

www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с 1825 года

6.2012



Докучаевский
флюсо-доломитный
комбинат

Флагману
нерудной промышленности
Украины — 100 лет



УДК 553.494 (470.13)

А. Б. МАКЕЕВ (ИГЕМ РАН)

В. А. ДУДАР (ООО «Геотехносервис»)

Г. С. САМАРОВА (ОАО «Гиредмет»)

Л. П. ТИГУНОВ, Л. З. БЫХОВСКИЙ (ФГУП «ВИМС»)

ПИЖЕМСКОЕ ТИТАНОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ (СРЕДНИЙ ТИМАН): АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ



А. Б. МАКЕЕВ,
ведущий научный
сотрудник, проф.,
д-р геол.-минерал. наук



В. А. ДУДАР,
генеральный директор,
канд. геол.-минерал.
наук



Г. С. САМАРОВА,
начальник технико-
экономического
отдела



Л. П. ТИГУНОВ,
главный специалист,
чл.-корр. РАН



Л. З. БЫХОВСКИЙ,
зав. отделом,
д-р геол.-минерал.
наук

Титаноносные песчаники Пижемского месторождения слагают малоручейскую свиту, которая распространена локально (6×18 км) на севере Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман), образуя Пижемскую депрессию. В минеральном составе руды преобладает лейкоксен, содержание его в песчаниках достигает 10–20 %. Общее содержание титановых минералов достигает 100–200 кг/т. Мощность рудной толщи изменяется от 10 до 84,8 м и определяется палеорельефом. Породы вскрыши слагают крупные залежи высококачественных кварцевых стекольных песчаников, каолинит-кварцевых песчаников и базальтов, характеризующих Пижемское месторождение как крупнейший объект для комплексного освоения. Товарными продуктами проектируемого предприятия будут титановые (ильменитовый и лейкоксеновый) концентраты.

Ключевые слова: Пижемское месторождение, ильменит, циркон, рутил, стельные песчаники, каолинит-кварцевые песчаники.

Северо-восточное обрамление Восточно-Европейской платформы, а именно — Тиманский Кряж, является крупнейшей в мировом масштабе провинцией развития титановых месторождений (рис. 1) с лейкоксеновым и ильменит-лейкоксеновым типом руд. Самые значительные среди них — Ярегское и Пижемское. Уникальное Ярегское лейкоксеновое месторождение на Южном Тимане заключает в себе около 40 % всех балансовых запасов титана в России, суммарные запасы Пижемского титанового месторождения, по экспертным оценкам, соизмеримы с запасами Ярегского [1, 2]. Месторождения характеризуются разной степенью изученности. Ярегское месторождение детально разведано в 1970 г., его запасы утверждены ГКЗ в 1974 г. в количестве 66,8 млн т TiO_2 по категориям А+В+С₁ и 211,8 млн т по категории С₂ [3].

Продуктивный пласт залегает на глубине 130–180 м, его разработка возможна только подземным способом с закладкой выработанного пространства [2]. Пижемское месторождение известно с 1960-х годов, но его изученность — поисково-оценочная стадия. Разведанные запасы оценены по категории С₂ в количестве 37 млн т TiO_2 , прогнозные ресурсы по категории Р₁ — 22 млн т TiO_2 .

Проявления Северного Тимана (Сувойное, Пембойское) относятся к титановым прибрежно-морским россыпям с циркон-ставролит-ильменитовой ассоциацией.

В Ярегском месторождении пространственно сопряжены два объекта: месторождение тяжелых нефтей и титановое. По мнению некоторых исследователей, они связаны не только пространственно, но и генетически. Другие это мнение не разделяют. Песчано-глинистая титаноносная толща Среднего Тимана, к которой приурочено Пижемское месторождение, считается древней россыпью, сформировавшейся за счет коры выветривания, которая развивалась по нижележащим рифейским сланцам [4, 5].



