколько сотен событий, компактно локализованных в двух небольших областях. События из этого кластера характеризуются высокой частотой сигнала ($12-15$ Гц) и сложной формой записи. Природа генерации этих событий не ясна. Выдвинута гипотеза об их возможной связи с процессами взрывной дегазации осадочного чехла.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В., Евтюгина З.А. Автоматическая система мониторинга региональной сейсмичности NSDL. Принципы построения и некоторые результаты использования // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы // Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 33–37.

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ ЭФФЕКТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ

И.С. Федоров, А.В. Федоров, к.ф.-м.н.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Анапты

Системы одновременной сейсмической и инфразвуковой регистрации применяются при наблюдении сейсмических и инфразвуковых эффектов от активизации и деструкции ледников, схода снежных лавин, оползней, селевых потоков, извержений вулканов, сигналов падения отработанных ступеней ракет-носителей и для контроля их аварийных трасс. Подобные стационарные системы создаются в рамках контроля соблюдения договора всеобъемлющего запрета ядерных испытаний. В то же время существует целый класс задач, где использование стационарных систем затруднительно или полностью невозможно, но при этом оперативное получение данных зачастую крайне необходимо, например, при мониторинге опасных явлений, таких, как образование айсбергов при деструкции кромок выводных ледников вблизи судоходных трасс и т.п.

Устройство, разработанное в Кольском филиале (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН и описанное в данной работе, может использоваться для временных или длительных наблюдений за природными и техногенными процессами, сопровождающимися генерацией сейсмических и инфразвуковых сигналов в труднодоступных районах, не обеспеченных традиционными каналами связи. Оно способно не только регистрировать, но и обрабатывать и передавать данные в центр хранения и обработки по каналам спутниковой связи, в том числе по запросам в диалоговом режиме. Портативность данной системы позволяет проводить регистрацию геофизических сигналов в любом, даже труднодоступном месте.

Конструктивно данная система представляет собой объединенные в одном корпусе одноплатный компьютер, аналогово-цифровой преобразователь, спутниковый модем, GPS-приемник и контроллер управления питанием. Данные, получаемые с датчиков, оцифровываются и предварительно обрабатываются на встроенном компьютере с использованием алгоритмов автоматического детектирования, разработанных в КоФ ФИЦ ЕГС РАН [1]. Это позволяет уменьшить объем передаваемых данных и стоимость использования спутниковой связи. Дистанционное управление позволяет устройству работать в экономичном режиме, проводя регистрацию только в заданные промежутки времени.

Система сейсмоинфразвукового мониторинга, оснащенная созданным устройством, была успешно применена КоФ ФИЦ ЕГС РАН для регистрации падения ступеней ракеты «Ангара» на полигоне «Кура» (п-ов Камчатка), где единственным средством передачи данных является спутниковая связь. Система также использовалась для получения экспериментальных данных при принудительном спуске лавин в Хибинском горном массиве. Также получен опыт применения системы регистрации сейсмических и инфразвуковых эффектов в исследованиях деструкции ледников архипелага Шпицберген [2]. Описанная система зарегистрирована как полезная модель.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асминг В.Э., Гилёва Н.А., Карпинский В.В.* Опыт внедрения системы NSDL в ФИЦ ЕГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 30–34.
2. *Виноградов Ю.А., Асминг В.Э., Баранов С.В., Федоров А.В., Виноградов А.Н.* Сейсмоинфразвуковой мониторинг деструкции ледников (пилотный эксперимент на архипелаге Шпицберген) // Сейсмические приборы. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 5–14.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕД НЕКОТОРЫМИ СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ КАМЧАТКИ

П.П. Фирстов, д.ф.-м.н., Е.О. Макаров, к.ф.-м.н., В.Е. Глухов
КФ ФИЦ ЕГС РАН г. Петропавловск-Камчатский

На полуострове Камчатка работает сеть наклономерных станций, созданных в рамках Российско-Японского проекта РФФИ, где в качестве датчиков используются платформенные двухосевые пузырьковые наклонометры Applied Geomechanics 701-2A [1]. С 2000 г. в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона сетью из шести пунктов осуществляется мониторинг подпочвенного радона (Rn) [2]. Перед двумя землетрясениями района полуострова Камчатка в данных наклономерных и радоновых наблюдений были зарегистрированы синхронные аномалии, которые, по видимому, следует отнести к предвестниковым.

Как правило, аномалии в поле подпочвенного радона связывают с изменением напряженно-деформированного состояния геосреды, обусловленного деформационным процессом. Это хорошо иллюстрирует радоновая аномалия, зарегистрированная перед землетрясением с $M=5.6$, произошедшим 15.10.2012 г. в зоне субдукции в районе п-ова Камчатка, совпадающая по времени с изменением наклонов земной поверхности длительностью около 4 сут., зарегистрированным наклономерной станцией [2].

Перед сильнейшим Охотоморским землетрясением (ОЗ) с $M_w=8.3$, произошедшим 24 мая 2013 г. на глубине 630 км [3], на векторной диаграмме наклонов выделяется краткосрочная аномалия с амплитудой ~ 2.0 мкрад, начавшаяся 28 апреля с последующим резким увеличением наклонов ~ 8 мкрад по обоим каналам 19–20 мая. Данная аномалия отождествляется с краткосрочным предвестником ОЗ. Наклон земной поверхности в процессе развития аномалии изменился с северного направления на северо-восточное, близкое к азимуту 252° на эпицентр ОЗ. После ОЗ направление наклонов сменилось с восточного на западное.

В динамике плотности потока Rn 20 мая 2013 г. четко выделяется аномалия ступенчатой формы, подобных которой ранее за почти четырехлетний период регистрации не наблюдалось. Одновременное возникновение аномалий в поведении наклонов и динамике подпочвенного радона свидетельствует о едином источнике возмущений, предшествующем сильным землетрясениям. Предполагается, что на последней стадии перед землетрясением возможно квазипластичное или катакластическое течение горных масс [4], которое может быть источником так называемых «геодеформационных волн» [2], ставших причиной наблюдавшихся предвестников.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Серветников С.С.** Сеть наклономерных станций. Регистрация поверхностных проявлений деформационных процессов, обусловленных сейсмической и вулканической активностью камчатского региона // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 108–112.
2. **Фирстов П.П., Макаров Е.О.** Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ имени Витуса Беринга, 2018. – 155 с.
3. **Чебров В.Н., Кузнецов Ю.А., Викулина С.А. и др.** Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_w=8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 21, № 1. – С. 17–24.
4. **Ребецкий Ю.Л.** Проблемы тектонофизики. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН / Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. – М.: Изд. ИФЗ РАН, 2008. – С. 359–395.

ТРЕБОВАНИЯ УЧЕТА СДЗК В РАЙОНАХ И НА ПЛОЩАДКАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

**Л.М. Фихиева, к.г.-м.н., А.А. Малофеев, В.В. Меньщикова
ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва**

В Российской Федерации на основе многолетнего опыта размещения, сооружения и эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) разработана нормативная база по учету и мониторингу современных движений земной коры (СДЗК) на всех этапах жизненного цикла ОИАЭ. Одним из важнейших условий обеспечения безопасности ОИАЭ является размещение площадки ОИАЭ в пределах целикового блока земной коры, ненарушенного активными разломами и геодинамическими зонами (п. 3.1 НП-032-01, п. 3.2, 3.3 НП-050-03, Приложение № 3 НП-064-17). Однако воздействие СДЗК на целиковый блок земной коры может приводить к перекосу и крену площадки размещения ОИАЭ и вносить дополнительный вклад в крен и перекося зданий и сооружений, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов оснований. Перекос и крен площадки за счет СДЗК может усугубить суммарный крен, если направление кренов совпадает, или, наоборот, компенсировать, если направления составляющих суммарного крена противоположны.

Необходимость анализа и учета воздействия СДЗК на здания и сооружения ОИАЭ отражены в требованиях п. 3.7 НП-064-17 следующим образом: «Результаты анализа стойкости зданий, систем и элементов ОИАЭ ... должны содержать обоснования превышения проектных пределов ... осадки и крена зданий и сооружений с учетом современных движений земной коры (поверхности) на площадке размещения».

При анализе дополнительного крена зданий и сооружений за счет СДЗК с учетом «эффекта последней капли» логично определять степень опасности воздействия СДЗК на площадке в комплексе с инженерно-геологическими условиями на площадке, прежде всего со свойствами грунтов оснований зданий и сооружений I и II категории ответственности. Например, если здания и сооружения I и II категории ответственности размещаются на грунтах I категории по сейсмическим свойствам, то при относительно небольших осадках и крене зданий и сооружений, можно считать незначительным и несущественным учет фоновых значений вектора градиента скорости СДЗК на площадке. В этом случае возможно исключить проведение мониторинга СДЗК в районе и на площадке, или проводить его по редкой временной схеме. Геодезические наблюдения за осадками и кренами при стабилизации проводятся один раз в пять лет, соответственно и наблюдения за СДЗК рационально проводить один раз в пять лет. И наоборот, если грунты оснований зданий и сооружений I и II категории ответственности относятся ко II категории по сейсмическим свойствам, и если при этом значения расчетных проектных осадок и кренов составляют более 60% от предельно допустимых значений, то, безусловно, необходим строго разработанный и научно обоснованный мониторинг СДЗК на площадке и в районе размещения ОИАЭ.

Данные мониторинга СДЗК в зонах ВОЗ должны использоваться совместно с данными сейсмометрического мониторинга для получения наиболее полной картины тектонической напряженности регионального и локального уровней. Частота измерений этой части мониторинга СДЗК определяется с учетом данных сейсмометрического мониторинга, другими словами, в зависимости от степени и яркости упругих напряжений и их разрядки.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЯСКИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2018 Г. ПО ЗАПИСЯМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

^{1,2}А.С. Фомочкина, к.т.н., ¹Б.Г. Букчин, к.ф.-м.н.

¹ИТПЗ РАН, г. Москва

²РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М., г. Москва

Описывая источник в приближении тензора момента, мы рассматриваем мгновенную точечную сдвиговую дислокацию (двойной диполь) на заданной глубине. Такой источник задается пятью параметрами: глубиной, фокальным механизмом, определяемым углами простирания, падения и подвижки, и сейсмическим моментом [1, 2]. Четыре первых параметра мы определяем прямым перебором их возможных значений на сетке в параметрическом пространстве, а пятый параметр – минимизируя отличия наблюдаемых длиннопериодных амплитудных спектров поверхностных волн от их теоретических значений. Как известно, фокальный механизм не может быть однозначно определен из амплитудных спектров поверхностных волн, и для выбора оптимального решения мы использовали в качестве дополнительной информации знаки первых вступлений.

