

---

# ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

## ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

### МАТЕРИАЛЫ

Всероссийской  
научно-практической  
конференции, посвященной  
юбилеям директоров  
ГИН СО РАН Э.Г. Конникова  
и А.Г. Миронова

УЛАН-УДЭ, 10 – 11 ОКТЯБРЯ 2025

---

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Геологический институт им. Н. Л. Добрецова  
Сибирского отделения Российской академии наук



# ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## МАТЕРИАЛЫ

Всероссийской научно-практической конференции,  
посвященной юбилеям директоров ГИН СО РАН  
Э.Г. Конникова и А.Г. Миронова

УЛАН-УДЭ, 10 – 11 ОКТЯБРЯ 2025

УЛАН-УДЭ  
2025

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Е. В. Кислов (ответственный редактор),  
Н. Г. Бугаева (секретарь),  
В.И. Васильев, М. А. Ербаева,  
А.М. Плюснин, М.О. Рампилов,  
И.Г. Татьков.

**УДК 55**

Геология и металлогения цветных и благородных металлов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной юбилеям директоров ГИН СО РАН Э.Г. Конникова и А.Г. Миронова. Улан-Удэ, 10–11 октября 2025. Улан-Удэ: Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 2025. — 110 с.

В сборнике представлены труды Всероссийской научно-практической конференции «Геология и металлогения цветных и благородных металлов», на которой были представлены и рассмотрены новейшие достижения и результаты исследований петрологии и минерагии ультрамафит-мафитовых, щелочных и карбонатитовых комплексов, геохимии и металлогении благородных, радиоактивных и редких металлов, водных и экологических проблем, геофизических и экспериментальных методов, геологии кайнозоя. Материалы сборника представляют интерес для широкого круга геологов, преподавателей и студентов геологических факультетов высших учебных заведений. Тезисы печатаются в авторской редакции.

# ВВЕДЕНИЕ

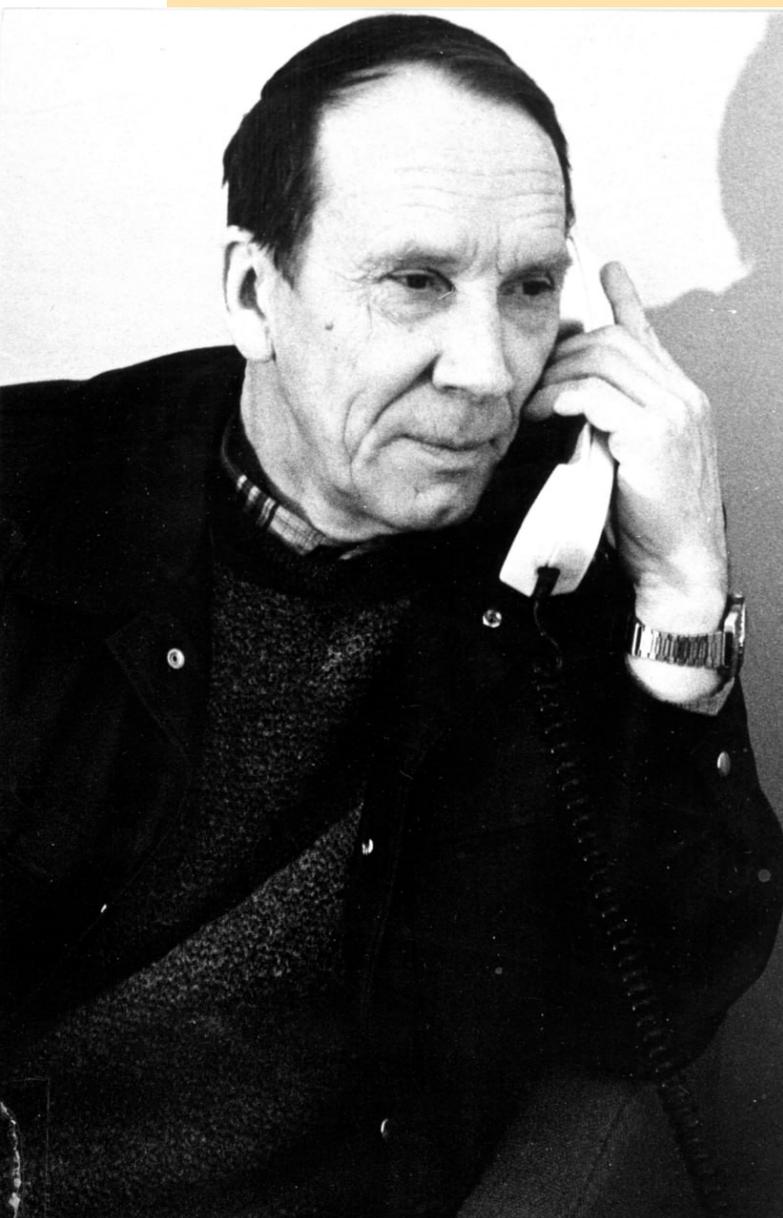
---

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н.Л.Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН) и Отдел геологии и лицензирования Департамента по недропользованию по Дальневосточному федеральному округу по Республике Бурятия (Бурятнедра) организовали и провели в г. Улан-Удэ 10–13 октября 2025 года Всероссийскую научно-практическую конференцию «Геология и металлогения цветных и благородных металлов», посвященную юбилеям директоров ГИН СО РАН Э.Г.Конникова и А.Г.Миронова.

Секции конференции были посвящены юбилейным датам ведущих специалистов и научных подразделений ГИН СО РАН:

- **Секция «Петрология и минерагения ультрамафит-мафитовых комплексов»** посвящена 90-летию Э.Г.Конникова;
- **Секция «Геохимия и металлогения благородных, радиоактивных и редких металлов, эксперимент»** посвящена 80-летию А.Г.Миронова;
- **Секция «Геология и металлогения щелочных и карбонатитовых комплексов»** посвящена 90-летию Г.С.Риппа и А.О.Шаракшинова;
- **Секция «Водные и экологические проблемы»** посвящена 45-летию лаборатории гидрогеологии и геоэкологии;
- **Секция «Геофизические методы в изучении геологии цветных, благородных и радиоактивных металлов»** посвящена 90-летию А.М.Гофмана, 95-летию М.А.Нефедьева и 35-летию лаборатории методов сейсмопрогноза;
- **Секция «Геология кайнозоя, коры выветривания, россыпи»**, посвященная 90-летию И.Н.Резанова.

## ЭДУАРД ГЕРМАНОВИЧ КОННИКОВ



В 2025 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Конникова Эдуарда Германовича (30.08.1935–27.09.2011), учёного в области петрологии и рудообразования в ультрабазит-базитовых комплексах.

Родился в г. Перми. В 1958 г. окончил Ленинградский горный институт имени Г.В.Плеханова по специальности геология и разведка месторождений полезных ископаемых. В 1958–1959 гг. – старший техник-геолог, начальник Южно-Алтайской ГРП Восточно-Казахстанского геологического управления (пос. Алексеевка Восточно-Казахстанской области). В 1959–1972 гг. – начальник партии, старший инженер по поискам Алтайской геолого-съёмочной экспедиции ВКГУ (пос. Перевальное Восточно-Казахстанской области).

В 1972–1995 гг. работал в Отделе геологии Бурятского комплексного научно-исследовательского института СО АН СССР – Бурятском геологическом институте СО АН СССР в должности старшего научного сотрудника в лаборатории рудогенеза (1972–1980 гг.), заведующего лабораторией магматогенного рудообразования (с 1980 г.), заместителя директора по науке (1988 г.), директора института (1989–1995 гг.).

С 1995 г. перевелся в Институт экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка Московской области), где работал заведующим лабораторией, заместителем директора, в последние годы ведущим научным сотрудником.

В 1971 г. в качестве соискателя защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата наук по теме «Особенности магматизма зоны сочленения Юго-Западного Алтая и Колбы» в Институте геологии и геофизики СО АН СССР (г. Новосибирск). Там же в 1983 г. защитил диссертацию на соискание учёной

степени доктора наук «Дифференцированные гипербазит-базитовые комплексы докембрия Забайкалья: петрология и рудообразование».

Награждён медалями «За строительство БАМ», «За доблестный труд», в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина, «Ветеран труда». Эдуард Германович – Заслуженный деятель науки Республики Бурятия, Человек-1992 года (Кембридж, Англия), Заслуженный ветеран СО РАН.

Эдуард Германович Конников за время работы в нашем институте развил представления о формационной принадлежности ультраосновных и основных интрузий докембрия северных районов Прибайкалья, Забайкалья и Восточного Саяна. Им разработан метод локального прогноза богатого медно-никелевого оруденения, учитывающий процессы взаимодействия базитового расплава с породами сиалической коры, который был одобрен Министерством геологии СССР.

Э.Г.Конников внёс значительный вклад в изучение офиолитовых комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и связанных с ними проблем металлогении. При исследовании Ильчирского офиолитового пояса в Восточном Саяне им впервые закартированы покровные структуры и полный набор компонентов офиолитового разреза. Геохимически установлено присутствие бонинитовых даек в офиолитах региона и выявлена обогащённость ряда офиолитовых комплексов золотом. На основании этих данных и присутствия в золотосодержащих рудах этого района металлов платиновой группы им разработана принципиальная рудогенетическая модель, согласно которой офиолиты были одним из источников золота при формировании месторождений. Эдуардом Германовичем,

на примере мантийных магматических комплексов Северного Прибайкалья и Забайкалья, показана роль ассимиляционных процессов в размещении сульфидного и оксидного (Fe-Ti-V) оруденения в расслоенных мафит-ультрамафитовых плутонах.

Под руководством Э.Г.Конникова защищены 4 кандидатские диссертации. Он был Председателем Диссовета по присуждению учёной степени кандидата геолого-минералогических наук Геологического института БФ СО АН СССР, а также членом Диссовета по присуждению учёной степени доктора и кандидата геолого-минералогических наук Объединённого института геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Новосибирск). На протяжении ряда лет был членом редколлегии журнала «Геология и геофизика». Входил в состав Научного Совета по проблемам геологии докембрия при Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (Санкт-Петербург); Объединённого учёного совета по наукам о Земле СО РАН (Новосибирск), Научного Совета по проблемам рудообразования и металлогении, Секции петрологии, геохимии и рудообразования.

Результаты исследований Э.Г.Конникова изложены в более 300 научных работах, из них 10 монографий.



## АНАТОЛИЙ ГЕОРГИЕВИЧ МИРОНОВ



В 2025 г. исполняется 80 лет со дня рождения Анатолия Георгиевича Миронова (03.06.1945–25.11.2021), учёного в области геохимии и рудообразования.

Он родился в с. Чернореченское Красноярского края. В 1967 г. окончил Томский политехнический институт по специальности геология и разведка месторождений полезных ископаемых. В 1967–1970 гг. работал ассистентом и инженером НИСа на кафедре месторождений полезных ископаемых ТПИ. В 1970–1973 гг. – учёба в очной аспирантуре при Институте геологии и геофизики СО АН (Новосибирск).

После окончания аспирантуры и защиты диссертации, в 1973 г. приглашён в организуемый в Бурятии Геологический институт БФ СО АН СССР, где он прошёл путь от младшего научного сотрудника (1973 г.), старшего научного сотрудника (1976 г.), заведующего лабораторией геохимии (1981 г.), заместителя директора по науке (1993 г.), до директора Института (1996–2008 гг.). Был заместителем Генерального директора Объединённого института геохимии и геологии СО РАН, созданного в 1997 г. на базе Института геохимии СО РАН и Бурятского геологического института СО РАН.

В 1973 г. защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по теме «Радиоактивные элементы и золото в рифейских вулканогенных породах Енисейского кряжа» в ИГиГ СО АН СССР. В 1989 г. на Специализированном совете этого же Института – доктора геолого-минералогических наук по теме «Радиоактивные индикаторы в изучении геохимии золота и золоторудных месторождений».

А. Г. Миронов был членом редакционного Совета журнала «Геология и геофизика», научно-технического совета при Правительстве Республики Бурятия, Объединенных ученых советов по наукам о Земле РАН и СО РАН, двух специализированных Ученых советов по защите кандидатских и докторских диссертаций (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ и ИГХ СО РАН, г. Иркутск).

Анатолий Георгиевич награжден Медалью Ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, Почетным знаком «Серебряная Сигма», а также Почётными грамотами Правительства Республики Бурятия, РАН и СО РАН; присвоены почётные звания «Заслуженный деятель науки Республики Бурятия», «Заслуженный ветеран СО РАН».

Основными направлениями научных исследований Анатолия Георгиевича были геохимия и рудообразование золота, разработка геолого-генетических моделей формирования полигенных месторождений. В течение ряда лет он занимался изучением геохимии и металлоносности углеродистых отложений Восточную Саяны и Забайкалья как источника многих металлов и нового типа нетрадиционных месторождений. Им осуществлен новый подход к интерпретации связи золоторудных месторождений с офиолитовыми и черносланцевыми комплексами на основе геодинамических реконструкций обстановок их формирования. Благодаря этому был открыт новый тип золотого оруденения в метаморфизованных (колчеданных) рудах, связанных с черносланцевыми отложениями в основании офиолитового покрова.

Коллективом исследователей под руководством А. Г. Миронова впервые установлены ураноносные фосфориты в донных осадках Байкала, дана

их вещественная характеристика, показаны возможности использования для палеоклиматических реконструкций.

Наиболее важные научные достижения Анатолия Георгиевича были связаны с работами, посвященными экспериментальным исследованиям геохимии золота с помощью метода радиоизотопных индикаторов. Им разработан и использован в геохимических и петрологических исследованиях автордиографический метод детектирования радиоизотопов ( $^3\text{H}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{110}\text{Ag}$ ,  $^{195}\text{Au}$ ,  $^{198}\text{Au}$  и др.) в геологическом эксперименте, позволивший решить многие вопросы геохимии золота на магматическом, гидротермальном и экзогенных этапах поро-до- и рудообразования. Кроме того, данный подход был использован при разведке крупных золоторудных месторождений, в том числе Зун-Холбинского. Новый подход позволил установить нетрадиционные типы благороднометалльных месторождений и новый этап формирования золоторудных месторождений в северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса.

А. Г. Миронов — автор и соавтор более 300 работ, из них 15 монографий.

В 1995–2007 гг. он преподавал курс геохимии в Бурятском государственном университете, где в 1999–2007 гг. был заведующим кафедрой геологии. В 2001 г. утверждён в учёном звании профессора по кафедре геологии БГУ.

А. Г. Мироновым была создана научная школа рудно-геохимического направления, объединяющая докторов и кандидатов наук, молодых сотрудников, аспирантов и студентов. Школа получила общероссийское признание, завоевав грант Президента Российской Федерации.

## Карбонатиты в железорудных месторождениях ангаро-илимского типа (Сибирская платформа)

**А. А. АМИРЖАНОВ**

*Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов,  
Иркутск, Россия, [amirzhanov.al@mail.ru](mailto:amirzhanov.al@mail.ru)*

Генезис месторождений связан с глубинными ЩУОК, от которых в рудолокализирующие структуры внедрились: 1) дифференцированная фоскоритовая апатит-форстерит-магнетитовая серия; известная также как «предкарбонатиты», 2) карбонатиты, 3) в единичных случаях фиксируются сиениты. Т.е. поверхность достигают поздние менее вязкие дифференциаты ЩУОК. Структуры прорывают трапповые силлы, пришедшие из Канско-Тасеевской впадины. Известные на юге платформы и севернее трапповые палеовулканы безрудны.

Некоторыми авторами карбонатиты отнесены к «реоморфическим» [8], сформированным при взаимодействии траппов с карбонатно-соленосными отложениями чехла либо с доломитами. Такая интерпретация генезиса карбонатитов неприемлема, поскольку в месторождениях нет высокотитанистых руд [1]. Непосредственно в пределах Средне-Ангарского Fe-рудного района расположен Чадобецкий комплекс – синхронный с Маймеча-Котуйской и Ангарской провинциями; все они контролируются единой системой разрывных нарушений. Карбонатиты известны в центре платформы в составе железорудных районов. Недавно карбонатиты в ассоциации с фоскоритами обнаружены на западном берегу Байкала [7].

Для карбонатных образований с обломками родингитизированных (КПи, Гр и др.) вмещающих пород при наличии Фо, Шп, Монт, КПи, Фл применялся термин «Mg-скарны», впрочем как и для Фо-содержащих руд. Позднее выделялись «кальцититы» и, далее, «реоморфические карбонатиты». Существенно кальцитовые породы образуют полифациальные тела – ветвящиеся жилы, дайки, силлы. Так, в Коршуновском месторождении силлы карбонатитов прослежены до 9 км от месторождения [8]. В центре Тунгусской синеклизы аналогичная полифациальность, например, фиксируется в Чавидинском железорудном месторождении: 1) шток крупнозернистых карбонатитов с магнетитовыми жилами и 2) силлы светло-серых тонкозернистых карбонатитов с лейстами кальцита и вкрапленностью флюорита.

Карбонатитовые расплавы, внедряющиеся после фоскоритовых, насыщаются магнетитом с образованием магнетит-кальцитовых руд. Отмечается сепарация магнетита, слагающего зальбанды жил. Подобная сепарация в макромасштабе наблюдается в массиве Палабора.

Фоскоритовые и карбонатитовые расплавы насыщены летучими компонентами, в связи с чем проявлены рудный метасоматоз и карбонатизация. Последняя сопровождается фенизацией брекчий. Привносятся CO<sub>2</sub>, S, F и значительные количества калия (до 7,68 вес.% K<sub>2</sub>O). Количество КПШ достигают 38%; иногда с ним формируется альбит. Цемент – сульфат-карбонатные породы (кальцит, ангидрит, гипс, пирит, кварц, флюорит, сульфиды, медь и др.). Установлены также адуляризированные долериты и калишпатовые породы (Тагарское м-ние).

В месторождениях фиксируются геохимические поля элементов, характерных (когерентных) для карбонатитов (Sr, Ba, Cu, PЗЭ) [3].

Изотопия С и О показывает (рис.): 1) широкий разброс значений для карбонатитов Ангарской провинции; 2) несовместимость с «общепринятыми» данными как для «типичных карбонатитов», так и осадочных пород; 3) совпадение с изотопными данными для карбонатитов Томторского массива, подтверждая щелочно-ультраосновную природу месторождений.

В целом следует признать неприемлемость «общепринятых» классификационных характеристик ввиду структурно-вещественных особенностей Сибирской платформы. Безусловно главный фактор – это мощный осадочный чехол (до 3,5 км и более) в пределах Ангарской провинции, хотя и в такой геологической ситуации карбонатиты отличны от осадочных пород. Аномально низкие значения  $\delta^{13}\text{C}$  кальцитов обусловлены присутствием в них, вероятно, метана; для некоторых кальцитов из месторождений  $\delta^{13}\text{C}$  снижается до – 63,46‰ [6].

Как видно, карбонатиты центральной части платформы в основном сходны с карбонатитами

Ангарской провинции и Томтора, но существуют и близкие к «классическим», причём это именно мелкозернистые неизменённые полосчатые, т.е. субвулканическая фация. Температуры по соотношению  $\delta^{18}\text{O}$  в кальците и магнетите вполне удовлетворяют условиям расплавов, но автором эти породы отнесены к «карбонатитоподобным» [4], с чем трудно согласиться, учитывая явно интрузивный характер залегания карбонатитов.