Рис. 1. Обзорная географическая схема расположения титановых месторождений и проявлений Тимана:

1 — Сувойное и Пембойское проявления на Северном Тимане;
2 — Пижемское месторождение;
3 — Ярегское месторождение на Среднем Тимане



Рис. 2. Коренное обнажение красноцветных титановых песчаников малоручейской свиты на левом берегу р. Средней в 2,5 км выше ее устья

Титаносные песчаники Пижемского месторождения слагают малоручейскую свиту, которая распространена локально (6×18 км) на севере Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман) на площади примерно 90 км², образуя Пижемскую депрессию.

Геологическое строение толщи и минералогические особенности титановых руд Пижемского месторождения близки Ярегскому лейкоксеновому месторождению Южного Тимана, но, в отличие от последнего, пижемские ильменит-лейкоксен-кварцевые песчаники не содержат нефти, характеризуются благоприятной гидрогеологической обстановкой и близповерхностным залеганием (рис. 2).

Расположено Пижемское титановое месторождение в пределах северного периклинального замыкания Вольско-Вымской горст-антиклинали на Среднем Тимане.

Две уникальные титаносные толщи расположены на одной оси симметрично в пределах двух периклиналей протяженной Вольско-Вымской антиклинали: на юге Ярегское, а на севере — Пижемское месторождения. Такая локальность расположения титаносных отложений на Тимане позволяет рассматривать эти два месторождения в едином цикле формирования общей структуры.

В строении малоручейской свиты выделены три толщи [5]. В основании нижней толщи, как правило, находятся конгломератобрекчии измененных сланцев, кварцитов, гравелитистые песчаники. Выше по разрезу их сменяют лейкоксен-кварцевые красновато-коричневые средние и крупнозернистые песчаники, наблюдается частое их переслаивание с алевролитами и аргиллитоподобными

глинами. Типичный химический состав рудных песчаников малоручейской свиты и их пересчет на нормативный минеральный состав приведен в таблице. В минеральном составе руды преобладает лейкоксен, его содержание в песчаниках достигает 10–12 %. Кроме того, присутствуют лейкоксенизированный ильменит, циркон, рутил, анатаз, монацит, куларит. Характерна также наложенная сидеритизация, каолинизация и ожелезнение (в виде гематита и гетита). Мощность нижней толщи изменяется от 20 до 84,8 м и определяется палеорельефом.

Средняя толща малоручейской свиты сложена преимущественно однородными мелко- и среднезернистыми кварцевыми песчаниками светло-серого цвета. Цемент песчаников поровый, представлен каолинитом и мусковитом (рис. 3, табл. 1 и 2).

Часто в небольших количествах встречаются ставролит, куларит, турмалин, эпидот, амфиболы, хромшпинелиды. Содержание рудных минералов достигает 10–25 %. Мощность средней толщи изменяется от 3,5 до 20,4 м.

Верхняя толща представлена однообразными отложениями кварц-каолиновых мелкозернистых песчаников и алевролитов белого, розового, желтовато- и коричневатого-серого цветов. В отличие от пород нижней и средней толщ, в песчаниках верхней толщи отсутствуют слюдяные минералы, а содержание рудных минералов не превышает 1 %. Зерна кварца полукатанные, их размерность 0,2–0,5 мм. Мощность толщи достигает 17 м. Верхняя толща в пределах месторождения распространена локально и часто полностью размыта.

Пижемское титановое месторождение пространственно совмещено с комплексным алмаз-золото-редкометалльно-редкоземельно-титановым проявлением Ичетьей [6]. Продуктивный конгломеративный горизонт мощностью 0,2–1,5 м пятнами и линзами размером (200÷300 м) × (2÷3 км) залегает только на верхней кварц-каолиновой толще малоручейской свиты.