Переходя к рассмотрению более коротких периодов, мы описываем очаг в приближении вторых моментов тензора плотности момента и получаем интегральные оценки протяженности, ориентации очага и его развития во времени. С помощью данной методики были изучены два Аляскинских землетрясения, произошедшие в 2018 г.: одно с магнитудой $M_w=7.9$ – в январе (модель данного землетрясения подробно описана в [3]), и второе с $M_w=7.1$ – в ноябре. На основании полученных оценок фокальных механизмов и вторых моментов для обоих событий была определена возможность идентификации плоскости разлома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букчин Б.Г., Левшин А.Л., Ратникова Л.И., Дост Б., Нолет Г. Оценка пространственно-временных характеристик очага Спитакского землетрясения по широкополосным записям поверхностных волн // Проблемы прогноза землетрясений и интерпретация сейсмических данных. Вычислительная сейсмология. – Вып. 25. – М.: Наука, 1992. – С. 238–250.
2. Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponnier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R. Source parameters and tectonic origin of the June 1st, 1996 Tianzhu ($M_w=5.2$) and July 21st, 1995 Yongden ($M_w=5.6$) earthquakes, near Haiyuan fault (Gansu, China) // Geophys. J. Int. – 2001. – V. 144. – P. 206–220.
3. Фомочкина А.С., Букчин Б.Г. Построение модели Аляскинского землетрясения 2018 г. по спектрам поверхностных волн // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 282–286.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТУДЫ $MPVA$ ПО ЗАПИСЯМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА

А.Г. Фролова, к.ф.-м.н., А.В. Берёзина, Е.В. Першина
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В Кыргызстане для определения величины землетрясения, кроме энергетического класса K_p [1], используется магнитуда $MPVA$ по продольным волнам, в основе которой лежит калибровочная кривая, полученная Н.Н. Михайловой и Н.П. Неверовой в 1986 г. [2]. Для построения этой калибровочной функции использовались записи землетрясений Казахстана и Кыргызстана в диапазоне энергетических классов $K_p=7-12$. С тех пор на территории Тянь-Шаня произошло много сильных землетрясений, накоплен большой экспериментальный материал.

Цель наших исследований заключалась в оценке соответствия калибровочной функции [2] современным данным. Для ее решения было использовано 577 карточек обработки записей землетрясений за период наблюдений с 2012 по 2018 год. Для каждого землетрясения строились графики затухания с расстоянием величин $(A_p/T_p)_{max}$, где A_p – амплитуда колебаний по записи продольной волны на каждой станции, T_p – соответствующий ей период.

Построение калибровочной функции проводилось в два этапа. На первом этапе графики объединялись по энергетическим классам с учетом эпицентрального расстояния и значений $(A_p/T_p)_{max}$, и для каждого энергетического класса определялась средняя кривая затухания. На втором этапе центры тяжести, составляющие кривые затухания разных энергетических классов, сводились к одному уровню. Выполнялось это таким образом, чтобы дисперсия точек была минимальной для всего рассмотренного диапазона расстояний. Привязка калибровочной кривой по уровню выполнена в соответствии с ее значениями на расстояниях 200 и 300 км, как это было сделано в [2].

Выполнено сравнение полученной калибровочной кривой с используемой до сих пор [2]. Расхождение между двумя кривыми наблюдается в начальной части на расстояниях до 30 км. Эта часть кривой представлена, в основном, не сильными ($K_p \leq 9$) высокочастотными толчками с большим затуханием сейсмических волн. В целом максимальные расхождения двух кривых на эпицентральных расстояниях $\Delta \geq 30$ км не превышают 0.2 единицы магнитуды, т.е. находятся в пределах точности определения этой величины.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант МНТЦ ISTC#KR 2398).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Раутиан Т.Г.* Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. – М.: Наука, 1964. – № 32 (199). – С. 88–93.
2. *Михайлова Н.Н., Неверова Н.П.* Калибровочная функция $\delta(\Delta)$ для определения магнитуды $MPVA$ землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные сейсмологические исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата, 1986. – С. 41–49.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ СЕВЕРО-МУЙСКОГО РАЙОНА БРЗ МЕТОДОМ ПРИЕМНОЙ ФУНКЦИИ

^{1,2}М.А. Хритова, к.т.н., ²В.В. Мордвинова, д.г.-м.н.,
¹Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н., ^{1,2}М.М. Кобелев
¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск
²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Северо-Муйский район Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) всегда отличался повышенной сейсмичностью. В 2014 г. в районе Муяканского хребта в 25 км к юго-востоку от Восточного портала Северомуйского туннеля возникла новая крупная сейсмическая активизация, и это послужило основанием для развертывания временной сети сейсмических наблюдений [1]. За два месяца наблюдений удалось с хорошим качеством записать сильные телесеismicкие события, удовлетворяющие методу продольной приемной функции [2], что позволило провести исследование глубинной структуры в Северо-Муйском районе с целью определения возможной причины сейсмической активизации. По сейсмограммам временных пунктов наблюдений и стационарной станции SVKR были выделены продольные приемные функции (P -to- S) [2]. Используя процедуру инверсии приемных функций, рассчитаны горизонтально-слоистые модели скоростной структуры до глубины 75 км для всех пунктов наблюдения [3]. В качестве первого приближения использована ступенчатая функция скорости, моделирующая усредненный сейсмический разрез для Саяно-Байкальской горной области [4]. На основании полученных одномерных моделей $V_S(H)$ методом линейной интерполяции и триангуляции получено двумерное распределение сейсмических скоростей – вертикального сечения коры и верхов мантии для профиля «TN1–ULG» протяженностью 45 км.

На двумерном скоростном разрезе обнаруживается сложная структура коры и мантии. Коромантийная граница – почти плоская вдоль всей линии профиля при толщине коры 42 км, а под Северо-Муйским хребтом наблюдается ее утолщение до 46 км. Под Муяканской впадиной верхние 8 км разреза являются низкоскоростными, в чем, видимо, проявляются не только осадки, но и массив гранитоидов. Исключением является высокоскоростная линза ($V_S=3.6–3.7$ км/с) в интервале глубин 3–6 км, которая может свидетельствовать о довольно жестком блоке под осадками станции ARK. Закономерно, что землетрясения Муяканской активизации пространственно совпадают с этим высокоскоростным включением. Более массивное высокоскоростное включение ($V_S=3.7$ км/с) наблюдается и под самим Северо-Муйским хребтом. Повышенные скорость и плотность на глубинах 3–20 км, а также резкие контрасты этих параметров на границах слоев в значительной мере объясняют высокую сейсмогенность этого района.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гилёва Н.А., Масальский О.К., Кобелева Е.А. Эпицентральная область Муяканской последовательности землетрясений (Бурятия) // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 103–107.
2. Vinnik L.P. Detection of waves converted from P to S in the mantle // Phys. Earth Planet. Inter. – 1977. – V. 15. – P. 39–45.
3. Kosarev G.L., Petersen N.V., Vinnik L.P., Roecker S.W. Receiver functions for the Tien Shan analog broadband network: contrast in the evolution of structures across the Talasso-Fergana fault // J. Geophys. Res. – 1993. – V. 98, N B3. – P. 4437–4448.
4. Детальные сейсмические исследования литосферы на P - и S -волнах / Ред. Н.Н. Пузырев. – Новосибирск: Наука, 1993. – 199 с.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ "DRUMBEATS", ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ДВИЖЕНИЕМ ВЯЗКОГО ЛАВОВОГО ПОТОКА ПРИ ИЗВЕРЖЕНИИ ВУЛКАНА КИЗИМЕН В 2011 Г.

А.А. Шакирова, П.П. Фирстов, д.ф.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Иногда выжимание экструзивных куполов и вязких лавовых потоков на андезитодацитовых вулканах сопровождается слабыми вулканическими землетрясениями с магнитудами <3 (энергетический класс $K_S < 10$). Такие землетрясения имеют близкие волновые формы, регистрируются с квазипериодичностью от нескольких секунд до минут и названы режимом "drumbeats" – барабанный бой [1].

Во время извержения вулкана Кизимен (полуостров Камчатка) в 2010–2013 гг. происходило выжимание вершинной экструзии с возникновением обломочных лавин и выжимание мощного вязкого лавового потока площадью 2.16 км^2 и объемом 0.195 км^3 [2]. За несколько часов до сильнейших эксплозий 9 декабря 2010 г. ближайшей сейсмостанцией KZV, расположенной в 2.5 км от кратера, были зарегистрированы квазипериодичные микроземлетрясения с $K_S=2-3$. Такой сейсмический режим наблюдался для вулканов Камчатки впервые [3]. Появление микроземлетрясений свидетельствовало о поступлении первой порции вязкой лавы в постройку вулкана. В начале извержения в 2011 г. длительные последовательности микроземлетрясений (мультиплеты) часто заканчивались эксплозивными извержениями и образованием пирокластических потоков. Микроземлетрясения мультиплетов можно было отнести к гибридным и длиннопериодным по классификации вулканических землетрясений [4].

Два наиболее сильных мультиплета были зарегистрированы в мае-июне и июле-сентябре 2011 г., когда происходило движение мощного вязкого лавового потока на юго-восточном склоне вулкана. В этот период мультиплеты были образованы землетрясениями с $3.3 < K_S < 5.6$, что позволило определить гипоцентры 35 событий. Гипоцентры локализовались вблизи контура лавового потока на глубинах $1.4 \pm 0.5 \text{ км}$ н.у.м., т.е. вблизи образующей конуса вулкана. Это дало основание считать, что землетрясения режима "drumbeats" генерируются движением лавового потока по склону вулкана. Спектральная плотность мощности микроземлетрясений "drumbeats" заключена в пределах $f=1.5-5.0 \text{ Гц}$ со спектральными максимумами на частотах $f \sim 1.8$ и $\sim 3 \text{ Гц}$. По-видимому, механизмом зарегистрированных землетрясений могла быть неустойчивая подвижка с трением (stick-slip) [5].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sherrod D.R., Scott W.E., Stauffer P.H., et al.* A volcano rekindled: the renewed eruption of Mount St. Helens, 2004-2006 // U.S. Geological Survey Professional Paper. – 2008. – 856 p.
2. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В., Шевченко А.В., Свирид И.Ю.* Извержение 2010–2012 гг. вулкана Кизимен – самое продуктивное (по данным дистанционных наблюдений) на Камчатке в начале XXI века. Часть I. Этап 11.11.2010-11.12.2011 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 6. – С. 3–21.
3. *Фирстов П.П., Шакирова А.А.* Особенности сейсмичности в период подготовки и в процессе извержения вулкана Кизимен (Камчатка) в 2009–2013 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 4. – С. 3–20.
4. *Zobin V.M.* Introduction to volcanic seismology. Third edition. – Elsevier: Amsterdam, 2017. – 547 p.
5. *Fremont M., Malone S.D.* High precision relative location of earthquakes at Mount St. Helens, Washington // J. Geophys. Res. – 1987. – V. 92. – P. 10223–10236.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ КАТАВ-ИВАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 04.09.2018 Г.