Таким образом, доминирующим фактором отнесения пород к карбонатитам являются интрузивная форма залегания, некоторые особенности структуры (уменьшение зернистости к краям жил, сферолиты и другие), наличие Фо и Монт, свидетельствующее о низком парциальном давлении воды и высоком  $\text{CO}_2$ . Кроме того, с карбонатитами Сибирской платформы связаны несколько месторождений, кроме железа, также стронция, меди и др.

Известные «трапповые» месторождения исландского шпата Тунгусской синеклизы своим образованием обязаны деятельности растворов, отщеплённых от карбонатитов. Доказательством вывода является формирование шпата в месторождениях Ангарской провинции, его изотопные характеристики (рис.), тесная связь с железоруднением и сопутствующим метасоматозом; так по [2] «процессы минералообразования в месторождениях

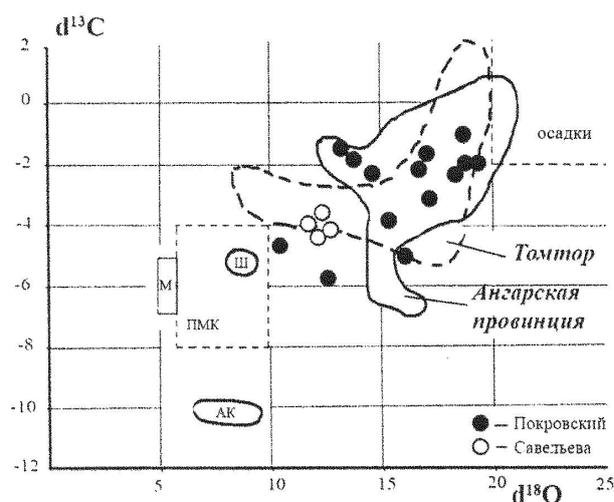


Рис. Сплошная линия – Ангарская провинция ([6] и автор; Ш – исландский шпат Рудногорского м-ния, автор; АК – аномальные кальциты [6]). Пунктир – карбонатиты Томторского щёлочно-ультраосновного массива ([5]); чёрные точки – по данным [4]; незалитые кружки – карбонатиты западного берега Байкала [7]

исландского шпата в долеритах протекали в три стадии: гранат-магнетитовая, кремнисто-карбонатную и цеолит-кальцитовую». Эти стадии характерны и для Ангарской провинции.

## Литература

1. Амиржанов А.А., Суворова Л.Ф. Особенности состава и генезис магнетита из железорудных месторождений Ангарской провинции (Россия) // Геология рудных месторождений. 1999. № 2. С. 171–182.
2. Андрусенко Н.И., Кузовнин С.А. Роль структурно-тектонических факторов в размещении месторождений исландского шпата, связанных с интрузивными траппами // Тр. Всес. н.-и. ин-та пьезооптического и минерального сырья, т. 7, 1962.
3. Мальцева Г.Д. Минералого-геохимическая характеристика железорудных месторождений ангаро-илимского типа // Сб. Геология, поиски и разв. месторожд. рудных полезных ископаемых. Иркутск, ИПИ, 1990. С. 121–137.
4. Покровский Б.Г., Врублевский В.В., Сапронов Н.Л. и др. Изотопный состав кислорода и углерода карбонатитоподобных пород Тунгусской синеклизы. // Петрология, 2001, т. 9, № 4, С. 433–445.
5. Пономарчук В.А., Жмодик С.М., Лазарева Е.В. и др. Изотопы углерода и кислорода в карбонатах карбонатитов Томторского REE-Nb месторождения /Тр. Ферсмановская науч. сессия ГИ КНЦ РАН, 2020, 17, С. 454–458.
6. Пухнаревич М.М. Условия и особенности формирования эндогенных месторождений юга Сибирской платформы. Иркутск. 1986. 336 с.
7. Савельева В.Б., Демонтерова Е.И., Данилова Ю.В. и др., Новый карбонатитовый комплекс в Западном Прибайкалье (юг Сибирского кратона) // Петрология, 2016, т. 24, № 3, С. 292–324.
8. Фон-дер-Флаасс Г.С. Гранулированные базальты, карбонатиты и туффизиты в рудных полях Ангарской провинции // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 1999. С. 54–56.

## Радиогеохимическая характеристика апосерпентинитового и аподоломитового нефрита

АНТОНОВ Н.Ю., ГИН СО РАН, г.Улан-Удэ, Инженерный центр, [Antonovnikita1007@gmail.com](mailto:Antonovnikita1007@gmail.com)

ТАТЬКОВ И.Г., ГИН СО РАН, г.Улан-Удэ, Инженерный центр, [geogin03@yandex.ru](mailto:geogin03@yandex.ru)

Исследование радиогеохимического состава нефритов и нефритоидов Хангарульского, Харанурского и Воймаканского месторождений, было выполнено для определения возможности валового радиогеохимического опробования и разбраковки месторождений при подготовке экспортных партий нефрита-сырца с целью оценки возможности идентификации происхождения отдельных образцов в партии сырья и сокращения времени выполнения таможенной экспертизы.

По итогам эксперимента можно сделать вывод о том, что статистически по радиоактивности (по содержанию калия, урана и тория) образцы зеленых нефритов с двух разных месторождений (Хангарульское и Харанурское) отличаются в положении центральной части статистического распределения, также стоит отметить значительное отличие показателей белого нефрита с Воймаканского месторождения, с показателями зеленого нефрита (Хангарульское и Харанурское), статистические данные приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Сводная статистическая характеристика распределения радиогеохимических параметров изучаемых месторождений нефрита**

	ТС (ед.экв. U)	C(K) % г/тонну	C(U) % мг/ тонну	C(Th) % мг/тонну	U/Th	U/K	J мкЗв/ч
<b>ХАНГАРУЛЬСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ</b>							
Медиана	5,5	0,9	0,9	3,1	0,313	0,011	0,03
Стандарт	0,554	0,127	0,221	0,467	0,086	0,003	0,005
Минимум	4,946	0,773	0,679	2,633	0,227	0,008	0,025
Максимум	6,054	1,027	1,121	3,567	0,399	0,014	0,035
<b>ХАРАНУРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ</b>							
Медиана	5,9	1	0,75	3,15	0,234	0,008	0,03
Стандарт	0,534	0,107	0,283	0,346	0,109	0,003	0,005
Минимум	5,366	0,893	0,467	2,804	0,125	0,005	0,025
Максимум	6,434	1,107	1,033	3,496	0,343	0,011	0,035

<b>ВОЙМАКАНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ</b>							
Медиана	4,6	0,7	0,9	2,4	0,333	0,011	0,03
Стандарт	0,329	0,05	0,175	0,175	0,075	0,002	0,01
Минимум	4,271	0,65	0,725	2,225	0,258	0,009	0,02
Максимум	4,929	0,75	1,075	2,575	0,408	0,013	0,04
<b>СРАВНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПЕРЕСЕЧЕНИЯМ</b>							
Хангарул-Харанур	+/-	+/-	+/-	+	-	+/-	+
Харанур-Воймакан	-	-	+/-	-	-	+/-	+
Хангарул-Воймакан	-	-	+	-	+	+	+
<b>СРАВНЕНИЕ ЦЕНТРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МЕДИАНЕ</b>							
Хангарул-Харанур	-0,4	-0,1	0,15	-0,05	0,079	0,003	0
Харанур-Воймакан	1,3	0,3	-0,15	0,75	-0,099	-0,003	0
Хангарул-Воймакан	0,9	0,2	0	0,7	-0,02	0	0

Таким образом образцы белого нефрита и зеленого нефрита хорошо различаются по общей радиоактивности, содержанию калия и тория, а также по уран-ториевому отношению. Образцы с двух разных месторождений зеленого нефрита (Хангарульское и Харанурское) отличаются только по соотношению урана к торию.

Осложняющим элементом измерений является наличие локальных аномальных образцов. Например, образец НИ-2/6 полностью выпадающий из статистики по всем показателям. Для этого требуется корректировка методики измерения спектра гамма-излучения на более экранированную или применения методик с ионизацией образца.

В целом полученный результат можно рассматривать только в качестве качественного метода определения параметров для больших партий образцов, поскольку единичные измерения распределения не позволяют оценить положение отбираемого образца в выборке. Для улучшения эффективности и разбивки параметров требуется расширение статистики с использованием данных других месторождений белого и зеленого нефрита, а также применение более высокоточного оборудования, для дальнейшего изучения по форме кривой радиоактивного распада.

## Использование стабильных изотопов хлора ( $\delta^{37}\text{Cl}$ ) и брома ( $\delta^{81}\text{Br}$ ) при изучении засоления природных вод юго-востока Забайкалья

БОРЗЕНКО С.В.<sup>1</sup>, ДРЕБОТ В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, [svb\\_64@mail.ru](mailto:svb_64@mail.ru)  
СО РАН, Чита, Россия

<sup>2</sup> Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
Томск, Россия, [DrebotVV@ipgg.sbras.ru](mailto:DrebotVV@ipgg.sbras.ru)

В последние десятилетия территория юго-востока Забайкалья столкнулась с проблемой засоления вод, что пагубно сказывается на устойчивости уникальной экосистемы Онон-Торейских озер [1]. Одним из наиболее современных геохимических инструментов при изучении генезиса и механизмов образования высокоминерализованных вод в настоящее время являются стабильные изотопы хлора ( $\delta^{37}\text{Cl}$ ) и брома ( $\delta^{81}\text{Br}$ ) из-за их способности фракционировать при формировании солей. В рамках настоящей работы предлагается использовать данные этих параметров для получения наиболее полного представления о процессах засоления вод на примере системы солёных озёр и связанных с ними неглубоких подземных вод в юго-восточном Забайкалье [2].

$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$  и  $^{81}\text{Br}/^{79}\text{Br}$  определяли относительно стандартов среднеокеанического хлорида (SMOC) и среднеокеанического брома (SMOB) соответственно в лаборатории Isotope Tracer Technologies Inc. (Канада) методом масс-спектрометрии изотопных отношений при постоянном потоке (CF-IRMS) в сочетании с газовой хроматографией (GC). Химический состав вод определяли стандартными методами в лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН.

Озёра являются бессточными, по химическому составу относятся к содовому и хлоридному типам с pH от 8,5 до 9,6 и солёностью от 1 до 231 г/л. При относительно высоком значении pH (> 9) внутри содового типа выделяется два подтипа озёр: I подтип отличается меньшей солёностью вод и доминированием в химическом составе среди анионов  $\text{HCO}_3^-$ , а III подтип отличается большей солёностью вод и доминированием  $\text{Cl}^-$  [3]. Хлоридный тип выделяется меньшим значением pH, но большей солёностью вод. Содержание брома и хлора в составе озерных вод варьирует от 0,22 мг/л

до 212 мг/л и от 15,8 мг/л до 37 095 мг/л соответственно. Минимальные их значения отмечены в наполняющимся после полного иссушения оз. Барун-Торей (проба № 23 на рис.), а максимальные – в оз. Горбунка (проба № 4 на рис.). Среди озёр оз. Барун-Торей отличается самой низкой солёностью вод (0,9 г/л), а оз. Горбунка – самым низким значением pH (8,5). Грунтовые воды также отличаются разнообразным химическим составом. Величина pH подземных вод изменяется в пределах от 6,7 ( $\text{HCO}_3\text{Ca}$  воды) до 8,3 ( $\text{HCO}_3\text{Na}$  воды), солёность находится в пределах от 0,2 до 1,7 г/л. Максимальные содержания брома и хлора в составе подземных вод составляют 3,4 мг/л и 525 мг/л соответственно.

В целом для грунтовых вод характерен больший разброс значений  $\delta^{37}\text{Cl}$  от  $-0,98\text{‰}$  до  $1,2\text{‰}$  и по сравнению с озёрами имеют положительные показатели  $\delta^{81}\text{Br}$  от  $0,69\text{‰}$  до  $2,83\text{‰}$ . Для озерных вод величина изотопного отношения хлора занимает более узкий диапазон  $-0,31\text{‰}$ ... $+1,05\text{‰}$ , чем для речных вод ( $-0,98\text{‰}$ ... $1,17\text{‰}$ ). Наиболее высокими значениями изотопного соотношения хлора выделяются хлоридные озёра, к которым относятся самосадочные оз. Горбунка, оз. Хилганта и оз. Дабаса-Нор (пробы № 4, 6 и 17 на рис.), а также наиболее солёное среди содовых оз. Борзинское (III подтип, № 26 на рис.). Данные по  $\delta^{81}\text{Br}$  ( $-0,28\text{‰}$ ... $+2,26\text{‰}$ ) в озёрах свидетельствуют о том, что изотопное отношение брома сдвинуто преимущественно в сторону положительных значений.

По связи содержаний  $\text{Cl}^-$  с  $\delta^{37}\text{Cl}$  и  $\text{Br}^-$  с  $\delta^{81}\text{Br}$  прослеживается разделение всех изученных вод на две группы (рис.). Первая объединяет грунтовые воды, а также реку и пресное оз. Барун-Торей с более низкими содержаниями хлора (до 1,7 г/л) и брома (до 27,3 мг/л), для которых характерен широкий разброс показателей  $\delta^{37}\text{Cl}$  (от  $-0,98\text{‰}$  до  $1,2\text{‰}$ ) и исключительно положительные значения

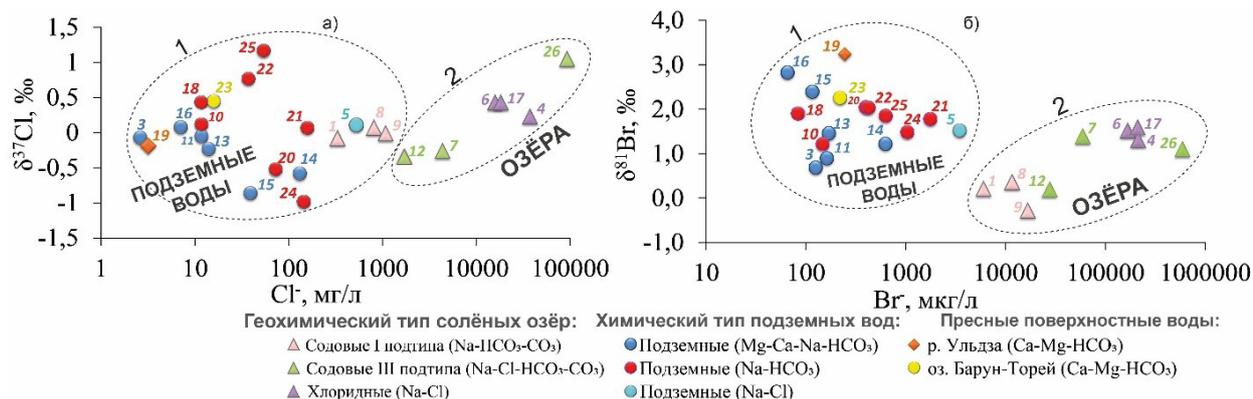


Рисунок 1 – Зависимость  $\delta^{37}\text{Cl}$  от содержания хлора (а) и  $\delta^{81}\text{Br}$  от содержания брома в солёных озерах и подземных водах.

$\delta^{81}\text{Br}$  (от 0,69‰ до 3,24‰). В то время как вторая объединяет солёные озёра с концентрациями  $\text{Cl}^- > 4,34$  г/л и  $\text{Br}^- > 5,27$  мг/л соответственно, значениями  $\delta^{37}\text{Cl}$  в более узком и скорее положительном диапазоне от  $-0,3$  до  $+1,05$ ‰ (рис. а) и околонулевыми или отрицательными значениями  $\delta^{81}\text{Br}$  (до  $-0,28$ ‰ в озере 9, рис. б)

В то же время точки относящиеся к озерам ложатся в единый тренд, что подчеркивает влияние схожих процессов, но разный масштаб их влияния на величины  $\delta^{37}\text{Cl}$  и  $\delta^{81}\text{Br}$  (рис. 1б). Одним из процессов, контролирующих геохимический тип воды является испарительная концентрация. Многочисленные наши исследования показали, что по мере увеличения степени испарения воды растут содержания хлора и брома, происходит смена типа и подтипов озер. На высшей стадии осолонения озер образуются соли. Многократное растворение и образование солей в солёных хлоридных и содовых III подтипа озёр приводит к большему обогащению вод  $^{37}\text{Cl}$  и  $^{81}\text{Br}$  в сравнении с менее солоноватыми содовыми озерами I подтипа, в которых соли не образуются.

Близкие значения  $\delta^{37}\text{Cl}$  в озерах и в водах ближайших скважин указывают на то, что озёрные

соли поступают в зону аэрации в результате эолового переноса и растворения атмосферными осадками, и/или диффузии. Что касается величины  $\delta^{81}\text{Br}$ , то их меньшие значения в озерах по сравнению с грунтовыми водами может объясняться микробиологическими процессами, которые участвуют в фракционировании изотопов брома, тогда как высокие значения  $\delta^{81}\text{Br}$  в подземных водах являются результатом взаимодействием воды с горными породами. Наследование от горных пород  $^{81}\text{Br}$  прослеживается по водам, заполненным в 2021–2022 гг. русло р. Ульдза и котловину оз. Барун-Торей, в которое она впадает.

Таким образом, использование данных по изотопному соотношению хлора  $\delta^{37}\text{Cl}$  и брома  $\delta^{81}\text{Br}$  в сочетании с другими геохимическими показателями может дать более полное представление о формировании химического состава природной воды с высокой солёностью и достовернее оценить влияние разных процессов в преобразовании их состава.

Исследование выполнено в рамках государственных заданий ИПРЭК СО РАН и ТФ ИНГГ СО РАН.

## Литература

1. Borzenko S. V. [et al.]. Ecosystems of soda lakes in the North-East of Central Asia in search of answers to the challenges of the time Buryat Scientific Center of SB RAS Press, 2021. С. 59–62.
2. Stotler, R.L., Frapе, S.K., Shouakar-Stash, O., 2010. An isotopic survey of  $^{81}\text{Br}$  and  $^{37}\text{Cl}$  of dissolved halides in the Canadian and Fennoscandian Shields. Chem Geol 274, 38–55.
3. Borzenko, S. V., Shvartsev, S.L., 2019. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia). Applied Geochemistry 103, 72–84.

## Предварительные результаты геолого-палеонтологических исследований четвертичных отложений, Окино-Ключевское угольное месторождение

Р.Ц. БУДАЕВ<sup>1</sup>, Б.Д.-Ц. НАМЗАЛОВА<sup>1</sup>, О.Д.-Ц. НАМЗАЛОВА<sup>1</sup>, Н.А. ЩЕПИНА<sup>1</sup>

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [ojunkanam@mail.ru](mailto:ojunkanam@mail.ru)

Геолого-палеонтологические исследования проводились на юго-западном фланге Окино-Ключевского угольного месторождения, где были пройдены несколько профилей колонкового бурения и два профиля шурфов, глубиной до 2 м. Проведено описание и опробование на различные виды лабораторных исследований (гранулометрический, палинологический и др.) шурфов, поиски и сбор ископаемой фауны, осмотр траншеи, заложенной на восточном фланге карьера, а также оползня, сформировавшегося в юго-восточной части территории.

Шурфовочные линии состоят из пяти шурфов, заложенных в субмеридиональном направлении, и трех шурфов, расположенных субширотно. По материалам изучения субмеридионального профиля (шурфы № 1–5) на Окино-Ключевском угольном месторождении установлено геологическое строение приповерхностной части рыхлых отложений. Близость отрогов Заганского хребта оказала решающее значение на формирование рельефа территории. Временные водотоки, стекавшие с Заганского хребта, выработали эрозионные долины и котловины, сформировали конусы выноса и сухие дельты в Хилокской межгорной впадине. Климатические изменения в плейстоцене оказали большое влияние на строение приповерхностных рыхлых толщ, особенно, в эпохи оледенений.