Главные рудные концентрации Пижемского месторождения дают лейкоксен (70–90 % объема рудной фракции) и лейкоксенизированный ильменит (до 30 %), реже встречаются циркон (до 1 %), ильменорутит и новообразованный игольчатый рутил. Общее содержание титано-

Таблица 1. Средний химический состав проб титаносных песчаников, %

Оксид	1	2
SiO ₂	76,94	79,42
TiO ₂	7,06	5,87
Al ₂ O ₃	3,24	5,45
FeO	5,61	1,25
Fe ₂ O ₃	1,05	4,17
MnO	0,21	0,03
CaO	0,13	0,10
MgO	0,3	0,24
K ₂ O	0,58	1,10
P ₂ O ₅	0,01	0,07
CO ₂	2,76	0,72

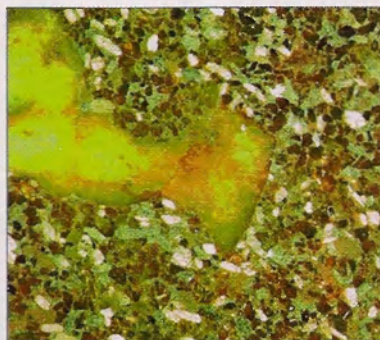
Таблица 2. Средний минеральный состав проб титановых руд, %

Минерал	1	2
Кварц	9	69,1
Мусковит	5,7	10,0
Куларит	2,1	3,8
Лейкоксен	7,1	9,3
Ильменит	5,8	0,9
Гематит	0,9	4,0
Монацит	0,3	0,2
Сидерит	7,3	1,9

Примечание. Проба 1 из керны разведочных скважин характеризует титановые руды средней толщи малоручейской свиты, 2 — нижней толщи.

Рис. 3. Лейкоксен-ильменит-кварцевый разноминеральный песчаник. Полированный препарат титановой руды Пижемского месторождения, темнопольное изображение. Размер поля 7×10 мм.

В центре — зерно жильного кварца, белесые лейсты — лейкоксен, темно-серые лейсты — лейкоксенизированный ильменит



вых минералов составляет 100–200 кг/т. Образование лейкоксена по ильмениту не вызывает сомнений, поскольку в рудах наблюдаются все переходные различия.

Технологические испытания обогатимости титановых руд Пижемского месторождения, проведенные в ОАО «Гиредмет», включали механическое и химическое обогащение руд с получением лейкоксенового и ильменитового концентратов. Эти же испытания позволили установить два типа титановых руд, условно названные песками и песчаниками. Пески — это слабосцементированные песчаники ильменит-лейкоксен-кварцевой состава, приуроченные к средней толще малоручейской свиты. Песчаники — это крепко сцементированные гематит-гетит-сидерит-лейкоксен-кварцевые руды, приуроченные к нижней толще малоручейской свиты. На определенной стадии технологического процесса руды обоих типов при обогащении можно объединить в один технологический поток.

Изучены особенности минерального состава титановых руд и типоморфные особенности главных и акцессорных минералов. Как уже было отмечено, пространственно Пижемское титановое месторождение совмещено с полиминеральным проявлением Ичетью. Оба рудных объекта объединены единой кварцевой матрицей; общностью слагающих их рудных и нерудных минералов (всего определено более 40 минеральных видов, из которых 75 % встречаются в обоих объектах), и, вероятно, одним генезисом. На представительном материале керновых и штучных проб из коренных обнажений рудных толщ двух объектов (результаты количественного минералогического анализа) проведен факторный анализ с целью установления возможных коренных источников полезных компонентов проявления Ичетью [6]. Расчеты показывают, что нижняя малоручейская толща могла быть промежуточным коллектором, размыв которой мог формировать тяжелый шликс продуктивного конглобрекчиевого горизонта Ичетью, по крайней мере в отношении титаносодержащих минералов и золота. Вопрос об источниках собственно алмазов остается открытым, поскольку они в подстилающих толщах малоручейской свиты пока не обнаружены, так как толща на алмазы не опробовалась. Охарактеризованы особенности химического состава лейкоксенизированного ильменита и хромшпинелидов Пижемского месторождения и проявления Ичетью, которые могут способствовать решению проблемы установления коренных источников этих минералов. Наиболее яркой особенностью состава ильменитов обоих рудных объектов является высокое содержание изоморфного марганца (от 1 до 7 % MnO), характерного акцессорного минерала четласких лампрофиров.