¹Д.Ю. Шулаков, к.т.н., ²Ф.Г. Верховланцев
¹«ГИ УрО РАН», г. Пермь
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

4 сентября 2018 г. в 22:58 по Гринвичу (03:58 местного времени) недалеко от города Катав-Ивановска (Челябинская область) произошло наиболее сильное из инструментально зафиксированных на территории Урала землетрясений. Локальная магнитуда (ML) данного сейсмического события, рассчитанная по записям Уральской региональной сети [1], составила 5.4. Оценка магнитуды по объемным волнам (m_b), определенная на телесеismicких расстояниях ФИЦ ЕГС РАН, EMSC и USGS, оказалась одинаковой и также составила 5.4. Интенсивность данного землетрясения в эпицентре I_0 превысила 6 баллов по шкале MSK-64, оно ощущалось на расстоянии до 400 км.

Характерной особенностью данного землетрясения стал выраженный афтершоковый процесс, что ранее для ощутимых Уральских землетрясений [2, 3] не наблюдалось. Приведенный в [2] возможный афтершок (08.04.2010 г. с $ML=2.0$) Качканарского землетрясения (29.03.2010 г. с $ML=3.9$) был зафиксирован на пределе регистрационных возможностей региональной сети, и качество данных не позволяет однозначно определить принадлежность его к афтершоковому процессу данного землетрясения.

Уровень представительной регистрации региональной сети для эпицентральной зоны Катав-Ивановского землетрясения составляет $ML>2.5$, что не позволяет полноценно изучить обнаруженный афтершоковый процесс. В связи с этим вблизи эпицентра сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН и «ГИ УрО РАН» была развернута локальная сеть из трех станций. Уровень ее представительной регистрации составил $ML\geq 0.2$. За трое суток после главного толчка сетью было зарегистрировано 76 афтершоков, часть из которых имела макросейсмические проявления. В связи с этим локальная сеть была преобразована во временно действующую с частичной заменой регистрирующей аппаратуры, установкой комплектов передачи данных и систем бесперебойного питания. За шесть месяцев наблюдений временной сетью станций было зарегистрировано более 200 афтершоков, в том числе сильнейший афтершок 19.11.2018 г. в 07:48:25 ($ML=4.4$, $I_0=5$). Установленная сеть временных станций позволила в полном объеме зарегистрировать первую в сейсмической истории Урала афтершоковую последовательность сильнейшего землетрясения. Также впервые в истории изучения Уральских землетрясений получены акселерограммы непосредственно в эпицентральной зоне сильного землетрясения, что позволит установить достоверную связь между сейсмической интенсивностью и ускорениями скорости смещения грунта для Уральского региона.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сейсмологический мониторинг Западного Урала* [Электронный ресурс]. – URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>.
2. *Дягилев Р.А., Верховланцев Ф.Г., Голубева И.В.* Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с $K_p=12.1$, $M_w=4.4$, $I_0=5$ (Урал) // *Землетрясения Северной Евразии*, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 336–346.
3. *Гусева Н.С., Дягилев Р.А., Верховланцев Ф.Г.* Макросейсмическое поле Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г. // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных*. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 125–129.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РЕГИСТРАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ СЕЙСМОМОНИТОРИНГА УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Д.Ю. Шулаков, к.т.н., А.С. Мурыськин
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

При проведении сейсмологического мониторинга крайне важно иметь четкое представление о регистрационных возможностях сейсмической сети. Эта информация необходима как для корректного понимания особенностей пространственного распределения очагов регистрируемых сейсмических событий, так и для достоверной количественной оценки параметров сейсмичности.

Наиболее надежными подходами к решению этой задачи являются основанные на анализе сейсмических каталогов и станционных бюллетеней. Однако, несмотря на высокую степень достоверности, подобный подход имеет существенные ограничения. В первую очередь, его использование затруднено на территориях с низким уровнем сейсмической активности, и он практически неприменим для проектирования новых мониторинговых систем, когда требуется провести прогнозный расчет.

В связи с этим нами был выбран другой подход, базирующийся на сравнении амплитудно-частотных спектров микросейсмических шумов в месте установки станции и модельных спектров сейсмических событий. Идея его заключается в расчете очагового спектра с использованием модели Брюна [1]. Изменение формы спектра по мере продвижения фронта волны определяется добротностью среды Q . Для корректировки амплитуды спектра модельного сигнала была использована формула расчета локальной магнитуды, адаптированная для Уральского региона [2], однозначно связывающая амплитуду сейсмической волны с магнитудой и расстоянием. Зная спектр микросейсмических шумов, можно получить отношение «сигнал/помеха» и определить, будет ли данное сейсмическое событие обнаружено этой станцией. Безусловным преимуществом такого подхода является то, что для расчета необходимо знать только среднюю добротность среды и спектры микросейсмических шумов в местах установки станций. Кроме того, есть возможность рассчитать влияние предварительной фильтрации сейсмического сигнала на регистрационные возможности. На основании данной методики был выполнен уточненный расчет чувствительности сети сейсмологического мониторинга Уральского региона, а также оптимизированы граничные частоты полосовых фильтров, используемых в алгоритме выделения полезных сейсмических сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brune J.N.* Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // *J. Geophys. Res.* – 1970. – V. 75, N 26. – P. 4997–5009.
2. *Маловичко Д.А., Иванова Ю.В.* Калибровка шкалы локальных магнитуд M_L для Западно-Уральского региона // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы.* – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 103–107.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

Краткое название организации	Полное название организации	Город
<i>Зарубежные организации</i>		
ИГИС НАН РА	Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения	г. Ереван, Республика Армения
ИГС АНМ IGS	Институт геологии и сейсмологии Академии наук Молдовы. Institute of Geology and Seismology	г. Кишинёв, Республика Молдова
ИГССС АН РТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан	г. Душанбе, Республика Таджикистан
ИГФ НАНУ	Институт геофизики им. Субботина С.И. Национальной академии наук Украины	г. Киев, Украина
ИОНХ НАН РА	Институт общей и неорганической химии имени академика Манвеляна М.Г. Национальной академии наук Республики Армения	г. Ереван, Республика Армения
ИС НАН КР	Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики	г. Бишкек, Кыргызская Республика
ЦГМ НАН Беларуси	Государственное учреждение «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси»	г. Минск, Республика Беларусь
ARS	Academy of Romanian Scientists	г. Бухарест, Румыния
IGR	Geological Institute of Romania	г. Бухарест, Румыния
Institute of Earth Science, Ilia State University	Institute of Earth Science and Seismic Monitoring Center, Ilia State University	Tbilisi, Georgia
IGS NAS RA	Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Armenia	Yerevan, Armenia
ISC	International Seismological Center	г. Татчем, Великобритания
LEGMC	Latvian Environment, Geology and Meteorology Center	г. Рига, Латвия
Michigan State University	Michigan State University	East Lansing, Michigan, USA
Nanometrics Inc	Nanometrics Incorporated	г. Сокорро, США; г. Каната, Канада
NIEP	National Institute for Earth Physics	г. Магуреле, Румыния
Oregon State University	Oregon State University	Corvallis, Oregon, USA
RSSC ANAS	Republican Seismic Survey, Azerbaijan Academy of Science	Baku, Azerbaijan
Taiwan Tech.	National Taiwan University of Science and Technology	г. Тайпей, Тайвань

Краткое название организации	Полное название организации	Город
Trimble Inc.	Trimble Incorporated	Plano, Texas, USA
University of Missouri-Columbia	University of Missouri-Columbia	Columbia, Missouri, USA
URBAN-INCERC	National Institute for Research and Development in Constructions, Urbanism and Sustainable Spatial Development URBAN-INCERC	г. Бухарест, Румыния
<i>Российские организации</i>		
ФИЦ ЕГС РАН GS RAS	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences	г. Обнинск Obninsk
БФ ФИЦ ЕГС РАН	Байкальский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Иркутск
БуФ ФИЦ ЕГС РАН	Бурятский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Улан-Удэ
ДФ ФИЦ ЕГС РАН	Дагестанский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Махачкала
КФ ФИЦ ЕГС РАН	Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Петропавловск-Камчатский
КоФ ФИЦ ЕГС РАН	Кольский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Апатиты
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН	Сейсмологический филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
СФ ФИЦ ЕГС РАН	Сахалинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Южно-Сахалинск
СОФ ФИЦ ЕГС РАН	Северо-Осетинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Владикавказ
«ГИ УрО РАН» MI UB RAS	«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Mining Institute Ural Branch Russian Academy of Sciences	г. Пермь Perm

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ГИН СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук	г. Улан-Удэ
ИВиС ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Петропавловск-Камчатский
ИВМиМГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИГ КарНЦ РАН	Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»	г. Петрозаводск
ИГ Коми НЦ УрО РАН	Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»	г. Сыктывкар
ИДГ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер Российской академии наук	г. Москва
ИЗК СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук	г. Иркутск
ИЗМИРАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Пушкова Н.В. Российской академии наук	г. Москва, г. Троицк
ИНГГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИТПЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук	г. Москва
ИФЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. Шмидта О.Ю. Российской академии наук	г. Москва
МФТИ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»	г. Долгопрудный
ООО НПК «ВУЛКАН»	Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная компания «ВУЛКАН»	г. Москва
ООО «Р-сенсорс»	Общество с ограниченной ответственностью «Р-сенсорс»	г. Долгопрудный

Краткое название организации	Полное название организации	Город
РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М.	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени Губкина И.М.»	г. Москва
СВГУ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный государственный университет»	г. Магадан
СВКНИИ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Шилов Н.А. Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Магадан
СПбГУ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»	г. Санкт-Петербург
ФБУ «НТЦ ЯРБ»	Федеральное государственное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»	г. Москва
ФГБОУ ВО «ВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»	г. Воронеж
ФГБУН ФИЦКИА РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Российской академии наук	г. Архангельск
Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция»	Филиал акционерного общества «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция»	г. Курчатов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдыраева Бактыгуль Сарбагышовна

гл. инженер Центра обработки данных
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
baktygul1067@mail.ru

Абкадыров Ильяс Фаритович

науч. сотр.
ИВиС ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский,
aifgf@mail.ru

Агафонов Вадим Михайлович

канд. физ.-мат. наук, доцент
МФТИ,
г. Долгопрудный
agvadim@yandex.ru

Адилов Зарахман Ашуралиевич

зав. отд.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
adilov79@mail.ru

Алёшин Игорь Михайлович

канд. физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
ima@ifz.ru

Антоновская Галина Николаевна

д-р техн. наук, зам. директора
ФГБУН ФИЦКИА РАН,
г. Архангельск
galina.antonovskaya@gmail.com

Арнаут Николай Алексеевич

канд. геол. наук, вед. науч. сотр.
ИГС АНМ,
г. Кишинёв, Молдова
arnaut_nic@mail.ru

Аронов Аркадий Гесселевич

д-р физ.-мат. наук, зав. обсерв.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
aronov@cgm.org.by

Аронов Геннадий Аркадьевич

директор, аспирант
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
aronovg@tut.by

Арутюнян Левон Варганович

канд. геол. наук, зав. лаб.
ИОНХ НАН РА,
г. Ереван, Армения
levonharutyunyan25@rambler.ru

Асманов Осман Абдуллаевич

канд. физ.-мат. наук, зав. отд.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
asekovaz@bk.ru

Асминг Владимир Эрнестович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
asmingve@mail.ru