Геологическое строение горных выработок показало, что субмеридиональный профиль шурфов заложен на песчаных отложениях одного из конусов выноса временных водотоков. Западнее и восточнее конуса выноса были расположены небольшие понижения, заполненные позднее глинами.

Другой особенностью строения приповерхностных отложений является площадное развитие солифлюкционных процессов, охвативших осадки на глубине 0,3–1,85 м. Практически во всех шурфах отмечаются псевдоморфозы по ледяным клиньям и морозобойные трещины. Они рассекают верхний покровный песчаный слой. Возможно, морозное растрескивание грунта произошло в два разных периода: первое случилось во время формирования

осадков, залегающих на глубине 1,75–0,6 м (шурфы №№ 2 и 8), второе – после отложения покровного песчаного слоя (шурфы №№ 1, 2, 5).

В юго-восточной части Окино-Ключевского угольного месторождения был осмотрен оползень, сформировавшийся в прибортовой зоне, в 0,25–0,3 км от бровки карьера. В т.н.-4031 (N50° 35' 46.7" E107° 03' 29.4") была вскрыта расчисткой главная плоскость оползня и описан геологический разрез. На восточном фланге угольного месторождения прорыта траншея шириной до 5 м и глубиной до 2 м. В т.н.-4032 (N50° 36' 11.1" E107° 03' 56.4") была вскрыта западная стенка траншеи. Литологическое строение западной стенки магистральной траншеи свидетельствует о неоднократной смене условий формирования верхней рыхлой толщи угольного месторождения. Учитывая близость отрогов Заганского хребта, можно предположить, что осадкообразование связано с временными водотоками – изменениями мощностей конусов выноса и направлениями размыва ранее отложенных осадков.

Фаунистический материал собран с помощью послонной промывки рыхлых отложений и представлен многочисленными раковинами моллюсков, единичными находки амфибий и рептилий, костными остатками мелких млекопитающих. Моллюски встречались на разных глубинах в отложениях шурфов № 2–4, 6, т.н. 4031. Амфибии и рептилии выявлены в отложениях верхней части в т.н. 4031 в светлорычневых песках. Костные остатки мелких млекопитающих обнаружены в шурфах № 2 (в глинах черного цвета в нижней части разреза), № 3 (в коричневых и мелкозернистых песках на глубине 1,55 м). В отложениях разреза т.н. – 4031 вывлены остатки пищухи *Ochotona* sp., хомячка *Cricetulus* sp., суслика *Spermophilus* sp., в отложениях т.н. 4032 предварительно установлено присутствие пищухи *Ochotona* sp. и суслика *Spermophilus* sp.

Авторы выражают искреннюю признательность  
Инженерному центру ГИН СО РАН.

## Согласование палеогеодинамической, геохронологической и комплексной компьютерной моделей золотого оруденения на Таинском месторождении (Восточный Саян)

В.И. ВАСИЛЬЕВ<sup>1</sup>, Б.Б. ДАМДИНОВ<sup>2</sup>, Е.В. ВАСИЛЬЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [geovladi@yandex.ru](mailto:geovladi@yandex.ru)

<sup>2</sup> ЦНИГРИ, Москва, Россия,

Таинское золото-медно-порфировое месторождение, характеризующееся в своём роде уникальным пространственным совмещением трёх различных типов оруденения [6, 5], находится в юго-восточной части Восточного Саяна. Все три типа локализованы в штоке гранитоидов завершающей магматической и раннещелочной постмагматической стадии, прорывающих гипербазитовые пластины офиолитового комплекса и отвечающих по составу гранитоидам островодужного типа. Офиолиты входят в состав аллохтонной пластины, надвинутой на Тувино-Монгольск микроконтинент, состоящий из архейского гранитогнейсового фундамента и неопротерозойского осадочного чехла, сложенного терригенно-карбонатными отложениями [7]. Целью настоящей работы являлось согласование результатов независимых исследований, включающих компьютерное моделирование, изотопное датирование и палеогеодинамические реконструкции, для получения более полной картины геологической истории района.

Исследования, проведённые под руководством В.И. Васильева [3, 2], позволили разработать

комплексную компьютерную модель трёх типов золотого оруденения на месторождении. Полученные данные подтвердили полигенную природу месторождения. Первый, прожилково-вкрапленный тип был сформирован поднимающимся магматическим флюидом на реолого-геохимическом барьере пластично-хрупкого перехода в земной коре при ~490 °С с перепадом давления от 3.2 до 0.8 кбар. Второй, кварц-пирротиновый тип образовался в восходящей ветви конвективной магматогеогидротермальной системы при 450–50 °С и 0.8–0.1 кбар с максимальным развитием при ~270 °С и ~0.6 кбар. Третий, кварцево-жильный тип руд явился результатом деятельности эпитегрмальных растворов при 200–50 °С и 0.5–0.1 кбар.

Первые изотопные датировки для изменённых гранитоидов Таинского штока были получены А.Г. Мироновым с соавторами [6] и дополнены значениями для молибденита в гранит-порфире и его конкретных включений в кварце [8]. Более полное датирование было проведено позже под руководством Б.Б. Дамдинова [5]. Результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты изотопного датирования гранитоидов Таинского штока (Дамдинов и др., 2020).**

Проанализированный минерал	Возраст, млн. лет
Циркон из кварцевых диоритов	853 ± 5
Роговая обманка из углеродизированных гранитоидов	855.8 ± 5.1
КПШ из углеродизированных гранитоидов	650.1 ± 4.7
Роговая обманка из диоритов	644.1 ± 4.2
Роговая обманка из диоритов	435.2 ± 9.0
Светлый мусковит из углеродизированных гранитоидов	339.0 ± 3.2

Обуглероженный мусковит из гранитоидов	333.8 ± 3.1
Роговая обманка из диоритов	280.4 ± 4.1
КПШ из углеродизированных гранитоидов	223.5 ± 1.6
Изменённые граниты Таинского штока	670 ± 20
Молибденит в изменённом граните порфирового штока	~860
Включение молибденита в кварце	~550

Палеогеодинамический анализ района, проведённый под руководством И. В. Гордиенко [4], позволил выделить четыре этапа тектонической эволюции изучаемого региона. Первый этап (1020–820 млн. лет назад) характеризуется формированием крупного океанического бассейна и развитием Дунжугурской энсиматической островной дуги в супрасубдукционной обстановке. Второй этап (830–800 млн. лет) представлен коллизией и обдукцией Дунжугурской островной дуги на Гарганский микроконтинент. Третий этап (805–770 млн. лет) ознаменован закрытием краевого спредингового бассейна, инициацией Сархойской островодужной системы и формированием задугового осадочного бассейна, характеризующегося пологопадающим залеганием под Гарганский микроконтинент. Четвёртый этап (640–460 млн. лет) соответствует деструкции Сархойской островной дуги, прекращению субдукционных процессов и аккреции комплексов островной дуги и задуговых отложений с покровами Дунжугурской дуги к Гарганскому микроконтиненту.

Сопоставление результатов исследований указывает на то, что в условиях древней островной дуги, на втором этапе ее геологической истории, произошло внедрение гранитоидного штока (кислого производного глубинного базит-андезитового интрузива) в гипербазитовую породу. Выделившийся из этой магмы флюид сыграл ключевую роль в формировании прожилково-вкрапленного типа оруденения.

Что касается кварц-пирротинового типа оруденения, то его образование связано с интенсивной гидротермальной активностью, наблюдавшейся в Сархойской островодужной системе в период

805–650 млн. лет назад, что соответствует третьему этапу ее эволюции. Флюиды и расплавы, высвобождающиеся при дегидратации в зоне субдукции, действовали как катализаторы вулканической деятельности. Подтверждением этого факта являются породы известково-щелочной сархойской свиты, представленные базальт-андезит-риолитовым рядом и датируемые  $782 \pm 7$  млн. лет [5].

Наиболее дискуссионным вопросом является происхождение кварцево-жильного типа оруденения. По-видимому, его формирование происходило после окончания коллизии островной дуги примерно  $647.3 \pm 3.1$  миллиона лет назад [5]. Однако, из-за длительности и повторяемости тектоно-термальных процессов в палеозойскую эру, сложно определить конкретный временной отрезок образования данного типа оруденения. Вероятно, рудные компоненты неоднократно перемещались и накапливались в условиях эпитептермального режима. В рамках этого процесса гипергенные потоки, циркулирующие в нисходящей части конвективной ячейки, воздействовали на углеродисто-карбонатно-терригенные отложения иркутской свиты и осадочно-вулканогенные черные сланцы ильчирской толщи. На более поздних стадиях, возможно, в процесс были вовлечены и осадочные отложения сагансайрской свиты [1].

*Работа выполнена в рамках проекта АААА-А21-121011390003-9 «Рудообразующие системы разновозрастных складчатых поясов южного обрамления Сибирского кратона: геолого-генетические модели месторождений благородных, редких и цветных металлов».*

## Литература

1. Бутов Ю.П., Минина О.Р., Неберикутина Л.Н. и др. Сагансайрская свита – эталон позднепалеозойско-мезозойской молассы бурятского Восточного Саяна // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2001. № 12. С. 87–101.
2. Васильев В.И., Дамдинов Б.Б., Васильева Е.В. Комплексная модель золотого оруденения золото-медно-порфирирового Таинского месторождения (Восточный Саян) // Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: Мат-лы XIV Международной научно-практической конференции. М.: ЦНИГРИ. 2025. С. 65–67.
3. Васильев В.И., Дамдинов Б.Б., Васильева Е.В. Таинское месторождение (Восточный Саян): новая комплексная модель трёх типов золотого оруденения // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: Мат-лы XXV Международной конференции. Москва: ИГЕМ РАН. 2024. С. 42–45.
4. Гордиенко И.В., Рощектаев П.А., Гороховский Д.В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 5. С. 405–429.
5. Дамдинов Б.Б., Жмодик С.М., Хубанов В.Б. и др. Возраст и обстановки формирования неопротерозойских золотоносных гранитоидов Восточного Саяна // Геотектоника. 2020. № 3. С. 82–93.
6. Миронов А.Г., Жмодик С.М., Очиров Ю.Ч. и др. Таинское золоторудное месторождение (Восточный Саян, Россия) – редкий тип золото-порфирировой формации // Геология рудных месторождений. 2001. Т. 43. № 5. С. 395–413.
7. Damdinov B.B., Huang X.-W., Goryachev N.A. et al. Intrusion-hosted gold deposits of the southeastern East Sayan (Northern Central Asian Orogenic Belt, Russia) // Ore Geology Reviews. 2021. V. 139. Part. B. 104541.
8. Mironov A.G., Stein H., Zimmerman A. et al. Dating of gold occurrences in the Sayan-Baikal Fold Belt, Southern Siberia, Russia // Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Berlin-Hedelberg: Springer. 2005. Ch. 7. P. 797–799.

## Предварительный расчёт состава равновесного флюида в бериллиевых рудах Ермаковского месторождения

В.И. ВАСИЛЬЕВ, Е.В. ВАСИЛЬЕВА

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [geovladi@yandex.ru](mailto:geovladi@yandex.ru)

Ермаковское F-Be месторождение расположено в Западном Забайкалье, в 150 км к востоку от г. Улан-Удэ, и было открыто Г.А. Ермаковым в 1964–65 гг. Оно локализовано в метаморфизованных карбонатно-терригенных толщах протерозоя, слагающих большой (10–12 км<sup>2</sup>) провес кровли в поле преобладающего распространения докембрийских и палеозойских гранитоидов [4]. Оруденение приурочено к контактам известняков и сланцев и представлено, в основном, массивными и прожилковыми фенакит-берtrandит-флюоритовыми рудами. Его происхождение связывается со штоком субщелочных гранитов, а возраст по последним данным составляет 225–170 млн лет [2]. Месторождение имеет одно из самых высоких в мире средних содержаний BeO (~1.34 мас.%) в рудах. F-Be оруденение на Ермаковском месторождении проявлено в разнообразных по минеральному составу рудных зонах [3]. Существует много работ по их генезису. Наиболее распространена концептуальная модель формирования фенакит-берtrandит-флюоритовых руд путем инфильтрационного замещения известняков растворами с высокими концентрациями Be и F [5]. Отложение минералов Be и флюорита происходило в широком P-T диапазоне: ранняя флюорит-фенакитовая ассоциация формировалась в высокотемпературных (>480 °C) и высокобарических (>3 кбар) условиях; на поздней низкотемпературной стадии фенакит замещался натриевыми силикатами Be при температурах ниже 250 °C и давлениях ниже 750 бар [3].

Настоящая работа была проведена в рамках подготовки к комплексному компьютерному моделированию [1] образования оруденения на месторождении. По замыслу авторов такая модель должна будет связывать все основные типы оруденения. Предварительный расчёт производился в целях: 1) отбора независимых компонентов, необходимых и достаточных для описания минеральных парагенезисов месторождения (вектора  $b$ ); 2) проверки и согласования термодинамических свойств из разных баз данных (сторонних и собственных) для потенциально возможных зависимых компонентов в комплексных моделях рудообразования на месторождении; 3) проверки, хотя бы

в первом приближении, наиболее распространённой гипотезы генезиса F-Be оруденения Ермаковского месторождения с точки зрения численного физико-химического моделирования методами минимизации термодинамических потенциалов. P-T условия для расчётов соответствовали сетке 500–2500 бар и 150–500 °C (с шагом 500 бар и 50 °C) и определялись результатами термобарогеохимических исследований [3]. Физико-химическое моделирование проводилось на программном комплексе «Селектор-С» [6]. Сценарий расчёта предусматривал попадание равновесного со сланцами флюида в известняки так же с достижением равновесия. Флюидом считалась подвижная группа фаз «водный раствор + газ». Методом последовательного исключения были определены 18 независимых компонентов: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, S, Be, F, Li, H, O и электрон. Результатами расчёта явились P-T диаграммы концентраций компонентов раствора и газовой фазы, а также таких характеристик как масса, общая минерализация, pH, Eh и др. На рис. 1 приведены диаграммы массы и pH водного раствора, а также концентраций в нём независимых компонентов Be, Ca, F и C.

Моделирование показало необходимость расчёта термодинамических свойств для ряда компонентов раствора, отсутствующих в имеющихся базах данных, особенно для комплексных соединений Be. Если для твёрдых фаз одновременное присутствие, например, 2 молей BeO и 1 моля SiO<sub>2</sub> можно во многих случаях интерпретировать как 1 моль Be<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, то в случаях ионных соединений в растворе это чаще всего невозможно. Набор независимых компонентов также требует расширения, в основном, за счёт металлов разных ионных радиусов, так как концентрации некоторых соответствующих анионов в растворе слишком велики. Что касается проверки гипотезы двухстадийного рудообразования при разных интервалах температур и давлений, то даже такой предварительный расчёт в первом приближении её подтверждает. Это хорошо видно на диаграммах концентраций независимых компонентов, где их низкие концентрации говорят об условиях выпадения из раствора, а высокие — напротив, об отсутствии в твёрдых фазах. Более

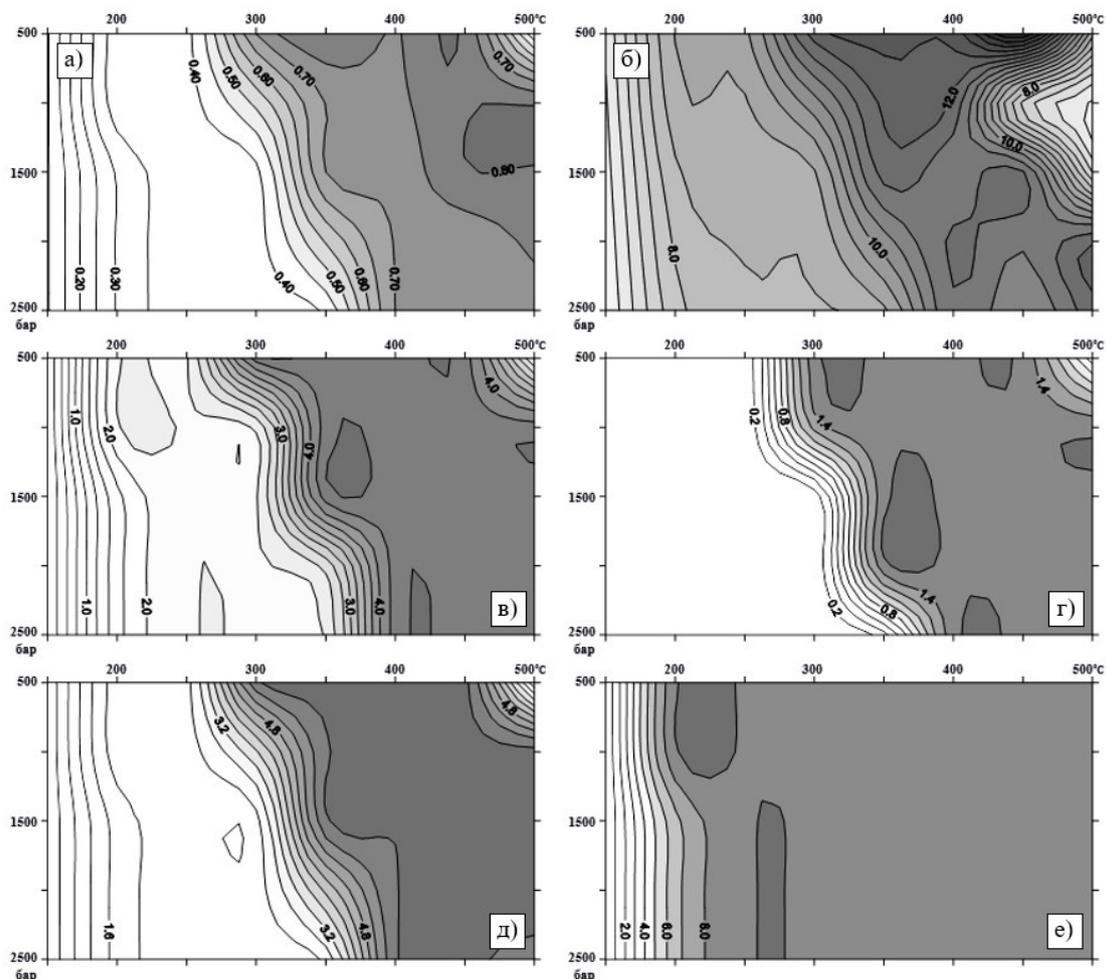


Рис. 1. Диаграммы в координатах температура (°С) – давление (бар):  
а) масса водного раствора, кг; б) pH раствора; в) бериллий, г/кг; г) углерод, г/кг; д) кальций, г/кг; е) фтор, г/кг.

детальная интерпретация этих данных в плане генезиса оруденения преждевременно, и такая цель не ставилась. Авторы считают, что цели работы достигнуты, а дальнейшее моделирование является возможным и перспективным, особенно в направлении динамики флюида с учётом различных вариантов геохимических барьеров.

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику ГИН СО РАН, к.г.-м.н. Л.Б. Дамдиновой за плодотворные консультации. Работа выполнена в рамках темы госзадания (рег. № АААА-А21-121011390003-9).