Существует множество противоречий (геологических, литологических, геохимических), которые не позволяют однозначно трактовать генезис Пижемского месторождения как древнюю россыпь по корам выветривания рифейских сланцев. До сих пор не обнаружены современные коры выветривания с полным профилем на рифейских сланцах Вольско-Вымской гряды. В титаносодержащей толще отсутствует сортировка материала, не выдержаны мощность пластов, содержание и соотношение полезных компонентов, а также закономерная фациальная изменчивость. Зерна кварца в рудах остроугольные — обломочные и совершенно не окатаны. Хрупкие лейсты лейкоксена и игольчатые кристаллы рутила не могут переноситься в водных потоках

на большие расстояния. Исследования шликсовых проб современных аллювиальных отложений вокруг месторождения в реках Пижма, Умба и Средняя показали, что заметные концентрации лейкоксена в шликах наблюдаются на расстоянии не более одного километра от выхода на поверхность титаносодержащих отложений. Далее хрупкие, неустойчивые к переносу на большие расстояния лейкоксен и игольчатый рутил в шликах отсутствуют. Изотопный состав углерода и кислорода сидерита из титаносодержащих песчаников отличается от осадочных карбонатов. Получены первые изотопные (Rb-Sr) данные, позволяющие оценить возраст титановых руд в 688 ± 17 млн лет (как рифейский), т. е. более древний, чем считалось ранее (девонский).

Комплексность Пижемского месторождения

Основным промышленным компонентом руд является титан, и, тем не менее, Пижемское месторождение в перспективе в процессе его дальнейшей разведки можно будет рассматривать как комплексное, поскольку породы вскрыши содержат ряд полезных компонентов.

Каолинитовые песчаники. Верхняя толща малоручейской свиты представляет собой каолинизированные песчаники и алевролиты, содержащие от 5 до 57 % каолинита. Мощность толщ невыдержанная — от 0 до 17 м. Каолинитовые песчаники и алевролиты должны явиться предметом исследования с целью оценки возможности извлечения каолинита — сырья для керамической и глиноземной отрасли промышленности. Прогнозные ресурсы каолинитовых слабосцементированных песчаников оцениваются в 5 млн т.

Золото, алмазы, редкоземельная, редкометаллическая, титановая минерализация. Грубозернистые отложения, содержащие эти компоненты, залегают выше титаносодержащей толщи, во вскрыше. Продуктивный пласт имеет весьма незначительную мощность — от 0,2 до 1,5 м. Промышленные содержания золота (от 0,2 до 12 г/м³) и алмазов (0,02–0,2 кар/м³) приурочены к пятнам и «струям» северо-восточного направления. Около 80 % кристаллов алмаза — ювелирного качества, средняя масса кристаллов 37 мг (встречен один кристалл массой 440 мг). При комплексной отработке месторождения (рис. 4) промышленный интерес могут представлять редкоземельная



Рис. 4. Опытная фабрика для выделения полезных компонентов из продуктивных конглобрекций проявления Ичетью

(монацит, куларит, флоренсит), редкометалльная (колумбит, ильменорутит, циркон, ксенотим) и титановая (рутил, псевдорутит, ильменит, лейкоксен) минерализация проявления Ичетью [7]. Выход тяжелой фракции продуктивного пласта составляет 0,5–2 кг/м³.

Кварцевые (стекольные) песчаники. Мощность кварцевых песчаников превышает 20–30 м. Их прогнозные ресурсы оцениваются в 500 млн м³. Содержание SiO₂ в кварцевых песках составляет 98,4 %. Испытания в отделе НВП Центр-ЭСТАgeo (МИСиС) показали, что кварцевые песчаники пижемской свиты пригодны для производства оконного, автомобильного, химического, бутылочного стекла. При обогащении содержание в них железа можно уменьшить до 0,02–0,03 % с получением продукта высшего сорта (согласно ГОСТ), ранее не производимого в России, что позволит использовать пески в стекольной промышленности без ограничений. Крупнозернистая гравелитистая часть песчаников может быть использована для очистки питьевых вод. Организация специального обогатительного комплекса по классификации и фракционированию кварцевых песчаников позволит использовать их при изготовлении разнообразных строительных смесей.