Ассиновская Бэла Александровна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
assin.bela@gmail.com

Ахмедова Мадина Магомедовна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
akhmedik89@yandex.ru

Бабкина Вера Федоровна

зав. сект.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
vera@gsras.ru

Багаева Софья Сергеевна

нач. сект.
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
sonybag@yandex.ru

Багманова Наиля Ханнановна

ст. науч. сотр.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
bagmanova@list.ru

Бадальян Дмитрий Герасимович

зав. отд.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
dbad@gsras.ru

Баранов Сергей Владимирович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
basr.vl@gmail.com

Белотелов Константин Сергеевич

инженер
ООО «Р-сенсорс»,
г. Долгопрудный
costia.17@gmail.com

Берёзина Анна Викторовна

начальник
Центра данных ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
annaberezina8@gmail.com

Боровик Сергей Борисович

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
geospektr@yandex.ru

Бугаев Александр Степанович

академик РАН, зав. кафедрой
МФТИ,
г. Долгопрудный
bugaev@cplire.ru

Букчин Борис Григорьевич

канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИТПЗ РАН,
г. Москва
bukchin@mitp.ru

Бурмин Валерий Юрьевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
burmin@ifz.ru

Буртиев Рашид Зетович

д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИГС АНМ,
г. Кишинёв, Молдова
burtievrashid@gmail.com

Бутырин Павел Генрихович

канд. техн. наук, науч. сотр.
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
pbg2000@mail.ru

Ваганова Наталья Владиславовна

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА РАН,
г. Архангельск
nvag@yandex.ru

Варлашова Юлия Викторовна

вед. инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
ula17@mail.ru

Варыпаев Александр Вячеславович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
avalex89@gmail.com

Верхоланцев Александр Викторович

вед. инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
vercholancev@gmail.com

Верхоланцев Филипп Геннадьевич

науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
sombra@mail.ru

Винник Лев Павлович

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН, г. Москва
vinnik@ifz.ru

**Виноградов Юрий Анатольевич
(Vinogradov Yuriy A.)**

канд. техн. наук, директор
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
yvin@gstras.ru

Владимирова Ирина Сергеевна

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
науч. сотр. МФТИ,
г. Долгопрудный
vladis@gstras.ru

Волосов Сергей Георгиевич

ст. науч. сотр.
ИДГ РАН, г. Москва
volosovc@mail.ru

Воронин Глеб Олегович

техник
ИДГ РАН,
г. Москва
tarasovidgran@mail.ru

Воропаев Петр Валентинович

науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
chicoli@emsd.ru

Габсатаров Юрий Владимирович

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
науч. сотр. МФТИ,
г. Долгопрудный
yuryg@gstras.ru

Габсатарова Ирина Петровна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.,
зав. лаб. ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
ira@gstras.ru

Гайдай Наталия Константиновна

канд. геол.-мин. наук, доцент,
директор ПИ СВГУ;
ст. науч. сотр.
СВКНИИ ДВО РАН,
г. Магадан
nataly_mag@rambler.ru

Ганнибал Андрей Евгеньевич
аспирант, стажер-исследователь
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
han_a_e@mail.ru

Гарагаш Игорь Александрович
д-р физ.-мат. наук, профессор,
зав. лаб., гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
garagash@mail.ru

Гилёва Надежда Алексеевна
нач. отдела
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
nagileva@crust.irk.ru

Гинсарь Виктория Николаевна
д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИГС АНМ,
г. Кишинёв, Молдова
ginvictoria@yandex.ru

Глухов Виталий Евгеньевич
инженер I кат.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
glukhov_v@emsd.ru

Гоев Андрей Георгиевич
мл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
a.g.goev@gmail.com

Горбунова Элла Михайловна
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
emgorbunova@bk.ru

Горожанцев Сергей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, директор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
sgor@gsras.ru

Гребенникова Валентина Васильевна
ст. науч. сотр.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
grvalentina@mail.ru

Гричуха Константин Васильевич
вед. инженер
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
k.grichuha@yandex.ru

Гусева Наталья Сергеевна
вед. инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
natali.guseva.2010@mail.ru

Дмитриева Изольда Юрьевна
вед. инженер
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
iza_ka@mail.ru

Дубянский Александр Игоревич
канд. геол.-мин. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Дягилев Руслан Андреевич
(**Dyagilev Ruslan A.**)
канд. физ.-мат. наук, зам. директора
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
dra@gsras.ru

Ежова Ирина Трофимовна
инженер-геофизик
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Ефременко Марина Алексеевна
канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
2880@mail.ru

Завьялов Алексей Дмитриевич
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.,
зав. лаб.
ИФЗ РАН,
г. Москва
zavyalov@ifz.ru

Зверева Анастасия Сергеевна
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
voitova.as@gmail.com

Золототрубова Элеонора Ивановна
инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Зуева Ирина Александровна
ст. лаборант-исследователь
ИГ КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
ek92wa@mail.ru

Иванов Станислав Дмитриевич
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
f0ma@ifz.ru

Иванченко Галина Николаевна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН, г. Москва
ivanchenko@idg.chph.ras.ru

Ильясова Зухра Гуловна
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИГССС АН РТ,
г. Душанбе, Таджикистан
zuhra.ilyasova60@gmail.com

Исичко Евгений Семенович
науч. сотр.
ИГС АНМ,
г. Кишинёв, Молдова
eisichko@yandex.ru

Калинина Элеонора Владимировна
инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН;
инженер-исследователь
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж;
аспирант ИДГ РАН, г. Москва
elakalinina@gmail.com

Каменская Ольга Петровна
вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
olga@gstras.ru

Карапетян Джон Костикович
канд. геол. наук, директор
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
jon_iges@mail.ru

Карданец Владлен Юрьевич
докторант, науч. сотр.
ИГС АНМ,
г. Кишинёв, Молдова
igs-seismolab@yandex.ru

Каримов Фаршед Хилолович
д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИГССС АН РТ,
г. Душанбе, Таджикистан
farshed_karimov@rambler.ru

Карпинская Ольга Валентиновна
канд. хим. наук, инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
okarpinskaya@gmail.com

Карпинский Владимир Вадимович
вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
karp@plkv.gstras.ru

Кичигин Максим Викторович
инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
kichiginmv@mi-perm.ru

Кобелев Михаил Михайлович
нач. отд.
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
kobelevmm@crust.irk.ru

Кобелева Елена Анатольевна
канд. физ.-мат. наук, директор
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
ekobeleva@crust.irk.ru

Комаринский Евгений Владимирович
вед. инженер
АО «Концерн Росэнергоатом»
«Курская атомная станция»,
г. Курчатов
ekomarinskij@yandex.ru

Комзелева Виктория Павловна
инженер-исследователь
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск,
ivan.science@gmail.com

Конечная Яна Викторовна
канд. техн. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН;
ст. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА РАН,
г. Архангельск
yanakon@mail.ru

Константиновская Наталия Львовна
науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
konstnat@list.ru

Копылова Галина Николаевна
д-р геол.-мин. наук,
гл. науч. сотр., зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
gala@emsd.ru

Королева Татьяна Юрьевна
канд. физ.-мат. наук, инженер
ФИЦ ЕГС РАН;
доцент СПбГУ,
г. Санкт-Петербург
tatiana.yu.kor@gmail.com

Королецьки Людмила Николаевна
вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
korol@gstras.ru

Королёв Сергей Анатольевич
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
sakorolyov@bk.ru

Косарев Григорий Леонидович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
kosarev@ifz.ru

Крумбан Владимир Владимирович
инженер I кат. – рук. с/с «Пулково»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
kvv@plkv.gsras.ru

Кугаенко Юлия Александровна
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
ku@emsd.ru

Кулаков Иван Юрьевич
д-р. геол.-мин. наук, проф., зав. лаб.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск,
ivan.science@gmail.com

Куликов Владимир Иванович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
kulikov@idg.chph.ras.ru

Лисейкин Алексей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
lexik1979@mail.ru

Лиходеев Дмитрий Владимирович
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН, г. Москва
dmitry@ifz.ru

Лыскова Евгения Леонидовна
канд. физ.-мат. наук, доцент
СПбГУ,
г. Санкт-Петербург
jllyskova@gmail.com

Магомедов Хаскил Джарулаевич
директор
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
haskil@dbgsras.ru

Магомед-Касумов
Магомедрасул Грозбекович
канд. физ.-мат. наук, зам. директора
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
rasuldev@gmail.com

Макаров Евгений Олегович
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
ice@emsd.ru

Маловичко Алексей Александрович
(Malovichko Alexey A.)
член-корреспондент РАН,
научный руководитель
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
amal@gsras.ru

Малофеев Алексей Александрович
науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
malofeev@secnrs.ru

Мельникова Валентина Ивановна
д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
ИЗК СО РАН;
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
vimel@crust.irk.ru

Меньщикова Виктория Викторовна
мл. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
babchenko@secnrs.ru

Милехина Александра Михайловна
инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
amilekhina@gsras.ru

Михеева Анна Владленовна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН;
науч. сотр.
ИВМиМГ СО РАН,
г. Новосибирск
anna@omzg.sccc.ru

Молдобекова Садира
техн. руководитель
Центра данных ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
kis@mail.elcat.kg

Морару Константин Ефимович
д-р геол.-мин. наук, зав. лаб.
ИГС АНМ,
г. Кишинёв, Молдова
storaru@yahoo.com

Мордвинова
Валентина Владимировна
д-р геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
mordv@crust.irk.ru

Мунирова Лира Мирхатовна
инженер I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
liamrita7@gmail.com

Морозов Алексей Николаевич
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
вед. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА РАН,
г. Архангельск
morozovalexey@yandex.ru

Муралиев Абдирашит Муркамилович
д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
abmuraliev@mail.ru

Муродкулов Шохрух Якубович
канд. геол.-мин. наук, зам. директора
ИГССС АН РТ,
г. Душанбе, Таджикистан
shohruxh.m@mail.ru

Мурыськин Алексей Сергеевич
инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
muriskinas@gmail.com

Надёжка Людмила Ивановна
канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ФГБОУ ВО «ВГУ»;
зав. лаб.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Неешпапа Александр Владимирович
инженер
МФТИ,
г. Долгопрудный
alexn@r-sensors.ru

Нестеркина Маргарита Алексеевна
ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
nes-rita@yandex.ru

Никулин Валерий Георгиевич
д-р геологии, сейсмолог
LEGMC,
г. Рига, Латвия
valerijs.nikulins@lvgmc.lv

Носкова Наталия Николаевна
канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ИГ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
nataliyageo@mail.ru

Овсов Михаил Константинович
канд. техн. наук, мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
mkovsov@mail.ru

Омукеева Бактыгул Садыровна
вед. инженер
Центра данных ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
bakulya.197206@gmail.com

Омурбек кызы Канышай
инженер I кат.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
kanyshaj.omurbekkyzy@bk.ru

Павлов Виктор Михайлович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
pvm@emsd.ru