## Литература

1. Васильев В. И., Чудненко К. В., Жатнуев Н. С., Васильева Е. В. Комплексное компьютерное моделирование геологических объектов на примере разреза зоны субдукции // Геоинформатика. 2009. № 3. С. 15–30.
2. Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Юдин Д. С. Результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования руд Ермаковского F-Ве месторождения (Западное Забайкалье, Россия) // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 505. № 1. С. 18–23.
3. Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б., Брянский Н. В. Процессы формирования флюорит-лейкофан-мелинофан-эвидимитовых руд Ермаковского F-Ве месторождения (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 8. С. 1271–1291.
4. Дамдинова Л. Б., Рейф Ф. Г. Особенности формирования разнотипной прожилковой бериллиевой минерализации на Ермаковском месторождении (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 28. С. 979–991.
5. Новикова М. И., Шпанов Е. П., Куприянова И. И. Петрография Ермаковского бериллиевого месторождения, Западное Забайкалье // Петрология. 1994. Т. 2. № 21. С. 114–127.
6. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии. Новосибирск: ГЕО, 2010. 287 с.

## О рекультивации нарушенных земель на примере Республики Бурятия

Н.Г. ДМИТРИЕВА

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [Nbv984@yandex.ru](mailto:Nbv984@yandex.ru)

Интенсификация природопользования в индустриальном обществе повлекло существенное обострение взаимоотношений человека с природой.

В последние десятилетия влияние человека на природу становится все более интенсивным. В настоящее время важное значение приобретает проблема охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов [1].

Современные масштабы промышленного производства характеризуются интенсивным использованием природных ресурсов, появлением всевозможных отходов и ухудшением экологического состояния природной среды. В большинстве субъектов Российской Федерации в настоящее время продолжается снижение плодородия почв, ухудшается состояние земель, которые используются для ведения сельского хозяйства [3]. Технологические процессы горнодобывающей промышленности неразрывно связаны с потреблением природных ресурсов и образованием различных отходов, которые будут накапливаться в природной среде. Горнорудные отходы – это неиспользуемые продукты добычи и переработки минерального сырья, которые извлекаются из массы добытого полезного ископаемого при разработке месторождения, и при насыщении и химико-металлургической переработке сырья [2].

Огромную нагрузку создают промышленные отвалы и хвостохранилища, где миллионы гектаров земли подвержены негативному воздействию.

Так, экологическая проблема промышленных отходов на сегодняшний день является глобальной экологической задачей, которая требует серьезного решения. Площади нарушенных горными работами земель ежегодно увеличиваются, а рекультивации земель постепенно сокращается. Поэтому становится все более актуальной проблема рекультивации нарушенных земель. Рекультивация земель представляет собой мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым

назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почв, восстановления плодородного слоя почвы, создания защитных лесных насаждений [4]. Рекультивация рассматривается как комплексная задача восстановления продуктивности и реконструкции промышленных ландшафтов в целом, которая осуществляется в два этапа – горнотехническая и биологическая. Технический этап включает в себя планирование, формирование откосов, вывоз, транспортировку и внесение грунта на мелиорируемые земли. На биологическом этапе проводится комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление биологического потенциала нарушенных земель.

Республика Бурятия обладая уникальным природно-ресурсным потенциалом сталкивается с серьезными экологическими проблемами. Основными источниками загрязнений являются горнопромышленные предприятия, предприятия теплоэнергетики и транспорт. Горное производство является одним из самых природоемких видов хозяйственной деятельности. В результате горных разработок месторождений вовлекаются все виды природных ресурсов: почва, рельеф, поверхностные и подземные воды, воздух, растительный и животный мир. В результате появляются земли, нарушенные горными выработками, отвалами пород, отходами производства, тем самым влияя на экологическое состояние природной среды.

Экологическая ситуация в республике характеризуется достаточно высоким уровнем антропогенного воздействия отходов от горнодобывающей промышленности. Их негативное воздействие выражается в поступлении в природную среду вредных химических и токсичных веществ. Отходы от горнодобывающей промышленности составляют более 100 млн. т. [5].

Наибольший объем отходов образуется в промышленно развитых районах республики, в Селенгинском, Еравнинском, Закаменском,

Бичурском. К нарушенным землям можно отнести территорию Холбольджинского угольного разреза, где проводились работы по устранению последствий негативного воздействия, а также была проведена рекультивация земель.

Так, действовавшая на протяжении более 50 лет и ликвидированная в настоящее время шахта «Гусиноозерская» оставила терриконы на площади 5,3 га нарушенные земли площадью 84,2 га. Предприятия угольной промышленности Бурятии оказывают многостороннее негативное воздействие на все компоненты окружающей природной среды, образуется большое количество отходов в виде шахтных пород, отходов углеобогащения, шлаков. Отходы складываются в отвалы, занимающие обширные площади, резко ухудшая экологическое состояние.

Серьезную опасность представляют промышленные отвалы и хвостохранилища Тугнуйского угольного разреза, расположенного на территории Республики Бурятия и Читинской области, территория разреза подвержена антропогенному воздействию. При добыче угля открытым способом на Тугнуйском угольном разрезе происходят существенные изменения рельефа. Извлечение из недр

больших объемов горных пород и размещение их в отвалы приводит к нарушениям значительных пространств. В результате этого происходит образование отвалов, насыпей.

Следует задуматься и о состоянии земель в золотодобывающей промышленности Республики Бурятия, которая является наиболее развитой отраслью горнодобывающей промышленности республики. Техногенные изменения, происходящие в окружающей среде при разработке золоторудных месторождений захватывает большую часть территории, нарушая почвенно-растительный покров, образуя карьеры и отвалы горных пород.

Таким образом, необходимо проводить мероприятия по восстановлению, улучшению и рекультивации территории месторождений для восстановления естественных ландшафтов. Необходимо разработать систему практических мер по рекультивации земель, нарушенных горными работами, включая схемы горнорекультивационных работ.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания № АААА-А21-121011990023-1.и*

## Литература

1. Голованов А. И. Рекультивация нарушенных земель / А. И. Голованов. — М.: Колос. — 2009. — 326 с.
2. Зеньков И. В. Результаты исследования поверхности внешнего отвала угольного разреза «Бородинский» // Экология и промышленность России. 2008. № 2. С. 16–19.
3. Каюков А. Н. Цели, задачи и принципы мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. // В сбор.: Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития/ Материалы международной научно-практической конференции 18–20 апреля 2017 г. Часть 2 Наука: опыт, проблемы, перспективы развития [Электронный ресурс]. Красноярск, Красноярский ГАУ. — 2017. С. 14–17.
4. О проведении рекультивации и консервации земель" (вместе с "Правилами проведения рекультивации и консервации земель") [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 (ред. от 07.03.2019). — Электрон. текстовые дан. // Консультант Плюс: справ. правовая система.
5. Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V. // Ecology and Industry of Russia. 2016. Vol. 20. Iss. 2. P. 56

## О геосистеме территории разгрузки рудничных вод сульфидно-вольфрамового месторождения (Западное Забайкалье)

ДОРОШКЕВИЧ С.Г.<sup>1,2</sup>, БАРДАМОВА И.В.<sup>1</sup>, ЧЕРЕДОВА Т.В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [dorosh@ginst.ru](mailto:dorosh@ginst.ru)

<sup>2</sup> Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, Улан-Удэ, Россия

<sup>3</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
Улан-Удэ, Россия, [cheredova-tv@yandex.ru](mailto:cheredova-tv@yandex.ru)

В районах разработки месторождений полезных ископаемых активизируются процессы горнопромышленного техногенеза с изменением миграционных циклов вещества в геосистемах. В результате вскрытия горными выработками водоносных горизонтов образуются потоки рудничных вод, в которых формируются токсичные для компонентов окружающей среды концентрации различных химических элементов. Настоящее исследование проведено на территории разгрузки рудничных вод штольни Западная (Холтосонское вольфрамовое месторождение). Холтосонское вольфрамовое месторождение (Западное Забайкалье) относится к месторождениям жильного типа в России; представлено серией гюбнерит-сульфидно-кварцевых жил. Разведано до глубин 600–650 м. Содержание в руде основного компонента (WO<sub>3</sub>) варьирует от 0.42 до 1.10%. Содержание попутных компонентов составляет (%): 0.02–0.56 Pb; 0.04–0.38 Zn; 0.03–0.17 Cu; 0.003–0.01 Bi; 0.02–0.05 Be; 4.2–7.6 F; до 175 г/т Ag; до 4 г/т Au. Кроме того, в рудах отмечены повышенные концентрации элементов 1 и 2 классов опасности: Cd, Co, Ni и Cr [1]. Месторождение разрабатывалось с начала 30-х годов прошлого столетия. Подземными горными выработками вскрыто на глубину 540 м. Верхние горизонты промышленных жил уже отработаны. На средних и нижних горизонтах в начале 1990-х годов велись эксплуатационные работы. В 1997 г. месторождение законсервировано.

Пробы воды и биоматов отбирались из рудничных ручьев штольни: в месте их выхода на поверхность и в месте впадения в р. Модонкуль, донные отложения — из рудничных ручьев штольни в месте их выхода на поверхность. Отбор проб почв для определения их химического состава проводился по генетическим горизонтам на участке, дренируемом рудничными водами, в 300–700 м от устья штольни. Пробы растений отбирались в точках опробования

почв. Для сравнительной характеристики был выбран фоновый участок — пойма р. Модонкуль, выше по течению от впадения в нее рудничных вод. Содержание химических элементов в пробах воды, растений и биоматов определялось методом ICP-MS в Хабаровском инновационно-аналитическом центре, в почвах и донных отложениях — химическим спектральным и рентгенофлуоресцентным методами анализа в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН.

Рудничные воды характеризуются кислой реакцией (pH 3.17–4.95) в месте выхода их из штольни и слабокислой-нейтральной (pH 5.23–6.89) в месте впадения в р. Модонкуль; высокой общей минерализацией (2226–4153 и 193–1679 мг/куб. дм, соответственно). Содержат ураганные количества химических элементов, значительно превышающие предельно допустимые концентрации веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования / для рыбохозяйственных водных объектов (раз): Cd (до 1260 / 252), Fe (до 103 / 310), Pb (до 81 / 103), Zn (до 64 / 6440), Cu (до 35 / 34600), As (до 12), Co (до 8.5 / 85), Ni (до 5 / 47).

Донные осадки рудничных ручьев также характеризуются высокими содержаниями потенциально токсичных элементов. Выше ОДК или ПДК (раз) — S (до 263), Cu (до 22), Pb (до 15), Zn (до 2.5), Cd (до 6.5) и Sb (до 3); выше фоновых значений отмечены содержания F (до 90), Fe (до 6) и Mo (до 4.5).

В почвах, дренируемых рудничными водами, Fe и Mo содержатся в количествах ниже фоновых значений. Для F, Ni, Co, Pb и Sb отмечается незначительное превышение фона (в 1.1–1.7 раз). Cu, Zn и Cd содержатся в количествах в 1.1, 2.0 и 3.9 раз превышающих ОДК, соответственно. В почвах, в сравнении с донными отложениями, концентрации Pb снижены. Показатель суммарного загрязнения почв находится в пределах от 29.3 до 59.7 единиц, что соответствует, сильному загрязнению почв участка,

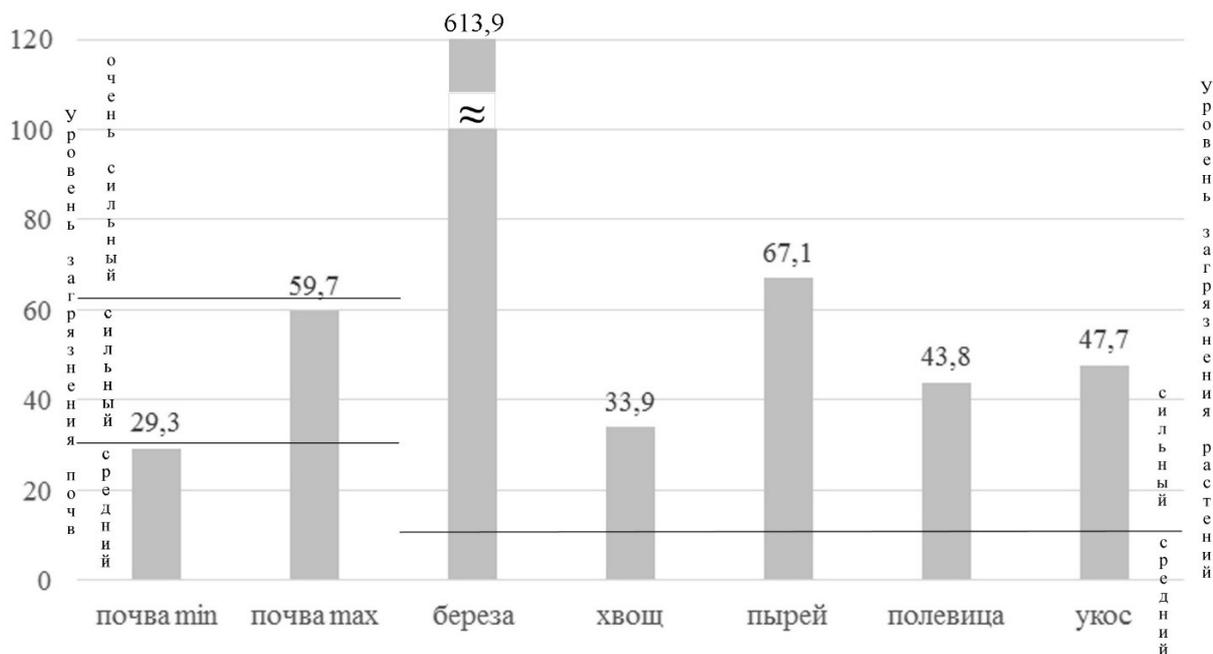


Рис. Показатель суммарного загрязнения (Zc) почв и растений на участке, дренируемом рудничными водами

дренируемого рудничными водами в сравнении с фоновыми значениями (рис.).

В растениях на территории, дренируемой рудничными водами, содержание Mo, As и Sb не превышает среднего содержания в растениях мира [2]. Концентрации Mo и Co зафиксированы выше фоновых значений. Во всех растениях установлены превышения максимально допустимого уровня содержания химических элементов (раз) Cd (6.1–114.7) и Zn (2.9–24.7). В листьях березы содержание Cu и Pb выше МДУ в 1.3 и 1.1 раза, соответственно. Показатель суммарного загрязнения растений находится в пределах от 33.9 до 613.9, что соответствует сильному уровню загрязнения (см. рис.).

В биоматах выявлено превышение фоновых значений (раз): Ni, Sr, Mg, Mn, Cd, Al, Cr, Sn (1.7–4.8); Co, Bi, Mo, Ti, La, Na (5.7–8.1); Pb, Zn, Ce, Sb, W (10–12); Fe и Be (43–44); Cu (68). Кроме того, химический состав микробных сообществ техногенных ландшафтов дифференцируется в зависимости от ассоциирующей субстанции. Так, самое высокое содержание Fe и Pb отмечается в биоматах с охристой субстанцией; Al, Cu, Zn, Be и Cd – с белесой субстанцией; Cr, Ni, Rb, P, K, Na и Ti – с зеленовато-желтой субстанцией. Содержание W, Mo и Bi в биоматах с охристой

и зеленовато-желтой субстанцией находятся приблизительно в равных количествах.

Таким образом, рудничные воды Холтосонского жильного месторождения вольфрама являются кислыми дренажными потоками с ураганным содержанием тяжелых металлов и сульфат-иона, которые поступают в компоненты природного ландшафта прилегающей территории. В донных отложениях рудничных ручьев отмечены высокие концентрации S, Cu, Pb, Zn, Sb и Cd. В почвах, дренируемых рудничными водами, накапливаются Zn, Cu и Cd. В растениях дренируемой рудничными водами территории содержание Cd, Zn, Cu и Pb превышает МДУ в кормах для сельскохозяйственных животных. В сообществах микроорганизмов и водорослей геотехногенных обстановок концентрируются потенциально токсические химические элементы, характерные для данной геохимической обстановки: Fe, Pb, Cu, Cd, Al, Zn, Ti, Bi, W, Be, La, Ce.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».*

## Литература

1. Смирнова О. К., Плюснин А. М. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 180 с.
2. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. 505 p.

## Новые данные по биостратиграфии и природной среде позднего кайнозоя Западного Забайкалья (по мелким млекопитающим)

М.А.ЕРБАЕВА<sup>1</sup>, А.А.ЩЕТНИКОВ<sup>2</sup>, И.А.ФИЛИНОВ<sup>2</sup>, Н.В.АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>, Ф.И.ХЕНЗЫХЕНОВА<sup>1</sup>, О.Д.-Ц.НАМЗАЛОВА<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Геологический институт им. Н.Л.Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия,

[sinolag@mail.ru](mailto:sinolag@mail.ru), [ochotona@mail.ru](mailto:ochotona@mail.ru), [khenzy@mail.ru](mailto:khenzy@mail.ru), [ojunkanam@mail.ru](mailto:ojunkanam@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт Земной Коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, [shch@crust.irk.ru](mailto:shch@crust.irk.ru), [filinovia@crust.irk.ru](mailto:filinovia@crust.irk.ru)

Детальные геологические и палеонтологические исследования позднего кайнозоя были начаты лишь в середине прошлого столетия в связи с открытием местонахождения Тологой академиком А.П.Окладниковым в 1953 г. Позднее были открыты новые местонахождения: Береговая Л.Н.Иваньевым в 1957 г., Додогол Базаровым в 1958 г. и Итанца Н.П.Михно в 1959 г. Новое местонахождение Засухино было открыто в 1966 г. И.Н.Резановым, в 1970 г. В.К.Шевченко открыл местонахождение Кудун. В 1989 г. по дневниковым записям П.С.Михно было установлено Н.П.Калмыковым местонахождение Удунга. В 2017 г. коллективом сотрудников ГИН СО РАН и ИЗК СО РАН было открыто местонахождение Улан Жалга и в 2021 г. – местонахождение Эдэрмэг Ф.И.Хензыхеновой и О.Д.-Ц.Намзаловой.

Первые схемы по стратиграфии позднего плиоцена и плейстоцена были разработаны Э.И.Равским и др., [5] и Д.Б.Базаровым [2]. Впервые по крупным млекопитающим были выделены Э.А.Вангенгейм [3] фаунистические комплексы – чикойский, итанцинский, тологийский и плейстоценовый. Позднее эти комплексы были дополнены по мелким млекопитающим М.А.Ербаевой [4] и Н.В.Алексеевой [1].

В настоящее время число фаунистических комплексов и фаун плиоцен-плейстоцена насчитывается 13. Выделено 7 крупных этапов в последовательном развитии сообщества мелких и крупных млекопитающих, отражающих временные рубежи и эволюционное развитие природной среды и климата.