При селективном извлечении и обогащении кавитационным способом кварц из рудных титаносодержащих песчаников также может быть использован в качестве стекольных песков.

Возможность использования кварцевых песчаников и продуктов их обогащения для изготовления строительных смесей, очистки воды и иных целей следует изучать дополнительно.

Базальты залегают выше кварцевых песчаников. Они слагают лавовые покровы и потоки мощностью от 1 до 40 м (средняя мощность 10 м). Прогнозные ресурсы базальтов в пределах месторождения оцениваются в 10 млн м³. Базальт пригоден для производства щебня марки 1000 и выше. Он может быть использован также для отсыпки железных и автодорог как наполнитель при приготовлении бетона и при производстве термостойкого волокна для изоляции труб.

Программа комплексного освоения Пижемского месторождения

В ОАО «Гиредмет» разработана схема комплексной переработки титановых руд Пижемского месторождения с получением ильменитового и лейкоксенового концентратов. Разработана схема обогащения, проведены предпроектные экономические расчеты и обоснования, которые показали целесообразность освоения месторождения. Значительные запасы этого уникального месторождения позволяют организовать крупное предприятие длительно-го функционирования. Предприятие может эксплуатироваться при соблюдении всех требований Федерального закона «О недрах» в части рационального использования природных ресурсов, экологической безопасности и экономической целесообразности.

Освоение месторождения наиболее рационально начать со строительства открытого карьера (титанового рудника) в юго-восточной части месторождения.

На предприятии следует построить обогатительную фабрику, хвостохранилище, объекты инфраструктуры: вахтовый поселок, подъездные автодороги, ремонтное и

энергетическое хозяйство, систему водоснабжения, очистные сооружения и т. д.

Товарными продуктами предприятия будут титановые (ильменитовый и лейкоксеновый) концентраты, которые являются сырьем для производства диоксида титана, титановой губки и титановых лигатур. Попутно при обескремнивании титановых концентратов может быть получен высококачественный осажденный кремнезем (белая сажа).

Технико-экономическая оценка Пижемского горно-обогатительного комплекса выполнена при годовой мощности по добыче руды 3 млн т/год, с получением 200 тыс. т титановых концентратов. Продолжительность работы ГОКа на одном карьере — 20 лет. При этом общая продолжительность отработки лицензированной части месторождения составит более 100 лет. Масштабы месторождения позволяют увеличить мощности добывающего предприятия.

Освоение Пижемского месторождения позволит создать в стране действующую сырьевую базу титана и, как следствие, возможность строительства завода по выпуску пигментного диоксида титана, производство которого в настоящее время в России отсутствует.

С учетом запасов находящегося в непосредственной близости Ярегского нефтетитанового месторождения развитие этого региона как источника титанового сырья представляется весьма перспективным.

При этом следует иметь в виду, что Пижемское месторождение еще нуждается в доизучении. Однако его освоение имеет ряд преимуществ перед освоением Ярегского нефтетитанового месторождения, заключающихся в следующем:

- добыча руд может осуществляться открытым способом с меньшей глубины;
- отсутствием нефти, которая отягощает производственный процесс получения концентратов;
- простой инженерно-гидрогеологической обстановкой;
- меньшим содержанием кварца в черновых концентратах.

В перспективе возможно слияние этих предприятий в совместном проекте строительства перерабатывающего комбината и совмещение технологических цепочек для производства конечных титановых продуктов.

Продолжение работ по геологическому и технологическому изучению Пижемского месторождения, особенно в части обескремнивания титановых концентратов, позволит раскрыть его потенциал более полно.

Реализация проекта освоения Пижемского титанового месторождения, наряду с бесперебойным обеспечением титановым сырьем промышленности РФ на длительную перспективу, позволит решить проблему занятости населения Усть-Цилемского района, обеспечит комплексное освоение природных ресурсов региона, решит транспортные проблемы дальнейшего освоения севера европейской части России и сыграет определяющую роль в развитии экономики Республики Коми.