Панас Наталья Михайловна
инженер I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
natagold-86@inbox.ru

Пашаян Ромела Артаваздовна
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
romellapashayan@sci.am

Першина Елена Владимировна
гл. геофизик
Центра данных ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
rev_71@mail.ru

Петрова Наталия Владимировна
канд. физ.-мат. наук, уч. секр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
npetrova@gstras.ru

Пивоваров Роман Сергеевич
инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
Q5000@mail.ru

Пивоваров Сергей Павлович
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
serg@geophys.vsu.ru

Пойгина Светлана Германовна
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
sveta@gstras.ru

Пономарева Наталия Лаврентьевна
науч. сотр. – рук. с/с «Махачкала»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
NatalyMak@yandex.ru

Протасовицкая Татьяна Анатольевна
науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
protasovickaya@cgm.org.by

Пятунин Михаил Сергеевич
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
mishkas30@yandex.ru

Радзиминович Ян Борисович
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИЗК СО РАН;
ст. науч. сотр.
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
ian@crust.irk.ru

Разинков Олег Георгиевич
канд. физ.-мат. наук, директор
ООО НПК «ВУЛКАН»,
г. Москва
orazinkov@vulcan-inc.ru

Ризниченко Оксана Юрьевна
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
oksanastr@mail.ru

Саидов Омар Абакарович
канд. геол.-мин. наук, зав. отд.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
omarsaidov1@yandex.ru

Саломов Нусратулло Гафурович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИГССС АН РТ,
г. Душанбе, Таджикистан
seismtadj@rambler.ru

Салтыков Вадим Александрович
д-р физ.-мат. наук, доцент, зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
salt@emsd.ru

Санжиева Дарима Пурба-Доржиевна
аспирант
ГИН СО РАН;
инженер
БуФ ФИЦ ЕГС РАН
г. Улан-Удэ
gindarima@mail.ru

Санина Ирина Альфатовна
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
irina@idg.chph.ras.ru

Сафронич Игорь Николаевич
вед. инженер
ФГБОУ ВО «ВГУ»;
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
igor@geophys.vsu.ru

Саяпина Анна Анатольевна
нач. сект.
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
perev-anna@yandex.ru

Сдельникова Ирина Александровна
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
sdelnikova@gstras.ru

Селезнев Виктор Сергеевич
д-р геол.-мин. наук, директор
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
svs0428@mail.ru

Семенова Елена Петровна
нач. сейсм. станции
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
semenova@seismo.sakhalin.ru

Семенов Александр Евгеньевич
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН;
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Семенов Андрей Михайлович
инженер
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Семенов Михаил Евгеньевич
д-р физ.-мат. наук, профессор
ФГБОУ ВО «ВГУ»;
вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Середкина Алена Игоревна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск;
ИЗМИРАН,
г. Москва, г. Троицк
ale@crust.irk.ru

Сидоров-Бирюков Дмитрий Дмитриевич
инженер
ООО НПК «ВУЛКАН»,
г. Москва
info@vulcan-inc.ru

Сизаск Илья Александрович

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Соколова Надежда Петровна

техн. рук. сектора ОСН
Центра данных ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
nadaysok@gmail.com

Старовойт Олег Евгеньевич

канд. физ.-мат. наук, рук. науч. напр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
olstar1933@gmail.com

Стеблов Григорий Михайлович

д-р физ.-мат. наук, профессор РАН,
зав. сект.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН, г. Москва
steblov@ifz.ru

Султанахмедов Мурад Салихович

инженер I кат.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
sultanakhmedov@gmail.com

Таймазов Джамалудин Гаджиевич

канд. физ.-мат. наук, зав. отд.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
dtaim@dbgras.ru

Тарасов Станислав Андреевич

инженер
ИДГ РАН,
г. Москва
tarasovidgran@mail.ru

Товмасын Кристина Гагиковна

инженер
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
tomellapashayan@sci.am

Тубанов Цырен Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ГИН СО РАН;
и.о. директора
БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Улан-Удэ
siren65@mail.ru

Федоров Андрей Викторович

канд. физ.-мат. наук, директор
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
Afedorov@krsc.ru

Федоров Иван Сергеевич

мл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
fedorov@krsc.ru

Фирстов Павел Павлович

д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
firstov@emsd.ru

Фихиева Луиза Мусаевна

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
fihieva@secnrs.ru

Фокина Татьяна Александровна

нач. отд.
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
fokina@seismo.sakhalin.ru

Фомочкина Анастасия Сергеевна

канд. техн. наук, доцент
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени Губкина И.М.;
ст. науч. сотр.
ИТПЗ РАН,
г. Москва
nastja_f@bk.ru

Фролова Александра Георгиевна

канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
shfrolova@mail.ru

Хасанов Ибрагим Мубаракевич

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
СВКНИИ ДВО РАН,
доцент СВГУ;
г. Магадан
aumaglan@yandex.ru

Холодков Кирилл Игоревич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
keir@ifz.ru

Хритова Мария Анатольевна

канд. техн. наук, нач. сектора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
hritova@crust.irk.ru

Хужаев Холёр Шайдуллоевич

науч. сотр.
ИГССС АН РТ,
г. Душанбе, Таджикистан
seismtadj@rambler.ru

Чеброва Анастасия Юрьевна

канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
ayuch@emsd.ru

Шакирова Александра Альбертовна

мл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
shaki@emsd.ru

Шарапудинов Тимур Идрисович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
sharapudinov@gmail.com

Шаров Николай Владимирович

д-р геол.-мин. наук, зав. лаб.
ИГ КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
sharov@krc.karelia.ru

Шахова Евгения Васильевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА РАН,
г. Архангельск
shahovaev@yandex.ru

**Шулаков Денис Юрьевич
(Shulakov Denis Yu.)**

канд. техн. наук, зав. лаб.
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
shulakov@mi-perm.ru

Шумлянская Людмила Александровна

канд. геол. наук, науч. сотр.
ИГ НАН Украины,
г. Киев, Украина
lashum@ukr.net

Яновская Татьяна Борисовна

д-р физ.-мат. наук, профессор
СПбГУ,
г. Санкт-Петербург
t.yanovskaya@spbu.ru

Alcaz Vasile

Dr. Hab. IGS,
Chisinau, Moldova
alcazv@gmail.com

Arygianni Valentino

Master, Graduated Student
Taiwan Tech.,
Taipei, Taiwan
arygvalent@gmail.com

Babayan Hektor E.

PhD, Senior Researcher,
Advisor to the Director for Scientific Projects
IGS NAS RA,
Yerevan, Armenia
Hektor.babayan@gmail.com

Borcia Ioan Sorin

PhD,
URBAN-INCERC,
Bucharest, Romania

Borleanu Felix

PhD,
NIEP,
Magurele, Romania
felix@infp.ro

Brown Lonn

MSc, Seismologist/Analyst Administrator
ISC, Thatcham, UK
lonn@isc.ac.uk

Cioflan Carmen Ortanza

PhD,
NIEP,
Magurele, Romania
marmur@infp.ro

Constantin A.

PhD, Senior Researcher
NIEP,
Magurele, Romania
angela@infp.ro

Craiu George-Marius

NIEP,
Magurele, Romania
marmur@infp.ro

Danet A.

Technological Development Engineer
NIEP,
Magurele, Romania
danet@infp.ro

Davidson Phillip

Engineering Manager
Trimble Inc.,
Plano, TX, USA
Phillip_Davidson@trimble.com

Devanney Peter

Nanometrics Inc.,
г. Каната, Канада
contact-us@nanometrics.ca

Dinescu Raluca

NIEP,
Magurele, Romania
raluca.dinescu@infp.ro

Franek Peter

PhD, Seismologist/Analyst
ISC,
Thatcham, UK
peterf@isc.ac.uk

Giacomo Domenico D.

PhD, Senior Seismologist
ISC,
Thatcham, UK
domenico@isc.ac.uk

Godoladze Tea

Dr., Director
Institute of Earth Science,
Ilia State University,
Tbilisi, Georgia
tea_godoladze@iliauni.edu.ge

Greco Bogdan

PhD, Researcher
NIEP,
Magurele, Romania
bgrecu@infp.ro

Harris James

Senior System and
Database Administrator
ISC,
Thatcham, UK
james@isc.ac.uk

Ilies Ion

IGS,
Chisinau, Moldova
ilies@mail.renam.md

Ionescu Constantin

PhD, Senior Scientist,
General Manager
NIEP,
Magurele, Romania
viorel2k@yahoo.com

Lentas Kostas

PhD, Seismologist,
Senior Developer
ISC,
Thatcham, UK
kostas@isc.ac.uk

Lieser Kathrin

PhD,
Seismologist/Analyst/Summary Editor
ISC,
Thatcham, UK
kathrin@isc.ac.uk

Mackey Kevin George

PhD, Associate Professor
Department of Geological Sciences,
Michigan State University,
East Lansing, Michigan, USA
mackeyke@msu.edu

Manea Elena

PhD, Senior Researcher
NIEP,
Magurele, Romania
Flory.manea88@gmail.com

Manea Liviu

Technological Development Engineer
NIEP,
Magurele, Romania
mlmaris@yahoo.com

Marmureanu Alexandru

PhD, Senior Scientist, Head of Romanian
Seismic Network Department
NIEP,
Magurele, Romania
marmura@infp.ro

Marmureanu Gheorghe

NIEP,
Magurele, Romania
marmur@infp.ro

Nabelek John Ludvik

PhD, Professor
College of Earth, Ocean
and Atmospheric Sciences,
Oregon State University,
Corvallis, Oregon, USA
nabelek@coas.oregonstate.edu

Neagoe Cristian

PhD, Senior Researcher
NIEP,
Magurele, Romania
Cristian.neagoe@infp.ro

Parker Tim

Nanometrics Inc.,
Socorro, New Mexico, USA
contact-us@nanometrics.ca

Popa Mihaela

PhD,
NIEP,
Magurele, Romania
mihaela@infp.ro

Raczka Jared

Product Manager
Trimble Inc.,
Plano, TX, USA
Jared_Raczka@Trimble.com

Radulian Mircea

PhD,
NIEP,
Magurele, Romania
mircea@infp.ro

Rogozea Maria-Marilena

PhD,
NIEP,
Magurele, Romania
mrogozea@infp.ro

Sandu Ilie

Researcher
IGS,
Chisinau, Moldova
Ilie_sandu@yahoo.com

Sandvol Eric A.

PhD, Professor
University of Missouri-Columbia,
Columbia, Missouri, USA
sandvole@missouri.edu

Stoian Irina

IGR,
Bucharest, Romania
marmur@infp.ro

Storchak Dmitry A.

PhD, Director
ISC,
Thatcham, UK
dmitry@isc.ac.uk

Tiganescu Alexandru

Junior Researcher
NIEP,
Magurele, Romania
Alexandru.tiganescu@infp.ro

Ting-Yu Hsu

PhD, Ass. Professor
Taiwan Tech.,
Taipei, Taiwan
tyhsu@ntust.edu.tw

Toma-Danila Dragos

PhD, Senior Researcher
NIEP,
Magurele, Romania
toma@infp.ro

Troian Sergiu

Researcher
IGS,
Chisinau, Moldova
Troian.sergiu@gmail.com

Yetirmishli Gurban J.