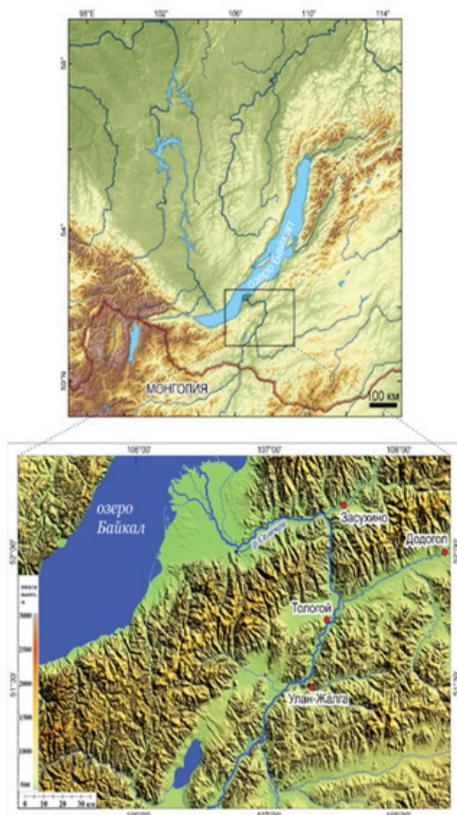
Наиболее ранний стратиграфический уровень Забайкалья представлен Удунгинским фаунистическим комплексом, возраст которого первая половина позднего плиоцена (3.5 млн. лет). Он включает обитателей влажных лесных биотопов, где преобладали зайцевые, мыши и крупные пищухи рода *Ochotonoides*, разнообразные хомяки и полёвки *Protimomys*. Климат был тёплый гумидный.

Фауна второй половины позднего плиоцена представлена чикойским фаунистическим комплексом, в составе которого доминировали обитатели аридных степных ландшафтов. Обильны и разнообразны пищуховые рода *Ochotona*, появились сурки – мигранты из Нового Света, многочисленны корнезубые полёвки родов *Villanyia*, *Pitimomys* и *Mimomys*. Климат был семиаридный, тёплый.

Стратиграфический уровень первой половины раннего плейстоцена представлен Итанцинским фаунистическим комплексом, в составе которого сократилось обилие пищуховых и полёвок рода *Villanyia* и *Mimomys*. Появились новые таксоны – суслики родов *Spermophilus* и *Urocitellus*, полёвки родов *Clethrionomys* и *Cromeromys*, тушканчики *Allactaga*. Этот временной этап (2.8–2.5 млн. лет) характеризуется значительным похолоданием климата в связи с Глобальными событиями.

Во второй половине раннего плейстоцена (калабрий), в интервале 1.8–1.45 млн. лет назад установлено следующее сильное ухудшение климата, что привело к реорганизации в фауне. На смену плиоценовым таксонам появились новые плейстоценовые – это полёвки родов *Borsodia*, *Allophaiomys*, *Lagurodon*, *Prolagurus*, *Terricola*, *Eolagurus*, *Lasiopodomys* и *Microtus*, представители додогольской фауны характеризующие следующий новый стратиграфический уровень. Сообщества мелких млекопитающих Усть-Оборской, Кудунской и Засухинской фаун отражают отдельные локальные стратиграфические уровни конца раннего плейстоцена Западного Забайкалья. Климат был умеренно холодным, аридным. Преобладали разнообразные степные ландшафты с участками полупустынных.

В среднем плейстоцене произошли кардинальные изменения в природной среде и составе фауны млекопитающих. Полностью исчезли роды *Borsodia*, *Allophaiomys*, *Lagurodon* и *Prolagurus*.



**Рис. 1. Обзорная карта юга Восточной Сибири и схема в расположения опорных разрезов Западного Забайкалья**

Значительно усилилась аридность климата, о чем свидетельствует появление монгольской песчанки (*Meriones*), слепушонки (*Ellobius*) и желтой пеструшки (*Eolagurus*), обитателей пустынь, резко возросло также обилие тушканчиков и сусликов. Этот этап характеризуется фауной Тологойского комплекса представляющей стратиграфический

уровень первой половины среднего плейстоцена. В регионе, доминировали сухие степные, полупустынные и пустынные ландшафты близкие к современным на юге Монголии. Климат был умеренно теплый, аридный. Следующий биостратиграфический уровень представлен Иволгинской фауной второй половины среднего плейстоцена. Доминировали монгольский сурок, тушканчики, суслики рода *Urocyon*, полёвка Брандта, возросло количество и разнообразие полёвок (*Alexandromys fortis*, *A. oeconotus*, *Microtus mongolicus*), появились степные пеструшки рода *Lagurus*. Климат был умеренно холодный, семиаридный. Начало позднего плейстоцена характеризуется тёплой фауной казанцевской эпохи, в Забайкалье она пока не выявлена. За ней следует фауна зырянского холодного времени, которая известна в местонахождениях Боци и Душелан включающих полёвку Брандта, пеструшку, тушканчиков, суслика и др. Обильно представлена фауна каргинского межледниковья включавшая пищуху, монгольского сурка, узкочерепную полёвку и полёвку Брандта. Фауна сартанского времени известна в местонахождениях Ошурково, Санный мыс, Усть Кяхта 17 и др., включает *Lepus tolai*, *O. daurica*, *Marmota sibirica*, *Ellobius tancrei*, *Lasiopodomys brandti* и др. обитателей перигляциальных ландшафтов. Климат был аридным и холодным.

В целом установлено 13 последовательных фаун отражающих временные рубежи в развитии природной среды и климата от позднего плиоцена до голоцена включительно. Выявлено 7 крупных этапов в стратиграфической последовательности осадков позднего кайнозоя. Это позволило дополнить и уточнить существующую региональную стратиграфическую схему Западного Забайкалья и юга Восточной Сибири.

## Литература

1. Алексеева Н.В. Эволюция природной среды Западного Забайкалья в позднем кайнозое. М., ГЕОС, 2005. 141 с.
2. Базаров Д.Б. Четвертичные отложения и основные этапы развития рельефа Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ. 1968, 166 с.
3. Вангенгейм Э.А. Палеонтологическое обоснование стратиграфии антропогенных отложений севера Восточной Сибири. // Тр. ГИН АН СССР, вып. 48. 1961, 182 с.
4. Ербаева М.А. История антропогенной фауны зайцеобразных и грызунов Селенгинского среднегорья. М., Наука. 1970, 132 с.
5. Равский Э.И., Александрова Л.П., Вангенгейм Э.А. и др. Антропогенные отложения юга Восточной Сибири. // Тр. ГИН АН СССР. вып. 105. М., Наука. 1964, 278 с.

## Свидетельства глубинного импактогенеза в ультраосновных щелочных лампрофирах карбонатитовых комплексов Белая зима и Томтор

С.М. ЖМОДИК<sup>1</sup>, Е.В. АЙРИЯНЦ<sup>1</sup>, И.В. АЩЕПКОВ<sup>1</sup>, Д.К. БЕЛЯНИН<sup>1</sup>, О.Н. КИСЕЛЕВА<sup>1</sup>, Е.В. ЛАЗАРЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, [zhmodik@igm.nsc.ru](mailto:zhmodik@igm.nsc.ru)

В пределах многих массивов ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Alkaline Ultramafic Carbonatite complexes (AUCC)) распространены лампрофиры ультраосновного состава [1–3]. Породы представлены айликитами, альнётитами, пикритовыми порфиритами, оранжеитами, эруптивными бекчиями, выполняет трубки взрыва и характеризуются значительными вариациями химического состава. Несмотря на относительно длительную историю изучения Белозиминского (БМ) и Томторского (ТМ) АУСС, физико-химические условия формирования лампрофиров исследованы гораздо в меньшей степени. Часто взаимоотношения лампрофиров и карбонатитов представлены в «вулканических брекчиях» – лампрофирах, содержащих обломки карбонатных пород. В результате быстрого перемещения из нижних в верхние зоны земной коры лампрофировая масса дробит и захватывает фрагменты карбонатитов. На этом основании период формирования лампрофиров, в частности, на БМ характеризуется как пост-карбонатитовый [1–3]. В тоже время, имеются данные о том, что редкометалльные карбонатиты на БМ образовались позже слюдяных лампрофиров, по составу соответствующих айликитам [4]. Широкие вариации состава лампрофиров БМ и ТМ [5] позволяют сделать вывод о существовании нескольких типов лампрофиров и различном времени их формирования. Характеристике слюдяных лампрофиров, с микроструктурами, возникающими в результате быстропротекающих высокобарических процессов при формировании БМ и ТМ посвящено данной сообщении.

Образцы лампрофиров (>100 шт.) из БМ и ТМ получены при опробовании керн скважин колонкового бурения. Керн распиливался и выбирались участки, из которых были изготовлены петрографические шлифы и полированные препараты для электронной микроскопии. Петрографическое изучение шлифов лампрофиров проводилось на микроскопе AxioScop.A1 (Zeiss). Химический состав пород определен методом РФА на спектрометре ARL-9900XP,

ThermoFisher Scientific (аналитик Н.Г.Карманова); микроэлементный – методом ИСП-МС на приборе Element I, Finnigan MAT (аналитики И.В.Николаева, С.В.Палесский); состав и морфология минералов исследованы на СЭМ MIRA 3 LMU (Tescan Ltd) с системой микроанализа INCA Energy 450+ XMax 80 (Oxford Instruments Ltd), с ПО = 0.5–0.8%, ОСО = 2–6% (аналитики Н.С.Карманов, М.В.Хлестов).

Состав изученных пород сильно варьируются от 17,6% мас. SiO<sub>2</sub> до 40,7% мас. SiO<sub>2</sub> для слюдяных лампрофиров. Средний состав айликита [6] близок составу айликитов из БМ, но многие из последних богаче щелочами и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Айликиты БМ обогащены щелочами и глиноземом, но обеднены TiO<sub>2</sub> по сравнению с айликитами Aillik Bay (Лабрадор) [7]. Часть лампрофиров массива Томтор также соответствует айликитам.

Среди изученных пород обнаружены слюдяные лампрофиры с высокими содержаниями калия (до 8.55 мас.% K<sub>2</sub>O) и суммы щелочей, которые по ряду признаков могут быть отнесены к слюдяным лампроитам. Породы сложены биотитом (до 90 об.%), а также кальцитом, доломитом, Ва-мусковитом, калиевым полевым шпатом (в том числе Ва-КПШ), гиалофаном, альбитом, Nb-Мп-ильменитом (до манганильменита), сульфидами (пирит, галенит, халькопирит), хлоритом и редкими зернами рутила, апатита, барита. В слюдяных лампрофирах распространен пирит, который встречается главным образом в межзерновом пространстве и в трещинах биотита, в виде удлиненных зерен или агрегатов неправильной формы, размерами от 0.05 мм до 2–3 мм. В ассоциации с пиритом находится хлорит, кальцит, доломит, Ва-КПШ, барит. В пирите встречаются редкие включения халькопирита, галенита, ильменита с рутилом. Зерна пирита трещиноватые, катаклазированные. В некоторых из них обнаружены тонкие субпараллельные трещины, пересекающие зерна, которые в полной мере сопоставляются с планарными трещинами, возникающими в результате импактных

нагрузок при высоких давлениях. Ширина трещин менее 1 мкм. Расстояние между отдельными трещинами варьирует от 21–22 мкм до 35–37 мкм. Во многих зернах биотита были встречены деформационные структуры, представленные микростилолитами, кинкбандами, а также пятнистым погасанием, выделением оксидов титана (рутил) по трещинам спайности в зонах изгиба зерен слюды, деформационными полисинтетическими двойниками. Кроме того, в слюдяных лампрофирах Белозиминского комплекса широко распространено явление неокристаллизации, представляющее твердофазное замещение биотита более мелкими зернами бариевого (Ba)-мусковита и гантерита.

Выявленные в лампрофирах карбонатитовых комплексов микроструктуры известны и описаны для других пород, в связи с проявлением, главным образом, быстропротекающих процессов при высоких давлениях [8]. Планарные трещины в пиритах и стилолиты в кварцах были обнаружены

в экспериментальной модели по высокобарическому компактированию кварц-пиритовой смеси [9]. Согласно стадиям ударного метаморфизма, появление планарных трещин в пирите и стилолитах в кварце происходило при температуре от 1600 до 4500 С и давлении до  $\approx 1,9$  ГПа.

Деформационные полисинтетические двойники в биотитах, неокристаллизация Ba-мусковита по биотиту, волнистое пятнистое погасание в деформированных изогнутых с трещинами, стилолитами, полосами уплотнения и кинкбандами биотитах из слюдяных лампрофиров свидетельствуют о проявлении процессов глубинного импактогенеза [10,11]. Известно, что в результате импактных событий значительно возрастает гидротермальная активность и происходит перераспределение вещества.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ,  
грант № 23-63-10017.*

## Литература

- [1] Пожарицкая Л.Л., Самойлов В.С. Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири. М.: Наука. 1972. 267 с.
- [2] Фролов А.А. Структура и оруденение карбонатитовых массивов. М.: Недра. 1975. 160 с.
- [3] Корнаков В.В., Матвейчук А.А., Кнутова С.В. ГосГеол карта РФ. М-6 1:200 000. Изд-е 2. Лист N-47-XXIII (Белая Зима): Объяснит. записка. М.: Московский ф-л ФГБУ «ВСЕГЕИ». 2019. 131 с.
- [4] Zhmodik S.M., Ashchepkov I.V., Belyanin D.K. et al. Sequence of Aillikite and Calcite Carbonatite Formation within the Belaya Zima Massif, East Siberia, Russia // *Geodyn&Tecton.* 2022. 13 (4), 0654.
- [5] Ashchepkov I., Zhmodik S., Belyanin D., et al. Aillikites and Alkali Ultramafic Lamprophyres of the Beloziminsky Alkaline Ultrabasic-Carbonatite Massif // *Minerals.* 2020. V. 10. N404. P. 1–29.
- [6] Rock N.M.S. Lamprophyres. Springer: Berlin, Germany. 1991. 224 p.
- [7] Tappe S., Foley S.F., Jenner G.A., et al. Genesis of ultramafic lamprophyres and carbonatites at Aillik Bay, Labrador // *J. Petrol.* 2006. V 47. P. 1261–1315.
- [8] Vernon R.H. A Practical Guide to Rock Microstructure. Cambridge CB2 8BS. 2018. 431 p.
- [9] Zhmodik S.M., Verkhovtseva N.V., Nesterenko V.F., et al. Experimental study of gold redistribution in a shock-metamorphosed pyrite–quartz mixture with the use of the  $^{195}\text{Au}$  radionuclide // *Geochemistry International.* 2004. V. 42. P. 1139–1153.
- [10] Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Д. и др. Импактогенез и вулканизм // *Петрология.* 1993. Т. 1. № 6. С. 571–595.
- [11] Карпов И.К., Зубков В.С., Бычинский В.А., Артименко М.В. Детонация в мантийных потоках тяжелых углеводородов // *Геология и геофизика.* 1998. № 6. С. 754–762.

## Гидрохимия карьера Ермаковского флюорит-бериллиевого месторождения

Л.В. ЗАМАНА, В.А. АБРАМОВА, ЧЕЧЕЛЬ Л.П.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

[l.v.zamana@mail.ru](mailto:l.v.zamana@mail.ru), [vera\\_abramova79@mail.ru](mailto:vera_abramova79@mail.ru), [lpchechel@mail.ru](mailto:lpchechel@mail.ru)

Ермаковское флюорит-бериллиевое месторождение находится в Кижингинском районе Республики Бурятия. За период разработки (1979–1989 гг.) извлечено около 60% утвержденных запасов, разработка должна возобновиться в этом году. Основные рудные минералы представлены флюоритом, фенакитом и берtrandитом. Содержание в руде сульфидов по сере 0,37%, карбонатов – 11,7%, флюорита – около 20% [2]. Бериллий, как основной целевой элемент горной добычи, относится к первому классу опасности с ПДК в водах

рыбохозяйственного значения 0,3 и в питьевых водах 0,2 мг/л, что определяет особое внимание к экологическим проблемам его разработки [2–4].

Изложенные далее данные по гидрохимии вод карьера получены по результатам опробования в июле 2020 г., при котором отобрано 4 пробы воды из карьерного озера (табл. 1, пробы Ер-20–1 ÷ Ер-29–3) и остальные 5 – из буровых шпуров на нижнем уступе, подготовленных для взрывания горной массы ещё в период работы карьера. Глубина карьерного озера до 4 м, уровень воды в шпурах на глубине 2,2–4,2 м.

Таблица 1. Физико-химические показатели вод Ермаковского карьера ( $\text{CO}_2$  – Р в мг/л)

Показатель	Пробы								
	Ер-20-1-1	Ер-20-1-2	Ер-20-2	Ер-20-3	Ер-20-4	Ер-20-5	Ер-20-6	Ер-20-7	Ер-20-8
T, °C	21,5	21,5	21,5	21,8	5,8	7,7	10,2	5,6	8,3
pH	8,20	8,22	8,26	8,26	7,20	6,96	7,54	7,60	7,77
ПО, мгО/л	2,43	1,49	1,65	1,65	2,67	6,27	3,14	1,49	1,18
$\text{CO}_2$	1,41	1,23	1,14	0,88	18,1	33,6	10,9	8,18	4,58
$\text{HCO}_3^-$	210	212	211	212	168	182	188	157	134
$\text{SO}_4^{2-}$	167	181	186	183	998	1229	264	226	223
$\text{Cl}^-$	3,00	2,50	3,00	2,50	1,50	1,50	1,82	1,36	1,36
$\text{F}^-$	1,55	1,51	1,51	1,58	2,28	1,65	1,86	2,34	1,99
$\text{NO}_3^-$	14,2	14,2	13,6	13,6	2,01	1,21	1,96	1,96	0,75
$\text{NO}_2^-$	0,15	0,16	0,15	0,15	0,06	0,01	0,45	0,65	0,02
$\text{Ca}^{2+}$	80,2	77,0	77,0	76,0	370	575	124	84,6	87,8
$\text{Mg}^{2+}$	35,4	36,9	35,4	36,0	84,8	56,4	24,2	25,1	21,8
$\text{Na}^+$	9,85	9,42	8,65	8,61	5,87	5,17	6,46	6,63	7,95

K <sup>+</sup>	6,07	5,46	5,12	4,33	2,35	4,94	4,39	3,61	4,59
Сумма ионов	528	540	542	538	1636	2057	617	510	485
Si	12,3	12,0	12,2	11,9	6,54	7,51	8,12	10,8	9,08
P общий	0,043	0,039	0,038	0,040	0,033	0,042	0,058	0,075	0,030

Вода карьера и шпуров по составу гидрокарбонатно-сульфатная магниево-кальциевая. Значительное преобладание карбонатов над сульфидами в рудах определяет нейтральную и слабощелочную реакцию водной среды, что ограничивает концентрации элементов-гидролизатов (Be, Fe, Pb и др.) ввиду насыщения их по гидроксидам. В воде карьера повышено содержание NO<sub>3</sub><sup>-</sup> как следствие использования взрывчатых веществ при проходке карьера, что показано в [1]. Концентрации F<sup>-</sup> при флюоритовом составе руды относительно невысокие, хотя насыщения по флюориту не достигается.

В пробах Ер-20-4 и Ер-20-5 заметно выше содержания SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и ряда микроэлементов (табл. 2), что вызвано, очевидно, наличием на этом участке сульфидной минерализации. Окисление сульфидов приводит к небольшому понижению pH, в результате сернокислотного выщелачивания в этих пробах растут концентрации Li, Be, Al, Ti. По молибдену, напротив, при аномально высоких концентрациях его по всей выборке в тех же пробах они более низкие, что характерно и для селена, содержание которого в двух последних пробах особенно высокие. По-видимому, в составе сульфидов присутствует молибденит MoS<sub>2</sub>, в котором сера частично замещена селеном.