Библиографический список

1. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. — М. : Научный мир, 1997. — 430 с.
2. Тигунов Л. П., Быховский Л. З., Зубков Л. Б. Титановые руды России: состояние и перспективы освоения //

- Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая, № 17. — М.: Изд-во ВИМС, 2005. — 104 с.
3. Ремизова Л. И. Титан // Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2008 году». — М.: Центр «Минерал» ФГУНПП «Аэрогеология», 2009. С. 205–212.
 4. Игнатьев В. Д., Бурцев И. Н. Лейкоксен Тимана. Минералогия и проблемы технологии. — СПб.: Наука, 1997. — 215 с.
 5. Цаплин А. Е., Тополук В. В., Бакулина Л. П., Довжикова Е. Г. Строение титаноносной малоручейской свиты Среднего Тимана // Изв. вузов. Геология и разведка. 1988. № 9. С. 57–62.
 6. Макеев А. Б., Дудар В. А., Макеев Б. А. Возможные источники полезных компонентов месторождения Ичетью // Сыктывкарский минералогический сборник. 2002. № 31. С. 117–123.
 7. Макеев А. Б., Макеев Б. А., Филиппов В. Н. Ниобиевые и титановые минералы проявления Ичетью (Средний Тиман) // Материалы совещания «Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования». — М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 271–272. 

Макеев Александр Борисович,
e-mail: abmakeev@mail.ru
Дудар Вадим Афанасьевич,
Самарова Генриетта Симоновна,
e-mail: samgs@yandex.ru
Тигунов Леонид Петрович,
e-mail: armand-vims@vims-geo.ru
Быховский Лев Залманович,
e-mail: lev@vims-geo.ru

PIZHEMSK TITANIUM DEPOSIT (MIDDLE TIAMAN): ASPECTS OF A GEOLOGICAL FEATURE AND DEVELOPMENT

A. B. Makeev, V. A. Dudar, G. S. Samarova, L. P. Tigunov, L. Z. Bykhovskiy

Titaniferous sandstones of the Pizhensk Deposit compose a malorucheyensk suite, which is locally spreaded (6-18 km) in the North of the Vymyk-Volsk ridge (Middle Timan). This suite forms the Pizhensk sag.

A mineral content of the ore is prevalently formed by leucoxene. It's content in the sandstones reaches 10-20%.

Common content of the titanium minerals reaches 100-200 kg/t. The force of the ore stratum changes from 10 to 84,8 m and is defined by the palaeotopography. Overburden rocks compose large deposits of high-quality quartz glass sandstones, kaolin-quartz sandstones and basalts. These rocks characterize the Pizhensk deposit as the largest object for complex development. Titanium concentrates (ilmenite and leucoxene) are the marketable products of the designed enterprise.

Key words: Pizhensk Deposit, ilmenite, zircon, rutile, sandstones, kaolin-quartz sandstones.

REDEFINING SCREENING • WASHING • PELLETIZING TECHNOLOGY



HAVER HYDRO-CLEAN®

REDEFINING H₂O

HAVER Hydro-Clean - промывочная установка дезинтегрирует до 400 т/ч необработанного материала в конечный ценный продукт, качественно улучшает дальнейшие процессы обогащения, давлением воды до 200 атм. (2900 psi)

HAVER Hydro-Clean дезинтегрирует липкий материал от твердой кристаллической составляющей, а также загрязнения из материала, который вы прежде считали отходами. Уникальный промывочный процесс может использовать до 15% меньше энергии и на 75% меньше воды, чем обычные системы и требует лишь 10% чистой воды. Это значительно снижает эксплуатационные расходы и нагрузку на окружающую среду.

HAVER HYDRO-CLEAN превращает H₂O в высокопроизводительный дезинтегрирующий инструмент.

Europe, Russia, Moskau:

Haver & Boecker

+7(495)783 34 48

e-mail: a.kolomiets@haverrussia.ru

www.haverrussia.ru

North America:

W.S. Tyler

1-800-325-5993

South America:

Haver & Boecker Latinoamericana

55-3879-9100

THE SCREENING GROUP

HAVER

www.haverscreeninggroup.com