Corresponding member of ANAS, Dr.,
General Director
RSSC ANAS,
Baku, Azerbaijan
science@azeurotel.com

Zimakov Leonid

Sales Segment Manager
Trimble Inc.,
Plano, TX, USA
Leonid_Zimakov@trimble.com

СОДЕРЖАНИЕ

E.A. Sandvol, J.L. Nabelek, K.G. Mackey, A.A. Malovichko, R.A. Dyagilev, Yu.A. Vinogradov, D.Yu. Shulakov, T. Godoladze, H. Babayan, G.J. Yetirmishli. Uplift and seismic structure of the Greater Caucasus. Second stage of project	3
Б.С. Абдыраева, А.М. Муралиев. Каталог механизмов очагов землетрясений Центрально-Азиатского региона: состояние и дальнейшее его наращивание	8
И.М. Алёшин, Л.П. Винник, Г.Л. Косарев. Инверсия приемных функций и сопутствующих данных	9
И.М. Алёшин, С.Д. Иванов, К.И. Холодков. Центр агрегации данных ИФЗ РАН	10
Н.А. Арнаут. Вероятностное сейсмическое воздействие на гидротехнические сооружения Республики Молдова	11
А.Г. Аронов, Т.А. Протасовицкая. О Гудогайском землетрясении 1908 г.	12
Г.А. Аронов. Сейсмические воздействия от землетрясений разной удаленности на территорию Беларуси	13
О.А. Асманов, З.А. Адилов. О Закатальском землетрясении 5 июня 2018 г. с $K_p=14$	14
В.Э. Асминг, А.В. Федоров, А.Ю. Чеброва. Опыт применения системы автоматического детектирования NSDL для изучения афтершоковой последовательности	15
Б.А. Ассиновская, Н.М. Панас, Г.Н. Антоновская, М.К. Овсов. Предварительная оценка сейсмической опасности района арктического хребта Гаккеля и окрестностей	16
С.С. Багаева, К.В. Гричуха, С.В. Горожанцев. О распределении очагов землетрясений в центральной части Северного Кавказа в 2018 г.	17
С.В. Баранов, А.Е. Ганнибал. Кластеризация землетрясений в Хибинском массиве	18
А.В. Берёзина, Н.П. Соколова, Е.В. Першина, Б.С. Омукеева. Архив исторических землетрясений Кыргызстана	19
С.Б. Боровик. Особенности полей микросейсмических колебаний над углеводородными резервуарами в периоды регистрации землетрясений	20
А.С. Бугаев, В.М. Агафонов, А.В. Неешпапа, К.С. Белотелов. Широкополосные электрохимические сейсмометры	21
В.Ю. Бурмин, Л.А. Шумлянская. Эффективность Карпатской сейсмологической сети	22
Р.З. Буртиев, В.Ю. Карданец. Факторный анализ в сейсмологии	23
Ю.В. Варлашова. Расчет уровня техногенных микросейсмических шумов для условий Западноуральского региона	24
А.В. Верхованцев. Изучение резонансных характеристик инженерных сооружений	25
Ф.Г. Верхованцев, Р.А. Дягилев, А.В. Верхованцев, Н.С. Гусева. Макросейсмические проявления Катав-Ивановского землетрясения 04.09.2018 г., $ML=5.4$	26
Ю.А. Виноградов. Перспективы и возможности ФИЦ ЕГС РАН по развитию исследований в Арктике	27
Ю.А. Виноградов, А.В. Федоров, М.С. Пятунин, А.М. Милехина. Сейсмический мониторинг на полуострове Ямал	28
И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров. Особенности сейсмического цикла, связанного с землетрясением Тохоку 2011 г., на основе данных GPS	29
Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова. Исследование деформаций земной поверхности, вызванных землетрясением Мауле 2010 г., на основе данных спутниковой геодезии	30
И.П. Габсатарова, Л.Н. Королецки, Н.Л. Пономарева, О.П. Каменская. Сравнительные характеристики волновых форм роев землетрясений в Дагестане в 2019 г.	31
Н.К. Гайдай. Пригодность карты микросейсмрайонирования г. Магадана (1984 г.) для использования в современных условиях	32

Н.К. Гайдай, И.М. Хасанов. Перспективы использования сейсморазведки при поиске и разведке аллювиальных месторождений золота	33
И.А. Гарагаш, Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова. Исследование особенностей поля деформаций земной поверхности в Северо-Восточной Азии на основе данных спутниковой геодезии	34
А.Г. Гоев, С.Г. Волосов, И.А. Санина, Н.Л. Константиновская, М.А. Нестеркина. Регистрационные возможности временной сейсмологической сети ИДГ РАН на ВЕП	35
А.Г. Гоев, В.И. Куликов, Н.Л. Константиновская, М.А. Нестеркина. Новые волновые формы промышленных взрывов в Курско-Белгородском регионе	36
В.В. Гребенникова, А.Г. Фролова, Н.Х. Багманова, А.В. Берёзина, Е.В. Першина, С. Молдобекова. Кызыл-Артское землетрясение 26 июня 2016 г. с $K_p=15.1$, $MPVA=6.2$, $I_0=7.5$ (Кыргызстан – Заалайский хребет)	37
V. Grecu, A. Danet, L. Manea, E. Manea, D. Toma, A. Tiganescu, A. Constantin, C. Neagoe, C. Ionescu. Next-Generation of ShakeMap for Romania and neighboring countries	38
И.Ю. Дмитриева, А.А. Саяпина, С.В. Горожанцев. Землетрясение 17 октября 2018 г. в Ингушетии	39
Р.А. Дягилев, Ф.Г. Верхоланцев, А.В. Верхоланцев. Уточнение местоположения гипоцентра Катав-Ивановского землетрясения 04.09.2018 г. методом относительной локации очагов	40
Р.А. Дягилев, М.С. Пятунин, А.А. Саяпина. Скоростная модель Северного Кавказа по результатам инверсии дисперсионных кривых поверхностных волн	41
А.Д. Завьялов. О процессе локализации сейсмичности перед сильными землетрясениями (на примере Камчатки)	42
А.С. Зверева, И.П. Габсатарова, Д.В. Лиходеев, В.Ф. Бабкина. Исследование поглощающих свойств литосферы в Центральном Предкавказье	43
L. Zimakov, J. Raczka. Trimble new integrated seismic and geodetic system with high-rate, real-time displacement measurements for earthquake early warning (EEW) and other critical infrastructure applications	44
L. Zimakov, J. Raczka, P. Davidson. Seismological marker requirements for new generation of high-resolution, versatile seismic recorder	45
Э.И. Золототрубова, И.Т. Ежова, Л.И. Надёжка, М.А. Ефременко, Э.В. Калинина. Особенности записей сейсмических событий в районах с разным геологическим строением	46
З.Г. Ильясова. Использование каталогов землетрясений для вероятностного анализа сейсмической опасности	47
C. Ionescu, A. Marmureanu. Earthquake disaster management in Romania – Rapid Early Warning System	48
Е.С. Исичко, В.Н. Гинсарь. Современный подход к оценке сейсмической опасности Молдовы	49
Д.К. Карапетян, Р.А. Пашаян, Л.В. Арутюнян, К.Г. Товмасын. Изменение геодинамики территории Армении по результатам комплексных наблюдений	50
В.Ю. Карданец. Определение параметров исторических землетрясений по макросейсмическим данным	51
Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов, Х.Ш. Хужаев. Сезонные вариации ряда геофизических полей на территории Таджикистана	52
В.В. Карпинский, В.Э. Асминг. Результаты первичной обработки данных инфразвуковой группы на острове Валаам	53
М.В. Кичигин, П.Г. Бутырин. Система удаленного мониторинга работоспособности сейсмических станций	54
Е.А. Кобелева, Н.А. Гилёва. Влияние температурного режима на АЧХ широкополосных сейсмометров СМЕ-4211	55

Г.Н. Копылова. Эффекты сильных землетрясений в изменениях давления подземных вод	56
Т.Ю. Королева. Шумовая томография Кавказа: групповые скорости волны Релея	57
Т.Ю. Королева, Т.Б. Яновская, Е.Л. Лыскова. Причины артефактов в шумовой поверхностно-волновой томографии и способы их устранения	58
Ю.А. Кугаенко, В.А. Салтыков, И.Ю. Кулаков, В.М. Павлов, П.В. Воропаев, И.Ф. Абкадыров, В.П. Комзелева. Сейсмическое пробуждение потухшего Удинского вулканического комплекса на Камчатке: наблюдения и интерпретация	59
А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев, З.А. Адилов, Н. Ting-Yu, V. Arygianni. Особенности мониторинга собственных частот плотин гидроэлектростанций (на примере Чиркейской ГЭС)	60
Е.Л. Лыскова, Т.Б. Яновская, Т.Ю. Королева. Пространственное распределение коэффициента анизотропии в верхней мантии Европы	61
Х.Д. Магомедов. К вопросу прогнозирования сейсмического процесса на Северо-Восточном Кавказе	62
G. Marmureanu, I.S. Borcia, A. Marmureanu, C.O. Cioflan, I. Plies, G.-M. Craiu, I. Stoian. The paradox of larger peak ground accelerations in Extra-Carpathian area than in epicenter	63
А.В. Михеева. Корреляционный анализ пространственных аномалий вычисленных и измеренных полей в системе GIS-ENDDB	64
К.Е. Морару. Тектонические особенности твердой части литосферы и их влияние на макросейсмическое поле юго-западной части Русской платформы	65
А.Н. Морозов, Н.В. Ваганова, Е.В. Шахова, Я.В. Конечная, Г.Н. Антоновская. Сейсмичность Арктики в начале XX века: уточненный каталог землетрясений с 1904 по 1920 г.	66
А.Н. Морозов, Н.В. Ваганова, Я.В. Конечная, И.А. Зуева, Н.Н. Носкова, Н.В. Шаров, Б.А. Ассиновская, Н.М. Панас. Современная сейсмичность севера Европейской части России	67
Л.М. Мунирова, О.В. Карпинская. Оптимизация обработки данных Пулковской региональной сейсмической сети	68
Ш.Я. Муродкулов. Использование сейсмических методов для сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе	69
Л.И. Надёжка, В.И. Дубянский, И.А. Сизаск. Отражение нелинейных свойств геологической среды в вариациях микросейсмического поля	70
В.Г. Никулин. Состояние, проблемы и перспективы сейсмологических исследований в Латвии	71
Н.Н. Носкова. Сейсмичность территории Республики Коми за 2000–2018 гг.	72
К. Омурбек. Анализ бюллетеней промышленных взрывов на месторождении «Кумтор», Кыргызстан	73
Н.М. Панас. Анализ волнового поля сейсмических сигналов, зарегистрированных станцией «Лопухинка»	74
Н.В. Петрова, И.П. Габсатарова. Вопросы магнитудной унификации каталогов и оценки магнитуд глубоких землетрясений	75
Р.С. Пивоваров, Э.В. Калинина, М.А. Ефременко, С.П. Пивоваров. Регистрация телесеизмических землетрясений на территории ВКМ, и оценка магнитудных невязок	76
С.П. Пивоваров, М.Е. Семенов. Об оптимальности Воронежской сети сейсмических станций и результатах наблюдений	77
Н.Л. Пономарева, Л.Н. Королепки, М.М. Ахмедова. Анализ слабой сейсмичности в Дагестане в конце 2018 г. – начале 2019 г.	78
Я.Б. Радзиминович, Н.А. Гилёва. Макросейсмические исследования в Восточной Сибири: история, современное состояние и перспективы	79