Таблица 2. Микроэлементы в водах Ермаковского карьера (определение методом ИСП МС)

Показатель, в скобках – ПДК	Пробы								
	Ер-20-1-1	Ер-20-1-2	Ер-20-2	Ер-20-3	Ер-20-4	Ер-20-5	Ер-20-6	Ер-20-7	Ер-20-8
Li (80)	30,4	30,0	29,9	27,9	61,3	<b>115,0</b>	35,8	29,4	43,7
Be (0,3)	0,03	0,02	0,03	0,02	<b>1,03</b>	0,29	0,04	0,04	0,02
B (500)	21,2	21,6	21,2	18,9	11,4	17,8	16,9	8,04	8,73
Al (40)	10,9	23,7	7,03	3,94	<b>74,1</b>	37,2	4,29	3,20	22,6
Ti (60)	0,99	0,08	0,09	0,05	0,15	0,68	0,07	0,04	0,42
V (1)	<b>2,11</b>	<b>2,07</b>	<b>2,10</b>	<b>1,98</b>	0,28	0,12	<b>1,46</b>	0,89	4,25
Cr (Cr <sup>6+</sup> – 20)	0,12	0,17	0,08	0,04	0,09	0,06	0,19	0,19	0,14
Mn (10)	0,66	0,86	0,49	0,64	<b>933</b>	<b>1753</b>	6,46	1,73	28,1
Fe (100)	2,46	3,54	1,47	4,08	14,8	<b>184</b>	2,88	6,02	28,6
Co (10)	0,08	0,08	0,07	0,06	<b>24,3</b>	<b>53,2</b>	0,05	0,05	0,17
Ni (10)	1,79	2,36	0,96	0,71	<b>14,3</b>	<b>20,0</b>	0,85	0,41	0,80
Cu (1)	<b>1,82</b>	<b>5,26</b>	<b>1,58</b>	<b>1,85</b>	<b>2,30</b>	<b>12,1</b>	<b>2,41</b>	<b>1,09</b>	<b>1,03</b>
Zn (10)	<b>52,3</b>	<b>87,0</b>	<b>61,2</b>	<b>13,6</b>	<b>58,1</b>	<b>42,0</b>	9,50	9,09	<b>12,6</b>

As (50)	0,78	1,90	0,75	0,55	0,12	0,38	0,43	0,44	0,57
Se (2)	<b>5,04</b>	<b>9,89</b>	<b>3,69</b>	<b>5,94</b>	1,87	1,80	<b>45,5</b>	<b>100</b>	<b>128</b>
Br (1350)	36,2	34,2	31,2	27,8	10,6	6,28	9,03	5,96	7,49
Rb (100)	9,55	8,62	8,36	8,15	13,3	19,4	4,20	3,29	3,63
Sr (400)	392	309	307	297	<b>1237</b>	<b>717</b>	214	216	160
Mo (1)	<b>164</b>	<b>162</b>	<b>157</b>	<b>148</b>	<b>56,7</b>	<b>29,7</b>	<b>312</b>	<b>159</b>	<b>354</b>
Cd (5)	2,04	2,15	1,84	1,65	<b>17,9</b>	<b>5,49</b>	<b>5,44</b>	1,89	3,68
Sb (112)	0,326	0,204	0,093	0,198	0,303	0,136	0,352	0,097	0,219
Cs (1000)	0,299	0,154	0,149	0,232	0,061	0,039	0,040	0,179	0,032
Ba (740)	35,6	51,5	51,6	15,7	29,8	77,0	41,2	23,8	23,7
W (0.8)	0,36	0,30	0,30	0,27	0,22	0,09	0,30	0,31	0,26
Tl	0,024	0,026	0,022	0,022	0,021	0,084	0,007	0,001	0,006
Pb (6)	0,34	0,36	0,07	0,07	0,12	0,39	0,31	0,13	0,16
U	9,48	9,46	9,37	9,14	3,51	8,04	10,7	4,22	7,01

Примечание. ПДК по Приказу Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552.  
Жирным шрифтом выделены концентрации выше предельно-допустимых.

Из микроэлементов наибольшее превышение рыбохозяйственных нормативов в воде карьера по Мо, что было и по данным опробования в 2007 г., но тогда существенно ниже (до 30 ПДК) [2]. Превышены ПДК также по Zn, Se, Cu и V. В пробах из шпуров круг загрязняющих микроэлементов

шире (табл. 2), что следует учитывать при оценке уровня загрязнения поверхностных вод вследствие водоотлива при углублении карьера.

Подготовлено по госбюджетной теме  
№ FUFRR-2021-0006.

## Литература

1. Замана Л. В., Абрамова В. А., Хвостова Т. Е., Чечель Л. П. Соединения азота в водах зоны техногенеза рудных месторождений Восточного Забайкалья // Горный журнал. 2020. № 3(2272). С. 79–83. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.15.
2. Кислов Е. В., Иметхенов А. Б., Сандакова Д. М. Ермаковское флюорит-бериллиевое месторождение: пути повышения экологической безопасности восстановления добычи // География и природные ресурсы. 2010. № 4. С. 30–36.
3. Куприянова И. И. Экологическая ситуация на территории Кижингинского карьера // Разведка и охрана недр. 2008. № 5. С. 67–68.
4. Плюснин А. М., Сандакова Д. М. Миграция токсичных элементов в пределах Ермаковского флюорит-берtrandит-фенакитового месторождения // Вестник ВГУ, серия: География, геоэкология

# Методика нейросетевого картирования металлотектов по комплексу геофизических данных на базе априорного физико-геологического моделирования

КАРАМЫШЕВ А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Институт Карпинского», [Andrey\\_Karamyshev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Andrey_Karamyshev@karpinskyinstitute.ru)

Методы глубокого машинного обучения (МО) обладают значительным потенциалом в геолого-геофизических исследованиях благодаря их способности анализировать сложные пространственные закономерности в данных. В отличие от решений из области классического МО, глубокие сверточные нейросети опираются на высокоуровневые абстракции – геометрию аномалий, их ориентировку и взаимное расположение, что снижает зависимость от распределения значений отдельных признаков. Это делает их перспективными, в частности, для задач прогноза полезных ископаемых (ПИ), где требуется интеграция разнородных данных: геофизических полей, геохимических карт, дистанционного зондирования и др.

Однако ключевой проблемой остается недостаточная воспроизводимость и интерпретируемость результатов существующих нейросетевых решений в области машинного прогноза, связанная с ограниченным объемом размеченных данных, их несбалансированностью и низким качеством аннотации [3]. Особенно остро эта проблема проявляется при попытках прямого распознавания рудных объектов по эталонам-аналогам: уникальность месторождений и слабая выраженность их сигналов в геофизических полях затрудняют формирование репрезентативных обучающих выборок.

В качестве альтернативы предлагается фокусироваться не на прямом выделении рудных тел, а на автоматизированном распознавании элементов геологического строения, связанных с оруденением, или металлотектов. Данный подход позволяет использовать обширные массивы данных, фактически уже размеченных в ходе геологического картирования, частично решая таким образом проблему дефицита обучающих примеров.

**Разработанная методика включает следующие этапы:**

- Физико-геологическое моделирование – создание априорных геологических, петрофизических и геофизических моделей целевого объекта.

- Подготовка данных – сбор и предобработка многокомпонентных геофизических, геохимических и спутниковых данных, а также слоев геологической аннотации с формированием размеченных сводных баз данных.

- Обучение нейросетей – тренировка моделей для выделения целевых рудоконтролирующих факторов (разрывные нарушения, интрузивные массивы, литологические границы).

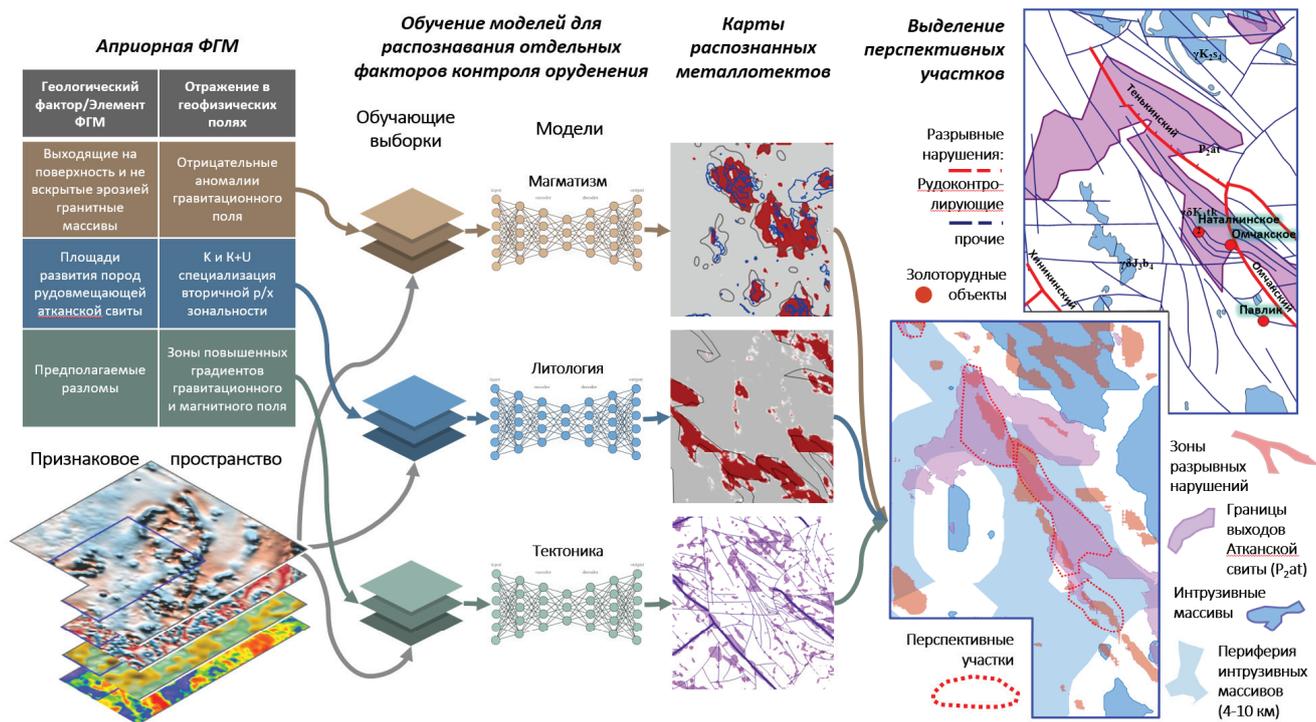
- Прогнозирование – генерация карт отдельных геологических факторов, их синтез и выделение перспективных зон на основе априорной модели.

- Верификация – оценка эффективности полученных моделей на тестовых данных на основе количественных метрик и качественного экспертного анализа полученных карт.

- Перенос обучения (при необходимости) – адаптация полученных моделей к новым данным путем дообучения на малой выборке.

Концепция применения методики предполагает формирование банка таких моделей, предобученных на уникальных комбинациях целевых факторов и наборов входных признаков. При решении новых задач, схожих по геологическому контексту, выбор конкретной модели из банка осуществляется с учетом особенностей строения исследуемой территории и доступности данных различных типов.

Опытная реализация методики (рис. 1) выполнена на примере Центрально-Колымского района (ЦКР), выбранного по причине его обеспеченности качественными равномерными геофизическими покрытиями [2]. Технологический стек реализации включал язык Python для разработки скриптов, охватывающих полный цикл работ: импорт сырых данных, их предобработку (нормализация, отбор релевантных признаков, формирование выборок, аугментация), обучение нейросетевых архитектур, визуализацию промежуточных результатов и экспорт итоговых прогнозов в текстовом



**Рис. 1. Реализация алгоритма автоматизированного картирования металлотектов на примере распознавания факторов локализации крупнообъемного золотого оруденения, выделенных на основе априорной ФГМ Омчакского рудного узла**

и графическом виде. В качестве базового инструментария машинного обучения использовалась библиотека TensorFlow 2.0.

В рамках эксперимента было обучено 36 нейросетевых моделей с архитектурой U-Net [4], различающихся комбинациями входных данных и целевыми объектами распознавания. Основной фокус был направлен на выявление ключевых факторов контроля крупнообъемного золотого оруденения, включая: выходы рудовмещающих толщ, интрузивные массивы, к периферии которых приурочены известные рудные объекты, и разрывные нарушения, играющие роль путей миграции гидротермальных растворов. Важной особенностью моделей является их направленность не на распознавание уникальных для конкретного региона объектов, а на выделение широко распространенных типов геологических структур (разломы, интрузии, литологические границы), чьи проявления в геофизических полях варьируются между регионами лишь в деталях. Это создает предпосылки для переноса обученных моделей на новые территории с иным геологическим строением. Для адаптации к специфике нового домена (например, иным петрофизическим свойствам пород) достаточно дообучения на ограниченном объеме локальных

данных — подход, соответствующий парадигме доменной адаптации, для которой уже существуют отработанные алгоритмы.

На данных Центрально-Колымского района обученные модели для всех трех целевых факторов продемонстрировали согласованность прогнозов с фактическими данными как на количественном (коэффициенты Dice и IoU), так и на качественном визуальном уровне. Последнее особенно важно, поскольку формальные метрики, по причине, например, пробелов в аннотации обучающей выборки, не всегда корректно отражают геологическую осмысленность результатов.

Наибольшую эффективность на исходной тестовой выборке и устойчивость к переносу на другие площади показали модели, комбинирующие признаки, полученные по данным различных методов. Так, изменение геологического контекста продемонстрировало, что модели, оперирующие исключительно магнитометрическими данными, склонны к ложным срабатываниям, выделяя нецелевые аномальные объекты. В отличие от них, комплексные модели после дообучения на ограниченном объеме данных показали значительное улучшение точности, превысив даже исходные показатели на валидации.

#### **Выводы:**

1. Предлагаемая методика автоматизированного картирования металлотектов на основе комбинирования априорного физико-геологического моделирования и методов глубокого МО позволяет преодолеть ограничения, связанные с нехваткой обучающих данных, и повысить интерпретируемость результатов в сравнении с непосредственным распознаванием рудных объектов.

2. Качество входных данных и релевантность признаков критически влияют на результат: избыточность или неоднородность данных могут нивелировать преимущества даже сложных архитектур.

3. Комплексирование разнородных геофизических данных при обучении и стратегия доменной адаптации позволяют эффективно масштабировать решения для различных геологических условий.

#### **Литература**

1. Карамышев А. В. Автоматизированное картирование металлотектов с использованием методов глубокого машинного обучения // Отечественная геология. 2024. № 4, – с. 19–34
2. Карамышев А. В., Фёдорова К. С., Тарасов А. В. Прогноз скрытого золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района по комплексу геолого-геофизических признаков методом распознавания // Руды и металлы. 2020. № 2, – с. 10–24
3. Granek, J. Application of machine learning algorithms to mineral prospectivity mapping // PhD diss., University of British Columbia, 2016
4. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – 2015. – p. 234–241.

## Апосерпентинитовый нефрит Оспинского месторождения

Е. В. КИСЛОВ

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [evg-kislov@ya.ru](mailto:evg-kislov@ya.ru)

Находки нефрита в Восточных Саянах фиксируются с середины XIX в. Оспинское месторождение апосерпентинитового нефрита открыто в 1967 г., расположено в восточной зоне соединения северной и южной пластин Оспинско-Китойского массива в Окинском районе Бурятии. Гипербазиты представлены катаклазированными хризотиллизардитовыми серпентинитами, в контакте с дайкой габбро-долеритов перекристаллизованными в микроантигоритовые серпентиниты. С дайкой, претерпевшей будинач и родингитизацию, связан ряд нефритовых жил, включая наиболее продуктивную отработываемую жилу 7.

Были изучены 16 образцов нефрита, 2 образца метаморфизованных интрузивных пород и 4 образца серпентинита Оспинского массива. Нефрит по качественным характеристикам разделен на 6 групп: нефритоид OS-1, сине-зеленый массивный нефрит OS-2, 3, 5, однородный зеленовато-серый («дымчатый») OS-4 и 15, переливающийся («кошачий глаз») OS-8, 10, 11, 14, 16, параллельно-волоконистый нефрит OS-13 и рассланцованный нефрит OS-6, 7, 9, 12.

Нефритоид неоднородного серовато-зеленого до светло-зеленого цвета, просвечивающий на 2 мм. Визуально различимы отдельные зерна амфибола. Сложен тремолитом и актинолитом с широкими вариациями состава: содержание FeO от 3.05 до 9.61 вес.%. Встречается раздробленный хромит, цементируемый тремолитом и эпидотом. Единичные пятна хлорита. Широкое развитие сульфидов с преобладанием миллерита и пентландита. Встречаются также халькопирит, борнит, галенит, никелин, пирротин. В целом нефритоид крайне неоднородный.

Массивный сине-зеленый от светлого до темно-го нефрит просвечивает на 1.5 см, состав амфибола в разных образцах различается от тремолита с содержанием 2.74–4.19 вес.% FeO до актинолита с 5.20–10.37 вес.% FeO. Встречается хромит, обычно раздробленный, с тонкими оторочками и прожилками, содержащими до 5.51 вес.% MnO и до 9.70 вес.% ZnO. В одном образце — крупные зерна хромита «ситцевого облика» с оторочками и включениями

хлорита. В одном образце идиоморфные лейстообразные зерна диоксида окружают хромит, встречаются по одиночке и в скоплениях в тремолите. В одном образце отмечены мелкие неправильно-угловатые зерна и их сростки борнита, никелина, халькопирита, пентландита, пирротина, миллерита, герсдорфита.

Зеленовато-серый однородный нефрит, просвечивающий на 1.5 см, сложен разными по размеру волокнами актинолита, однородными по составу.

Переливающийся голубоватый светло-зеленый до темно-зеленого нефрит, иногда местами с желтоватым оттенком, просвечивает на 2 см, состоит преимущественно из актинолита, реже тремолита струйчатого, призматического облика, различающегося по составу: 3.56–5.25 вес.% FeO. Редкие идиоморфные зерна сульфидов: галенит, кобальтин, обрастаемый сфалеритом и галенитом, сростание галенита с кобальтином, зерно галенита, обрастаемого брейтгауптитом в контакте с талькфлогопитовым агрегатом.

Параллельно-волоконистый зеленый нефрит OS-13, просвечивающий на 1 см, сложенный неоднородным по структуре и составу преимущественно актинолитом с 4.98–6.34 вес.% FeO.

Рассланцованный нефрит синеvато-зеленый, серовато-зеленый, светло-зеленый, местами желтовато-зеленый, просвечивающий на 1.5 см, сложен преимущественно актинолитом с 3.68–6.82 вес.% FeO. В половине образцов обнаружен дробленный хромит. В хромите сатинового облика отмечены включения хлорита и галенита. Характерны многочисленные мелкие пятнообразные и ксеноморфные агрегаты хлорита, зачастую с реликтами актинолита и хромита. В актинолите зерна миллерита, пентландита, образующего сростания с миллеритом, сугакиитом и халькопиритом, кобальтина в сростании с осарситом с переменной примесью иридия, кобальтина с оторочкой галенита, прожилков галенита со сфалеритом. В агрегате хлорита встречено зерно маухерита.

Основные минералы серпентинитов — серпентин и магнетит, не встречающиеся в нефрите, как

и андрадит, зигенит, кальцит, непуит. Хромит серпентинитов отличается по составу: содержит больше марганца и меньше цинка. В серпентинитах встречено единственное зерно хлорита с содержанием 4.28 вес.% FeO, в то время как хлорит нефрита содержит 7.45–10.9 вес.% FeO. Единственное сходство – широкое развитие миллерита.