О.Г. Разинков, Д.Д. Сидоров-Бирюков, Т. Parker, P. Devanney. Широкополосный регистратор Regasus с очень низким энергопотреблением для автономных сейсмических сетей	80
M. Rogozea, R. Dinescu, F. Borleanu, M. Popa, M. Radulian. Spatio-temporal distribution of seismicity and source properties in Romania (south-western Carpathians) revealed by waveform correlation techniques	81
О.А. Саидов. Исследование вариаций водорода в приземной атмосфере в связи с проявлением сейсмической активности	82
В.А. Салтыков. Пространственно-временные особенности представительности каталога землетрясений Камчатки	83
В.А. Салтыков, П.В. Воропаев, Ю.А. Кугаенко. Мониторинг приливной компоненты сейсмических шумов на Камчатке в 2013–2019 гг. в целях прогноза сильных локальных землетрясений	84
I. Sandu. Seismic activity – monitor and forecast	85
Д.П.-Д. Санжиева, Ц.А. Тубанов. Очаговые параметры землетрясений Центрального Байкала	86
И.Н. Сафронич. Использование библиотеки OBSPY для улучшения локации близких сейсмических событий в программе WSG	87
И.Н. Сафронич. Использование спектра Накамуры для исследования интрузии в кровле докембрийского фундамента ВКМ	88
А.А. Саяпина, И.Ю. Дмитриева, С.С. Багаева, К.В. Гричуха. Рой землетрясений в 2019 г. в районе села Майрамадаг Республики Северная Осетия–Алания	89
И.А. Сдельникова, Г.М. Стеблов. Мониторинг сильнейших субдукционных землетрясений по данным спутниковой геодезии	90
В.С. Селезнев. Сейсмические модели в сейсмологии	91
Е.П. Семенова, Т.А. Фокина. Макросейсмический эффект землетрясений Сахалинского региона	92
А.Е. Семенов, А.М. Семенов. Районирование ВКМ по количеству выделившейся сейсмической энергии при землетрясениях за 20 лет	93
М.Е. Семенов, Е.В. Комаринский. Модель влияния сейсмических событий на искусственные сооружения	94
А.И. Середкина, В.И. Мельникова, Я.Б. Радзиминович, Н.А. Гилёва. Очаговые параметры землетрясений Приаргунья	95
О.Е. Старовойт, А.А. Маловичко, С.Г. Пойгина, В.В. Крумпан, Д.Г. Бадальян, А.М. Милехина. Сейсмические наблюдения в Антарктиде	96
D.A. Storchak, K. Lentas, L. Brown, P. Franek, K. Lieser, D. Giacomo, J. Harris. Four new ISC services	97
Д.Г. Таймазов, М.Г. Магомед-Касумов, Т.И. Шарापудинов, М.С. Султанахмедов. О внутрисуточных периодах в слабой сейсмичности Восточного Кавказа	98
С.А. Тарасов, С.Г. Волосов, Э.М. Горбунова, Г.Н. Иванченко, О.Ю. Ризниченко, С.А. Королев. Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых сейсмических станциях ИДГ РАН	99
С.А. Тарасов, О.Ю. Ризниченко, И.А. Санина, А.В. Варыпаев, Г.А. Воронин. Добротность в центральной части ВЕП, определенная по коде волны L_g по данным МСГ «Михнево»	100
S. Troian, V. Alcaz. Seismic risk quantification in Moldova	101
А.В. Федоров, В.Э. Асминг. Новые подходы к детальному изучению сейсмичности на примере архипелага Шпицберген	102
И.С. Федоров, А.В. Федоров. Система регистрации сейсмических и инфразвуковых эффектов различных природных и техногенных явлений	103

П.П. Фирстов, Е.О. Макаров, В.Е. Глухов. Деформационные процессы перед некоторыми сильными землетрясениями Камчатки	104
Л.М. Фихиева, А.А. Малофеев, В.В. Меньщикова. Требования учета СДЗК в районах и на площадках размещения объектов использования атомной энергии	105
А.С. Фомочкина, Б.Г. Букчин. Сравнительный анализ Аляскинских землетрясений 2018 г. по записям поверхностных волн	106
А.Г. Фролова, А.В. Берёзина, Е.В. Першина. К вопросу определения магнитуды <i>MPVA</i> по записям землетрясений Кыргызстана	107
М.А. Хритова, В.В. Мордвинова, Е.А. Кобелева, М.М. Кобелев. Исследование глубинного строения Северо-Муйского района БРЗ методом приемной функции	108
А.А. Шакирова, П.П. Фирстов. Сейсмический режим "drumbeats", обусловленный движением вязкого лавового потока при извержении вулкана Кизимен в 2011 г.	109
Д.Ю. Шулаков, Ф.Г. Верхоланцев. Инструментальные наблюдения в эпицентральной зоне Катав-Ивановского землетрясения 04.09.2018 г.	110
Д.Ю. Шулаков, А.С. Мурыськин. Спектральный подход к оценке регистрационных возможностей системы сейсмомониторинга Уральского региона	111
Приложение. Официальные сокращения названий организаций	112
Сведения об авторах	116

CONTENTS

E.A. Sandvol, J.L. Nabelek, K.G. Mackey, A.A. Malovichko, R.A. Dyagilev, Yu.A. Vinogradov, D.Yu. Shulakov, T. Godoladze, H. Babayan, G.J. Yetirmishli. Uplift and seismic structure of the Greater Caucasus. Second stage of project	3
B.S. Abdyaeva, A.M. Muraliev. Catalog of earthquake' source mechanisms of the Central Asian region: condition and further its extension	8
I.M. Aleshin, L.P. Vinnik, G.L. Kosarev. Inversion of receiver function and related data	9
I.M. Aleshin, S.D. Ivanov, K.I. Kholodkov. Data Aggregation Center of the IPE RAS	10
N.A. Arnaut. A probabilistic seismic impact on hydro-technical installations of the Republic of Moldova	11
A.G. Aronov, T.A. Protasovitskaya. About the 1908 Gudogaj earthquake	12
G.A. Aronov. Seismic impact upon the territory of Belarus from the earthquakes of various distant	13
O.A. Asmanov, Z.A. Adilov. About Zakatala earthquake on June 5, 2018 with K=14	14
V.E. Asming, A.V. Fedorov, A.Yu. Chebrova. The application of NSDL automatic detection system for studying of aftershock sequence	15
B.A. Assinovskaya, N.M. Panas, G.A. Antovskaya, M.K. Ovsov. Preliminary seismic hazard assessment of the Arctic Gakkel ridge and surrounding	16
S.S. Bagaeva, T.V. Grechukha, S.V. Gorozhantsev. Distribution of earthquake foci in the central part of the North Caucasus in 2018	17
S.V. Baranov, A.E. Gannibal. Earthquake clustering in Khibiny Mountains	18
A.V. Berezina, N.P. Sokolova, E.V. Pershina, B.S. Omukeeva. Archive of historical earthquakes of Kyrgyzstan	19
S.B. Borovik. Features of microseismic fluctuations fields over hydrocarbon tanks during earthquake registration periods	20
A.S. Bugaev, V.M. Agafonov, A.V. Neeshpapa, K.S. Belotelov. Broadband electrochemical seismometers	21
V.Yu. Burmin, L.A. Shumlyanskaya. Efficiency of the Carpathian Seismological Network	22
R.Z. Burtiev, V.Yu. Kardanets. Factor analysis in seismology	23
Yu.V. Varlashova. Calculation of the level of anthropogenic microseismic noise for the conditions of the West Ural region	24
A.V. Verkholantsev. Analysis of the resonant characteristics of the engineering structures	25
F.G. Verkholantsev, R.A. Dyagilev, A.V. Verkholantsev, N.S. Guseva. Macroseismic effect of Katav-Ivanovsk earthquake, 04.09.2018, ML=5.4	26
Yu.A. Vinogradov. The development of geophysical research in the Arctic. Prospects and opportunities of GS RAS	27
Yu.A. Vinogradov, A.V. Fedorov, M.S. Pyatunin, A.M. Milekhina. Seismic monitoring in the Yamal Peninsula	28
I.S. Vladimirova, Yu.V. Gabsatarov. Investigation of features of the seismic cycle related to 2011 Tohoku earthquake based on GPS data	29
Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova. Analysis of surface deformations related to the 2010 Maule earthquake based on GPS data	30
I.P. Gabsatarova, L.N. Koroletski, N.L. Ponomareva, O.P. Kamenskaya. Comparative characteristics of the wave forms swarms of earthquakes in Dagestan, in 2019	31
N.K. Gayday. The suitability of using the microseismization map of the Magadan city (1984) for use in modern conditions	32
N.K. Gayday, I.M. Hasanov. Prospects for the use of seismic exploration in searching and developing alluvial gold deposits	33