Нефритоид отличается повышенным содержанием  $Fe_2O_3$  (0.78 вес.%), Cr (>500 г/т) и Ni (1550 г/т), пониженной концентрацией FeO 3.48 вес.%. Массивный сине-зеленый нефрит отличается пониженным содержанием  $Fe_2O_3$  (0.24–0.39 вес.%), повышенным содержанием FeO (2.96–5.08 вес.%, в среднем 4.05 вес.%), Cr (>500 г/т) и Ni (960–1550 г/т). Переливающийся нефрит характеризуется еще более низким содержанием  $Fe_2O_3$  (<0.10–0.57 вес.%, в среднем 0.35 вес.%) и высоким содержанием FeO (3.28–4.96 вес.%), но концентрации Cr (103–>500 г/т) и Ni (805–1220 г/т) пониженные. Параллельно-волокнистый нефрит отличается лишь повышенным содержанием  $Fe_2O_3$  0.59 вес.%, остальные компоненты сходны: FeO 4.84 вес.%, Cr 155 г/т, Ni 1350 г/т. Однотонный зеленовато-серый нефрит характеризуется усиливающейся тенденцией: более низкое содержание  $Fe_2O_3$  (0.20–0.31 вес.%) и высокое – FeO (4.72–5.80 вес.%), пониженные концентрации Cr (93–>500 г/т) и Ni (550–750 г/т). Рассланцованный нефрит в целом мало отличается от массивного сине-зеленого:  $Fe_2O_3$  0.23–0.57 вес.%, FeO 3.52–3.80 вес.%, Cr >500 г/т и Ni 1050–1440 г/т. То есть перекристаллизация нефрита ведет к снижению содержания трехвалентного железа, хрома и никеля, содержание двухвалентного железа увеличивается. Рассланцевание не ведет к изменению химического состава нефрита.

Изотопный состав кислорода нефрита достаточно однородный 7.9–9.2‰  $\delta^{18}O$  V-SMOW, в основном в пределах 8.3–8.9‰  $\delta^{18}O$  V-SMOW. При этом более тяжелый изотопный состав у однотонного зеленовато-серого нефрита 8.7–9.2‰  $\delta^{18}O$  V-SMOW, а более легкий у рассланцованного нефрита 7.9–8.8‰  $\delta^{18}O$  V-SMOW. У серпентинитов Оспинского массива более легкий изотопный состав 5.5–6.9‰  $\delta^{18}O$  V-SMOW, а у измененных интрузивных пород, с которыми связывается формирование

нефрита, более тяжелый 8.5–9.5‰  $\delta^{18}O$  V-SMOW. То есть нефрит обладает промежуточными метками по отношению к двум материнским породам. Перекристаллизация ведет к утяжелению изотопного состава кислорода, а рассланцевание к облегчению под влиянием серпентинитов.

Требованиям к камнесамоцветному сырью отвечают сине-зеленый массивный нефрит, однородный зеленовато-серый и переливающийся. Выделены три генерации тремолита-актинолита – ранний изометричный, замещаемый скрытокристаллическим спутанно-волокнистым, а тот – волокнистым актинолитом переливающегося нефрита. Яркая голубовато-зеленая окраска объясняется вхождением хрома в структуру тремолита-актинолита, а не примесью хромгроссуляра, как полагалось ранее. Зеленовато-серый и переливающийся нефриты наилучшего качества – результат перекристаллизации раннего нефрита, состоят преимущественно из актинолита, практически лишены акцессорных минералов. Перекристаллизация нефрита ведет к снижению содержания трехвалентного железа, хрома и никеля, содержание двухвалентного железа увеличивается. Метаморфизм приводит к рассланцеванию нефрита при сохранении исходного состава с развитием хлорита, что снижает качество. Рассланцевание не ведет к изменению химического состава нефрита. Изотопный состав кислорода нефрита промежуточный по отношению к двум материнским породам. Перекристаллизация ведет к утяжелению изотопного состава кислорода, а рассланцевание – к облегчению.

*Автор признателен за предоставление части образцов АО «Байкалкварцсамоцветы» и Ю. П. Плечову, выполнение анализов — Е. А. Хромовой, помощь в обработке материалов — Д. М. Вурмсу.*

*Анализы выполнены за счет гранта РНФ № 22-27-20003 с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (Улан-Удэ).*

*Тезисы и доклад подготовлены в рамках темы НИР ГИН СО РАН АААА-А21–121011390003–9.*

## Применение методики фракционирования форм элементов из донных отложений озера Хилганта (Восточное Забайкалье)

И.А. КОМОГОРЦЕВА<sup>1</sup>, С.В. БОРЗЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,  
komogorcevai@bk.ru, svb\_64@mail.ru

Озеро Хилганта расположено в северной части Даурского экорегиона в 250 км к юго-востоку от г. Чита. Озеро бессточное, с площадью водной поверхности до 1 км<sup>2</sup>, мелководные (средняя глубина ~0.5 м), гидрохимический тип – Cl Na [4, 5].

Донные отложения бессточных соленых озер Забайкалья, формируются в специфической климатической и геологической обстановке. Выявление форм нахождения элементов в донных отложениях озер позволяет более детально описать геохимические и биохимические процессы,

участвующие в формировании этих уникальных озерных систем в целом.

Общее содержание химических элементов в донных отложениях было установлено методом ИСП-АЭС. Для изучения минерального состава донных осадков применен рентгеноструктурный фазовый анализ (порошковая дифрактометрия). Для выявления форм нахождения химических элементов был применен метод последовательного фракционирования по модифицированной схеме Тессьера [1, 2, 6] (табл. 1) с последующим определением концентраций элементов методом ИСП-АЭС.

Табл. 1 – Методика последовательного фракционирования

Стадия	Экстрагируемые формы элементов	Реактивы, описание методики
A	Водорастворимые формы и обменные ионы, удерживаемые слабыми электростатическими взаимодействиями	Навеска пробы 2 г + 20 мл 1 М раствора азотнокислого калия (рН 7). Перемешивать при комнатной температуре в течение 5 часов. Отфильтровать на предварительно промытый горячей дистиллированной водой фильтр «синяя лента». Осадок промыть дистиллированной водой, затем фильтрат количественно перенести в мерную колбу на 50 мл и довести объем до метки дистиллированной водой
B	Ионы, образовавшиеся после растворения карбонатов, оксидов и гидроксидов железа и марганца	Остаток пробы после стадии А + 20 мл 0,04 М NH <sub>2</sub> OH • HCl в 25 % CH <sub>3</sub> COOH (рН 2). Разлагать в СВЧ-печи при температуре 96 ± 3 °С 2 часа. После экстракции смесь из колбы перенести на предварительно промытый горячей дистиллированной водой фильтр «синяя лента». Осадок промыть дистиллированной водой. Фильтрат осторожно выпарить до влажных солей. После охлаждения остаток в колбе растворить в 15 мл HCl 1:9. Раствор количественно перенести в мерную колбу на 25 мл и довести количество содержимое колбы до метки раствором HCl 1:9.
C	Ионы, связанные с различными формами органических веществ	Остаток после стадии В + 3 мл 0,02 М HNO <sub>3</sub> и 5 мл 30 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (рН 2). Разлагать в СВЧ-печи при температуре 85 ± 2 °С 1 час. Затем добавить 3 мл 30 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> и 0,02 М HNO <sub>3</sub> до рН 2. Разлагать в СВЧ-печи при температуре 85 ± 2 °С 1 час. После этого в горячий раствор добавить 5 мл 3,2 М CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> в 20 % CH <sub>3</sub> COOH и перемешивать смесь 30 минут. Далее по стадии В «После экстракции...»
D	Ионы металлов, ранее включенные в кристаллическую решетку минералов (кроме силикатов)	Остаток после стадии С приливали 20 мл царской водки HNO <sub>3</sub> : HCl (1:3). Разлагать в СВЧ-печи при температуре 200 – 220 °С 1 час. Далее по стадии В «После экстракции...»

Результаты исследования показали, что в валовой фракции распределения содержаний химических элементов по разрезу донных осадков в оз. Хилганта наиболее высокие концентрации Ca, Mg, Li, Sr, V, Fe, Zn, Sc и Co определены в слое 0–8 см, а Al, Ba, K, Na, Y в слое подошвы. В целом с уменьшением концентрации Ca по разрезу керна отмечалось увеличение значения  $rMg/rCa$ . Повсеместно значения  $rSr/rCa$  в воде

и отложениях существенно меньше 1 и неравномерно по разрезу керна. В подошве керна установлено минимальное значение  $rMg/rCa$  и  $rSr/rCa$ .

По данным рентгеноструктурного анализа (табл. 2) минеральная фракция осадков в разных массовых концентрациях содержит: каолинит, гидрослюда, кварц, полевошпатовый (ПШ), кальцит, доломит, галит и следы смектита, хлорита и смешанослойных минералов.

Табл. 2 – Общий минеральный состав донных отложений оз. Хилганта по результатам PCA

Слой	Кварц	Полевые шпаты	Гидрослюда	Каолинит	Кальцит	Доломит	Амфибол	Галит
0-3	45	35	-	-	следы	5	-	10
3-8	43	50	следы	-	следы	5	-	-
8-13	45	40	7		следы	следы	5	следы
13-18	40	45	5		следы	5	-	следы
18-23	50	36	5		5	следы	-	следы
23-30	45	40	-	-	следы	5	следы	5
30-38	35	40	15	5	следы	-	-	следы

Для того чтобы разобраться в сложном поведении химических элементов было проанализировано их содержание в разрезе осадка в различных вытяжках с учетом их валовых концентраций в отдельных слоях. Наибольшее количество Na определено в слое 0–8 см на стадии разложения «А», отвечающей за растворение водорастворимой фракции осадка. При этом по всей длине керна отмечалась прямая связь содержания Na с количеством полевых шпатов. На стадии «В» в больших количествах были сконцентрированы Ca, Mg, Sr, Ba, B, Mn, REE, V, Y и U, которые могут входить в состав карбонатов, оксидов и гидроксидов [3]. В целом отмечалась согласованность в распределении количества перечисленных элементов

в этом растворе с количеством доломита или кальцита по разрезу керна от верхнего слоя к подошве. Максимальные содержания Li и Al выявлены в слое 0–8, а P, K, Fe, Ni, Se, Zr, Th, Nb, As, Zr, Nb, REE, Pb, Cu, Zn, As в слое 23–30 см на стадии «D», отвечающей за разложение алюмосиликатной и силикатной фракций. В этом случае кривые распределения содержания этих элементов по всей длине керна полностью повторяли кривую распределения массовой доли ПШ. Кремний в максимальных количествах сконцентрирован в слое 23–30 см на стадии разложения органического вещества (стадия «С»).

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 22–17–00035.*

## Литература

1. Алексане Е.С., Герасимова С.А., Гудима И.И. Определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах, грунтах, донных отложениях с применением микроволнового разложения проб // Современные проблемы загрязнения почв: сб. матер. II Междунар. науч. конф., Т. 2 (Москва, 28 мая – 1 июня 2007). М.: МГУ, 2007. С. 178–180.
2. Федотов П.С., Спиваков Б.Я. Статистические и динамические методы фракционирования форм элементов в почвах, илах и донных отложениях // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 7. С. 690–703.
3. Borzenko S.V. 2020 Principal parameters controlling water composition in saline and brackish lakes in Eastern Transbaikalia // *Geochem. Int.* V. 58.No. 12. P. 1382–1399.
4. Borzenko S.V. The main formation processes for different types of salt lakes: Evidence from isotopic composition with case studies of lakes in Transbaikalia, Russia // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 782. p. 146782.
5. Borzenko S.V., Shvartsev S.L. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia) // *Appl. Geochem.* 2019. V. 103. P. 72–84.
6. Tessier A., Cambell P.G., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // *Anal. Chem.* 1979. V. 51. P. 844–851.

## Экспериментальное моделирование рудных парагенезисов на примере Озерного полиметаллического месторождения

А.Р. КОТЕЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, Н.И. СУК<sup>1</sup>, Б.Б. ДАМДИНОВ<sup>2</sup>, Л.Б. ДАМДИНОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д.С. Коржинского РАН, Черноголовка Московской обл., Россия, [kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru)

<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Москва, Россия, [damdinov@mail.ru](mailto:damdinov@mail.ru)

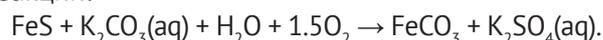
<sup>3</sup> Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [damdinova@mail.ru](mailto:damdinova@mail.ru)

Полиметаллические (Pb-Zn ± Ag, Cu) сульфидные месторождения в вулканогенных, терригенных и карбонатных толщах обеспечивают заметную долю потребностей человечества в металлах: из них добывают преобладающие количества, иногда до 95% Zn, Pb, Ag, Cd, In, Tl, а также значительные доли Cu, Au, Co, Ni, Se, Te, Ge и Ga [1, 2].

Полиметаллические месторождения Озернинского рудного узла характеризуются комплексным составом руд: сульфидное оруденение (Pb, Zn), карбонатные (сидерит), оксидные (магнетит) руды. Основная часть рудного узла сложена стратифицированными палеозойскими образованиями, слагающими останец (провес кровли) площадью около 250 км<sup>2</sup> в поле развития позднепалеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского батолита. Процессы образования месторождения и источники рудного вещества до сих пор являются дискуссионными. Однако большинство авторов склоняется к метасоматическому генезису.

Проведены эксперименты по моделированию рудных парагенезисов Озерного месторождения. опыты проводили в золотых ампулах, в которые загружали смеси исходных алюмосиликатных материалов с реактивами сульфидов цинка и железа, имитирующими хемогенные осадки (нижняя часть ампулы). В верхнюю часть ампулы загружали кальцит. Исходные растворы (концентрация солей до 45 мас%) задавали хлоридами (NaCl, KCl, NH<sub>4</sub>Cl) и карбонатами (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Кроме того, добавляли небольшое количество 1М растворов щелочей (NaOH, KOH). В опытах использовали растворы натриевой и калиевой специфики. опыты проводили в термоградиентных условиях: низ – 510°C, верх – 470°C и давлении 3.5 кбар. Эксперименты проводили на установке УВГД 10000 конструкции ИЭМ РАН. Продолжительность опытов 12 суток. Продукты опытов изучали микронзондовым методом.

Методом встречной температурной диффузии компонентов получены парагенезисы, сходные с природными на Озерном месторождении. Синтез минералов проходил как в верхней, так и в нижней частях ампулы. При этом карбонатный материал переносился в нижнюю, более горячую часть ампулы, а силикатный и сульфидный – в верхнюю, более холодную. Интенсивность транспорта вещества в опытах с калиевой спецификой существенно выше, чем в опытах с натрием. Синтезированы следующие минералы: силикаты (клинопироксены, сидерофиллит, хлорит, полевои шпат), сульфиды (пирротин, галенит, сфалерит), карбонаты (кальцит и сидерит), в одном опыте синтезирован магнетит. Особенно следует отметить синтез сидерита (рис. 1), который, скорее всего, проходил по изначально образовавшимся зернам кальцита. Образование сидерита могло протекать по реакции:



Отметим, что сидерит синтезировался только в опытах при температуре около 500°C, при более высокой температуре сидерит был неустойчив. Таким образом можно объяснить генезис сидерита, образовавшегося под воздействием щелочного карбонатного флюида при повышенном потенциале кислорода.

Проведенные эксперименты показывают возможность перекристаллизации «хемогенных осадков», обогащенных рудными компонентами, в рудные парагенезисы путем метасоматических реакций. Можно заключить, что в изученном интервале температур состав флюида активно влияет на фазовый состав продуктов опытов. В природных условиях возможно образование рудных парагенезисов Озерного месторождения при температуре 460–600°C и давлении 3–4 кбар в условиях интенсивного взаимодействия исходного субстрата,

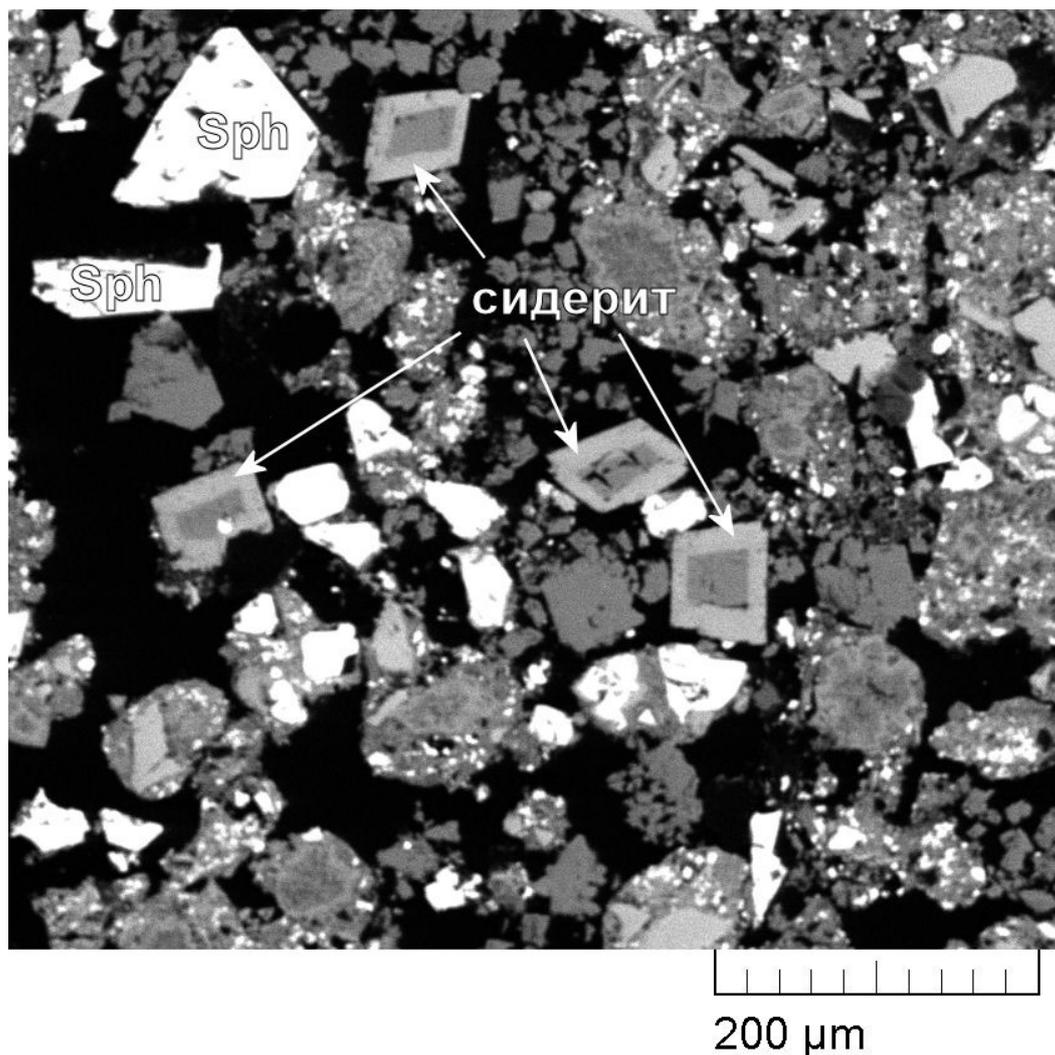


Рис. 1. Сидерит, (каймы по кальциту) синтезированный в опытах по транспорту рудного вещества. Sph – сфалерит.