I.A. Garagash, Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova. Investigation of features of Earth surface deformations field in Northeastern Asia based on satellite geodetic data	34
A.G. Goyev, S.G. Volosov, I.A. Sanina, N.L. Konstantinovskaya, M.A. Nesterkina. Registration opportunities of the temporary seismological network of IDG RAS on EEC	35
A.G. Goev, V.I. Kulikov, N.L. Konstantinovskaya, M.A. Nesterkina. A new wave of industrial explosions, produced in the Kursk-Belgorod region	36
V.V. Grebennikova, A.G. Frolova, N.Kh. Bagmanova, A.V. Berezina, E.V. Pershina, S. Moldobekova. Kyzyl-Art earthquake on June 26, 2016 with $K=15.1$, $MPVA=6.2$, $I_0=7.5$ (Kyrgyzstan - Zaalai range)	37
B. Grecu, A. Danet, L. Manea, E. Manea, D. Toma, A. Tiganescu, A. Constantin, C. Neagoe, C. Ionescu. Next-Generation of ShakeMap for Romania and neighboring countries	38
I.Yu. Dmitrieva, A.A. Sayapina, S.V. Gorozhantsev. About the earthquake of October 17, 2018 in the Republic of Ingushetia	39
R.A. Dyagilev, F.G. Verkhohantsev, A.V. Verkhohantsev. Refinement of hypocenter solution for Katav-Ivanovsk Earthquake, 04.09.2018, using relative location technique	40
R.A. Dyagilev, M.S. Pyatunin, A.A. Sayapina. Velocity profile of Northern Caucasus based on inversion of dispersion curves of surface waves	41
A.D. Zavyalov. On the process of seismicity localization before strong earthquakes (on the example of Kamchatka)	42
A.S. Zvereva, I.P. Gabsatarova, D.V. Likhodeev, V.F. Babkina. Study of the attenuation properties of the lithosphere in the Central Caucasus	43
L. Zimakov, J. Raczka. Trimble new integrated seismic and geodetic system with high-rate, real-time displacement measurements for earthquake early warning (EEW) and other critical infrastructure applications	44
L. Zimakov, J. Raczka, P. Davidson. Seismological marker requirements for new generation of high-resolution, versatile seismic recorder	45
E.I. Zolototrubova, I.T. Ezhova, L.I. Nadezhka, M.A. Efremenko, E.V. Kalinina. Features records of seismic events in areas with different geological structure	46
Z.G. Il'yasova. Using earthquake catalogs for probabilistic seismic hazard analysis	47
C. Ionescu, A. Marmureanu. Earthquake disaster management in Romania - Rapid Early Warning System	48
E.S. Isicico, V.N. Ginsari. Modern approach to seismic hazard assessment of Moldova	49
D.K. Karapetyan, R.A. Pashayan, L.V. Harutyunyan, K.G. Tovmasyan. Changes in the geodynamics of the territory of Armenia according to the results of complex observations	50
V.Yu. Cardanets. Determination of parameters of historical earthquakes on the base of macroseismic data	51
F.H. Karimov, N.G. Salomov, Kh.Sh. Khuzhaev. Periodical variations of some geophysical fields on the territory of Tajikistan	52
V.V. Karpinsky, V.E. Asming. The results of the primary data processing infrasonic array on Valaam Island	53
M.V. Kichigin, P.G. Butyrin. The system of remote monitoring of seismic stations' perfomance	54
E.A. Kobeleva, N.A. Gileva. Influence of the temperature mode on amplitude-frequency characteristics broadband of seismometers CME-4211	55
G.N. Kopylova. Preparation and occurrence of strong earthquakes in groundwater pressure changes	56
T.Yu. Koroleva. Ambient noise tomography across Caucasus: group velocities of Rayleigh wave	57
T.Yu. Koroleva, T.B. Yanovskaya, E.L. Lyskova. The causes of artifacts in ambient noise surface wave tomography and the methods to eliminate those	58
Yu.A. Kugaenko, V.A. Saltykov, I.Yu. Kulakov, V.M. Pavlov, P.V. Voropaev, I.F. Abkadyrov, V.P. Komzeleva. Seismic awakening of the extinct Udina volcanic complex in Kamchatka: observations and interpretation	59

A.V. Liseykin, V.S. Seleznev, Z.A. Adilov, H. Ting-Yu, V. Arygianni. Features of monitoring the natural frequencies of dams of HPP (by the example of the Chirkey dam)	60
E.L. Lyskova, T.B. Yanovskaya, T.Yu. Koroleva. Spatial distribution of the anisotropy coefficient in the European upper mantle	61
Kh.D. Magomedov. On the question of seismic prognosis of the North-Eastern Caucasus	62
G. Marmureanu, I.S. Borgia, A. Marmureanu, C. Ortanza-Cioflan, I. Ilies, G.-M. Craiu, I. Stoian. The paradox of larger peak ground accelerations in Extra-Carpathian area than in epicenter	63
A.V. Mikheeva. The spatial anomalies correlation analysis of calculated and measured fields in the GIS-ENDDB system	64
C.E. Moraru. Tectonic specificities of the brittle lithosphere and its influence on macroseismic characteristics of the south-west of the Russian platform	65
A.N. Morozov, N.V. Vaganova, E.V. Shakhova, Ya.V. Konechnaya, G.N. Antonovskaya. Seismicity of the Arctic in the early Twentieth Century: Relocation of the 1904-1920 earthquakes	66
A.N. Morozov, N.V. Vaganova, Y.V. Konechnaya, I.A. Zueva, N.N. Noskova, N.V. Sharov, B.A. Assinovskaya, N.M. Panas. The Present-Day Seismicity of the Northern European Part of Russia	67
L.M. Munirova, O.V. Karpinskaya. Optimization of data processing for Pulkovo regional seismic network	68
Sh.Ya. Murodkulov. Using the seismic methods for seismic microzoning of the Dushanbe city territory	69
L.I. Nadezhka, V.I. Dubynsky, I.A. Sizask. Imaging of the nonlinear properties of the geological medium in the microseismic field's variations	70
V.G. Nikulin. Condition, problems and prospects of seismological researches in Latvia	71
N.N. Noskova. Seismicity of the Komi Republic for 2000-2018	72
K. Omurbek. Analysis of the Kumtor industrial explosions' bulletins, Kyrgyzstan	73
N.M. Panas. Analysis of the wave field of seismic signals recorded by Lopukhinka station	74
N.V. Petrova, I.P. Gabsatarova. The questions of magnitude unification of the catalogs and M evaluation of deep earthquakes	75
R.S. Pivovarov, E.V. Kalinina, M.A. Efremenko, S.P. Pivovarov. Registration of teleseismic earthquakes on the territory of Voronezh Crystalline Massif and evaluation of the error in magnitude calculation	76
S.P. Pivovarov, M.E. Semenov. On the optimality of the Voronezh network of seismic stations and the results of observations	77
N.L. Ponomareva, L.N. Koroletski, M.M. Akhmedova. Analysis of weak seismicity in Dagestan at the end of 2018 - the beginning of 2019	78
Ya.B. Radziminovich, N.A. Gileva. Macroseismic studies in Eastern Siberia: history, state-of-the-art and perspectives	79
O.G. Razinkov, D.D. Sidorov-Biryukov, T. Parker, P. Devanney. Broadband, very low power digitizer Pegasus for autonomous seismic networks	80
M. Rogozea, R. Dinescu, F. Borleanu, M. Popa, M. Radulian. Spatio-temporal distribution of seismicity and source properties in Romania (south-western Carpathians) revealed by waveform correlation techniques	81
O.A. Saidov. The study of variations of hydrogen in near-ground atmosphere in connection with the manifestation of seismic activity	82
V.A. Saltykov. Spatial-temporal features of completeness for Kamchatka earthquake catalogue	83
V.A. Saltykov, P.V. Voropaev, Yu.A. Kugaenko. Monitoring of tidal component of seismic noise in Kamchatka in 2013-2019 for large local earthquake prediction	84
I. Sandu. Seismic activity - monitor and forecast	85
D.P.-D. Sanzhieva, Ts.A. Tubanov. Source parameters of Central Baikal earthquakes	86
I.N. Safronich. Using the OBSPY library to improve the localization of near seismic events in the WSG program	87

I.N. Safronich. Spectrum usage Nakamura for the study of the intrusions in the roof of the Precambrian basement of the Voronezh crystalline massif	88
A.A. Sayapina, I.Yu. Dmitrieva, S.S. Bagaeva, K.V. Grichuha. Swarm of earthquakes in 2019 in the village Mairamadag of North Ossetia-Alania Republic	89
I.A. Sdelnikova, G.M. Steblov. Monitoring of the strongest subduction earthquakes based on satellite geodetic data	90
V.S. Seleznev. Seismic models in seismology	91
E.P. Semenova, T.A. Fokina. Macroseismic effect of earthquakes of Sakhalin Region	92
A.E. Semenov, A.M. Semenov. Zoning of VCM by the amount of released seismic energy in earthquakes for 20 years	93
M.E. Semenov, E.W. Komarinskij. Model the impact of seismic events on structures	94
A.I. Seredkina, V.I. Melnikova, Ya.B. Radziminovich, N.A. Gileva. Earthquake source parameters in the Erguna region	95
O.Ye. Starovoit, A.A. Malovichko, S.G. Poygina, V.V. Krumpan, D.G. Badal'yan, A.M. Milekhina. Seismic observations in Antarctica	96
D.A. Storchak, K. Lentas, L. Brown, P. Franek, K. Lieser, D.D. Giacomo, J. Harris. Four new ISC services	97
D.G. Taimazov, M.G. Magomed-Kasumov, T.I. Sharapudinov, M.S. Sultanakhmedov. About intraday periods in the weak seismicity of the Eastern Caucasus	98
S.A. Tarasov, S.G. Volosov, E.M. Gorbunova, G.N. Ivanchenko, O.Yu. Riznichenko, S.A. Korolev. Refinement of the velocity section sedimentary stratum by the Nakamura method at new seismic stations IDG RAS	99
S.A. Tarasov, O.Yu. Riznichenko, I.A. Sanina, A.V. Varypaev, G.A. Voronin. Lg coda Q in the central part of the East European platform from small aperture array "Mikhnevo" data	100
S. Troian, V. Alcaz. Seismic risk quantification in Moldova	101
A.V. Fedorov, V.E. Asming. New approaches to the detailed study of seismicity on the example of the Svalbard archipelago	102
I.S. Fedorov, A.V. Fedorov. Registration system of seismic and infrasonic effects of various natural and technogenic phenomena	103
P.P. Firstov, E.O. Makarov, V.E. Gluhov. Deformation processes before some strong earthquakes of Kamchatka	104
L.M. Fikhieva, A.A. Malofeev, V.V. Menshchikova. Requirements of taking into account of current crustal movements in the areas and on sites of nuclear facilities deployment	105
A.S. Fomochkina, B.G. Bukchin. The comparative analysis of Alaska earthquakes 2018 from surface wave records	106
A.G. Frolova, A.V. Berezina, E.V. Pershina. On the question of the MPVA magnitude determining from earthquake records of Kyrgyzstan	107
M.A. Khritova, V.V. Mordvinova, E.A. Kobeleva, M.M. Kobelev. The study of the deep structure of the North-Muya region of the Baikal rift zone by the method of receiver function	108
A.A. Shakirova, P.P. Firstov. Seismic regime "drumbeats" caused by moving of viscous lava flow during the Kizimen volcano eruption in 2011	109
D.Yu. Shulakov, F.G. Verkholantsev. Instrumental observation in the epicenter of Katav-Ivanovsk earthquake 04.09.2018, ML=5.4	110
D.Yu. Shulakov, A.S. Muryskin. Assessment of registration abilities of the seismological monitoring system of the Ural region	111
Appendix. Official names of organizations reducing	112
Data on authors	116

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.
ТЕЗИСЫ XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ**

Отв. редактор член-корреспондент РАН А.А. Маловичко

Кишинёв, Республика Молдова, 9–13 сентября 2019 г.

Редактор, компьютерная верстка: С.Г. Пойгина
Корректор: С.В. Бутырина

Подписано в печать 01.07.2019 г.

Формат 60×90/8.

Печ. л. 17. Тираж 130 экз. Зак. № 190380.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
249035, г. Обнинск, Калужская обл., пр. Ленина, д. 189
Тел.: 8-484-393-14-05, 8-495-912-68-72. E-mail: frc@gsras.ru

Отпечатано с оригинала макета в ООО «Интер-ЕС»
614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Плеханова, д. 39
Тел./факс 8 (342) 2-150-170. E-mail: inter-yes@mail.ru