обогащенного рудными элементами с щелочными карбонат-содержащими флюидами. При этом могло происходить пространственное отделение синтезирующихся сидеритов за счет переноса карбонатного вещества в зону большей температуры,

в то время как силикатное и сульфидное вещество перееотлагалось в более холодные зоны.

Работа выполнена при поддержке программы  
FMUF-2022–0003.

## Литература

1. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Аристов В.В., Лаломов А.В., Мурашов К.Ю. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития. Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119.
2. Гордиенко И.В., Нефедьев М.А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения. Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 2. С. 114–124.

## Флюорит-бастнезитовые карбонатиты Улан-Удэнского редкоземельного проявления (Западное Забайкалье)

Е.И. ЛАСТОЧКИН, М.О. РАМПИЛОВ, М.В. РАМПИЛОВА

Геологический институт имени Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, [gin-buryatia-07@yandex.ru](mailto:gin-buryatia-07@yandex.ru)

Проявление редкоземельных карбонатитов находится в пределах г. Улан-Удэ в бортовой части р. Селенга. Оно состоит из четырех участков. Один из участков был обнаружен при проходке траншеи для подземных коммуникаций, три других — в котлованах строящихся домов и береговом обнажении. Изначально проявление подобно большинству описанных в литературе карбонатитов с флюоритом и редкоземельной минерализацией, было отнесено к гидротермальному типу [2]. После получения первых результатов термобарогеохимического изучения [3] было высказано предположение о карбонатитовой природе изученных пород. Детальное изучение проявления привело к выводу о магматическом происхождении флюорит-бастнезитовых руд [4].

Проявление расположено в пределах эрозионного окна в позднемезозойских терригенных отложениях. Фрагменты коренных выходов ограничены, имеют площадь 400×200 м<sup>2</sup>. Позднемезозойские отложения выполняют котловину рифтогенной впадины обрамленную с севера ультраметаморфическим комплексом пород, сложенных гнейсами, гранито-гнейсами, мигматитами, кристаллическими сланцами.

Флюорит-бастнезитовые карбонатиты в пределах этой зоны встречаются в виде маломощных

(до нескольких десятков сантиметров) тел тонко, среднезернистых карбонатитов (рис. 1) и глыб мощностью до 1 метра. Карбонатиты содержат обломки вмещающих пород, которые распределены неравномерно. Обломочный материал представлен гнейсами, сланцами, кварцитами. Их размер варьирует от 0.1–0.5 до 10–15 см.

В карбонатитах установлено более двух десятков минеральных видов. Главными из них являются бастнезит и флюорит. К второстепенным относятся такие минералы как калиевый полевой шпат, альбит, циркон, ильменит, рутил, сидерит. Сульфатные и сульфат-фосфатные минералы были образованы в основном на поздних стадиях. Силикатные и сульфатные минералы присутствуют также в виде включений в бастнезите.

Бастнезит распространен не равномерно, слагает кристаллы размером от сотен микрон до 1–3 см. Встречаются пластинчатые кристаллы прямоугольной формы, вытянутые и изометричные. Также бастнезит содержит включения силикатных и сульфатных минералов.

Флюорит представлен двумя типами. Один из них слагает фенокристы светло-фиолетового цвета, до прозрачного, размером от 0.5 до 1.5 см. Другой тип флюорита имеет темнофиолетовую окраску и слагает основную матрицу карбонатита (рис. 1).

Рис. 1. Флюорит-бастнезитовые карбонатиты Улан-Удэнского редкоземельного проявления. Темное — тонкозернистая флюоритовая матрица, светлое — обломки вмещающих пород.



Размер зерен варьирует от долей до 1–1.5 мм. В нем рассеяны зерна бастнезита, флогопита, полевого шпата.

Флогопит присутствует в виде таблитчатых фенокристов размером от 50 мкр до 0.1–0.2 см.

Сидерит в породе образует две генерации. Первая генерация слагает таблитчатые кристаллы размером от 100 до 400 мкр. Вторая генерация сидерита, цементирует дробленные участки карбоната, формирует микропрожилки и развивается по спайности флогопита.

Цезаролит образованный на поздних стадиях, чаще встречается в интерстициях между зернами флюорита, бастнезита и флогопита. В его составе присутствует марганец до 50–55 мас.% MnO, свинец в пределах 15–28 мас.% PbO, количество примесей бария варьирует от 0.5 до 3.5 мас.% BaO, железа от 0.7 до 4 мас.% FeO.

Особенностью флюорит-бастнезитовых карбонатов является присутствие в них повышенных количеств сульфатных и сульфат-фосфатных минералов. Наиболее распространенными сульфатами являются плюмбоярозит и глауберит. Гинсдалит встречается редко и находится в интерстициях между зернами бастнезита, флюорита и альбита. Размер пластинчатых кристаллов минерала от 20–30 до 150 мкр. Минерал находится в ассоциации с коркитом. Коркит слагает агрегатные скопления зерен во флюоритовой матрице, образует шлировые выделения и цементирует дробленные участки.

По химическому составу флюорит-бастнезитовые руды характеризуются содержанием кальция до 40.45 мас.% CaO, кремнезема от 10 до 57 мас.% SiO<sub>2</sub>, натрия 0.16–0.8 мас.% Na<sub>2</sub>O, калия 1.96–2.1 мас.% K<sub>2</sub>O, серы 0.1–4 мас.% SO<sub>3</sub>. Концентрация PЗЭ варьирует от 20 до 25 мас.% Tr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, иногда достигая 30% [1,3].

Важным доказательством эндогенного происхождения рудных пород Улан-Удэнского проявления является бастнезит (достигающий 50% и более). Термобарогеохимические исследования первичных включений в минерале и его изотопные составы кислорода и углерода также подтверждают карбонатитовую природу флюорит-бастнезитовых руд [4]. Изотопные составы кислорода δ<sup>18</sup>O (от +5 до +7.8‰) и углерода δ<sup>13</sup>C (от -5.7 до -8‰) в бастнезите, свидетельствуют о их глубинном происхождении. Образование сульфатных и сульфат-фосфатных минералов произошло на завершающей стадии формирования карбонатов. Изотопно-геохимические и термобарогеохимические исследования, подтверждающие магматическое происхождение флюорит-бастнезитовых руд, позволяют предположить эндогенную природу сульфат-содержащих минералов Улан-Удэнского редкоземельного проявления.

*Работа выполнена в рамках программы ГИН проекта IX.129.1.2. (№ гос. рег. АААА-А21–121011390002–2).*

## Литература

1. Гордиенко И. В. Ресурсы стратегического минерального сырья Республики Бурятия: состояние и перспективы развития // Науки о Земле и недропользование. Изв. Сиб. отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2020. Т. 43. № 1. С. 8–35.
2. Рипп Г. С., Избродин И. А., Ласточкин Е. И., Рампилов М. О., Дорошкевич А. Г., Хромова Е. А. Новый тип редкоземельного оруденения в Западном Забайкалье // Отечественная геология. 2018. № 3. С. 9–21.
3. Рипп Г. С., Прокопьев И. Р., Избродин И. А., Ласточкин Е. И., Рампилов М. О., Дорошкевич А. Г., Редина А. А., Посохов В. Ф., Савченко А. А., Хромова Е. А. Бастнезит-флюоритовые породы Улан-Удэнского проявления (минеральный состав, геохимические особенности, проблемы генезиса) // Геология и геофизика. 2019. № 12. С. 1754–1774.
4. Рипп Г. С., Ласточкин Е. И., Дамдинова Л. Б., Избродин И. А., Рампилов М. О., Савченко А. А., Посохов В. Ф. Флюорит-бастнезитовые породы Улан-Удэнского редкоземельного проявления – новый тип карбонатитов (Россия, Западное Забайкалье) // Науки о земле и недропользование. Изв. Сиб. отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2020. Т. 43. № 2. С. 145–159.

## Минералого-геохимические особенности пород рудовмещающих малосульфидный тип Pt-Pd-Cu-Ni оруденения мафит-ультрамафитового массива Дюкали (Хабаровский край)

Б.Б. ЛЕВОЧСКИЙ<sup>1,2</sup>, Т.Ю. ЯКИЧ<sup>3</sup>, В.Е. КИРИЛЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск, Россия, [LevochskiiBB@polymetal.ru](mailto:LevochskiiBB@polymetal.ru)

<sup>2</sup>Институт тектоники и геофизики им. А.Ю. Косыгина, ДВО РАН, Хабаровск, Россия, [LevochskiiBB@polymetal.ru](mailto:LevochskiiBB@polymetal.ru)

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия, [yakichtu@tpu.ru](mailto:yakichtu@tpu.ru)

Объектом исследования авторов являются минералогические особенности пород, рудовмещающих малосульфидный ( $\leq 5$  об.%) Pt-Pd-Cu-Ni тип оруденения в пределах слабоизученного мафит-ультрамафитового массива Дюкали трещинного типа раннемелового возраста [3]. Массив Дюкали расположен в Комсомольском районе Хабаровского края в верхнем течении рек Нижняя Дягдана, Дюкали, Дюкалькэ в бассейне р. Гур, в 135 км восточнее г. Комсомольск-на-Амуре. Массив связан с зоной Анюйско-Таунгинской системы разломов [1,3]. В работе приводятся результаты оригинального исследования 30 штучных образцов с повышенными содержаниями ЭПГ (данные ICP-MS). Площадь массива составляет около 30 км<sup>2</sup>. Он сложен преимущественно ультрамафитами, и в меньшей степени габброидами, оконтуривающими перидотитовую часть по внешнему контуру. Мафит-ультрамафитовые породы м. Дюкали прорываются верхнемеловыми высокоглиноземистыми гранитами хунгарийского комплекса, относимыми частью авторов [1] к единому мафит-ультрамафит-гранитоидному комплексу пород. По данным геофизических исследований мафит-ультрамафитовые породы характеризуется признаками внутренней расслоенности [3]. Буровых работ в пределах массива проведено не было. Углы залегания массива близкие к субвертикальным. Породы массива дискордантно залегают по отношению к вмещающим породам позднеюрского времени. Габброиды и гранитоиды отмечают с ультрамафитовой частью резкие интрузивные контакты по данным [1,3].

Критическую роль в концентрации платиноидов зачастую играют процессы ликвации сульфидных расплавов, фракционной кристаллизации, а также реакционное взаимодействие между ранними минеральными фазами (оливин, хромшпинелиды)

и остаточным расплавом. Особый интерес представляют зоны реакционных кайм между оливином и плагиоклазом, где поздняя PGM-минерализация формируется в условиях усиления несмесимости компонентов системы на фоне нарастания щелочности и обогащения флюидом. Породы, в которых по данным ICP-MS выявляются выдержанные повышенные содержания благородных (Pt ~ до 4.0 г/т; Pd ~ до 1.8 г/т; Au ~ до 0.27 г/т) и других (Cu ~ до 1015.0 г/т; Co ~ до 116 г/т; Ni ~ до 2350 г/т; V ~ до 230 г/т) металлов, главным образом Cr (>10000 г/т) а также часть несовместимых с традиционными ультрамафитами (Ba ~ до 380 г/т; Sr ~ до 500 г/т; K ~ до 1.18 г/т) элементов характеризуются пестрой окраской, где светлые участки – это реликтовый плагиоклазовый компонент (приведена XRD рентгенограмма) и темные – реликтовый перидотитовый «компонент» в виде преимущественно серпентина (рис.). Данные шлировые пегматоидные породы значительно обогащены флюидной составляющей, о чем говорит обилие Cl-апатита, флогопита, ильменита, хлорита, в том числе все эти минералы оказались захваченными в виде включений в аксессуарном хромшпинелиде. Аксессуарный хромшпинелид насыщен обилием разнообразных фаз, в том числе K-Na стеклами. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub> в аксессуарном хромшпинелиде, определяется составом родительских расплавов, служит надежным индикатором для дифференциации типов магм, их тектонической принадлежности и породы мантийных источников [5]. Фигуративные точки составов изучаемых хромшпинелидов на диаграмме зависимости Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от TiO<sub>2</sub> попадают в поле MORB и частично OIB и согласно диаграмме зависимости [5] характеризуются содержанием глинозема в родоначальном расплаве на уровне 12.7–15.3 мас.%. Обнаруженная нами вторичная ЭПГ

минерализация: *кабриит* ( $Pd_{1.99-2.07}Cu_{0.92-0.97}Sn_{1.02-1.07}$ ), *ирарсит* ( $Ir_{0.78-0.82}Pt_{0.14-0.15}As_{1.02-1.07}S_{0.99-1.06}$ ), *арсенид иридия* ( $Ir_{1.1}As_{0.9}$ ), *потэрцит* ( $Pd_{1.02}Hg_{0.98}$ ), *томамазит* ( $Cu_{2.94-2.97}Pt_{1.01-1.05}$ ), *татьянаит* с примесью Pd и Ni ( $Pt_{5.18}Pd_{1.07}Ni_{2.49}\Sigma 8.74$ ),  $Cu_{3.79}Sn_{3.46}$ , *самородная платина* с примесью Cu и Ni, интерметаллические соединения Pd, Ni, Cu, Sb, Sn, отвечающие формуле ( $Ni_{1.18-4.81}Pd_{0.43-2.88}Cu_{0-1.2}$ )( $Sn_{0.24-1.34}Sb_{0.38-1.15}$ ) обнаруживается в виде микронных скоплений до 10–15 мкм на границе новообразованного магнетита и глинистых минералов в зонах реакционных кайм? между «перидотитовой» и «габброидной/плаггиоклазовой» составляющей.

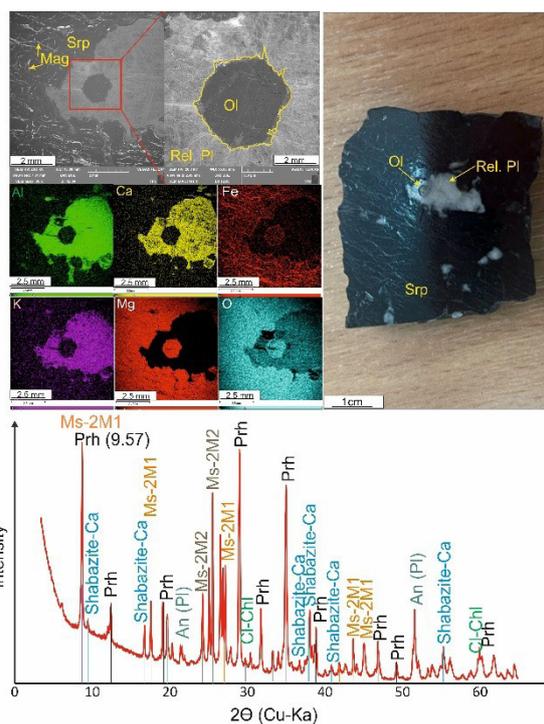
Аналогично в наиболее известных телах трещинного типа Норильского района формирование малосульфидного Pt-Pd оруденения также связано с развитием пегматоидных фаций – такситовых горизонтов и лейкократовых габброидов относительно обогащенных остаточным Cl-содержащим флюидом [4]. Плаггиодунитовые, габбро-пегматитовые и пегматоидные разности, на границе перидотитов и анортозитов описаны [2] в Йоко-Довыренском расслоенном массиве.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Государственного задания Наука № FSWW-2023–0010, тема «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий». Авторы благодарят М. В. Шалдыбина за проведение рентгеноструктурного анализа и интерпретацию результатов данного анализа.*

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что в изучаемых породах выявлен определенный геохимический парадокс. Рудовмещающие породы демонстрируют комплексное и аномальное обогащение, характерное как для ультрамафитов (высокие содержания Cr, Ni, Co), так и для мафических/коровых пород (повышенные содержания несовместимых элементов: Ba, Sr, K), что может указывать на сложные процессы взаимодействия расплавов разного внедрения и контаминацию вмещающих пород. Эти же особенности выявляются и в специфике поздней ЭПГ-минерализации, которая с одной стороны обогащена Ni, Co, Cu, ЭПГ, а с другой стороны, Sn, Bi, Au, As, Sb.

## Литература

- Изох Э. П., Русс В. В., Кунаев И. В., Натовская Г. И. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, рудоносность и происхождение. М.: Наука, 1967. 382 с.
- Кислов Е. В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Изд. БНЦ, 1998. 265 с.
- Юрченко Ю. Ю., Добкин С. Н. Отчёт о результатах работ по объекту «Проведение в 2017–2019 году региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (южные районы). ГДП-200 (2–3 этапы) листа М-54-ХIII (Гурская площадь), 2020. № 27809
- Chayka I. F., Kamenetsky V. S., Zhitova L. M., Izokh A. E., Tolstykh N. D., Abersteiner A., Lobastov B. M. and Yakich T. Y. Hybrid Nature of the Platinum Group Element Chromite-Rich Rocks of the Norilsk 1 Intrusion: Genetic Constraints from Cr Spinel and Spinel-Hosted Multiphase Inclusions // *Econ. Geol.* 2020. Vol. 115, № 6. P. 1321–1342.
- Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S. Factors Controlling Chemistry of Magmatic Spinel: an Empirical Study of Associated Olivine, Cr-spinel and Melt Inclusions from Primitive Rocks // *Journal of Petrology.* 2001. V. 42, P. 655–671.



**Рис. Микрофотографии рудовмещающих малосульфидный Pt-Pd-Cu-Ni тип оруденения пород м. Дюкали в обратно отраженных электронах с картой распределения основных петрогенных компонентов и фото аншлифа, сопровождаемое XRD-рентгенограммой монофракции светлых участков, представленных продуктами замещения основного плаггиоклаза (Rel Pl). Prn – пренит, Shabazite-Ca – шабазит, Ms-2M1 – мусковит, Ms-2M2 – мусковит, Cl-Chl – клинохлор.**

## Мезопротерозойский пикрит-пикробазальтовый вулканизм Енисейского кряжа

ЛИХАНОВ И.И.<sup>1</sup>, КОЗЛОВ П.С.<sup>2</sup>, НОЖКИН А.Д.<sup>1</sup>, РОНКИН Ю.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия, [likh@igm.nsc.ru](mailto:likh@igm.nsc.ru)

<sup>2</sup> Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, [kozlov@igg.uran.ru](mailto:kozlov@igg.uran.ru)

Реконструкция геологической истории Енисейского кряжа, представляющего собой коллизионно-аккреционный ороген на западной окраине Сибирского кратона, важна не только для понимания тектонической эволюции подвижных поясов, но и для верификации данных палеомагнитного моделирования о конфигурации древнего суперконтинента Нуна (Reverdatto et al., 2019). Детальный обзор мезопротерозойских рифтогенных и внутриплитных магматических событий, установленных в структурах ряда крупных кратонов суперконтинента Нуна, приведен в работе (Likhanov et al., 2019). Тем не менее, проблемы оценки геохронологических рубежей в истории этого суперконтинента во многом остаются дискуссионными и далеки от окончательного решения. Это связано с дефицитом геохимических данных и возрастных датировок, включающих периоды его становления и распада, что ограничивает возможности временных корреляций глобальных геологических процессов в истории Земли. Попытка восполнения этого пробела предпринята в настоящем докладе, где обсуждаются особенности происхождения, возрастной рубеж и стратиграфический уровень пикрит-пикробазальтового вулканизма Рыбинско-Панимбинского вулканического пояса (РПВП) на юго-западе Сибирского кратона. Повышенный металлогенический интерес к древней рифтогенной структуре вызван локализацией в районе исследования Панимбинского золоторудного и Татарского Р-Та-Nb месторождений (Ножкин и др., 2011).

Нами изучены Панимбинский и Михайловский опорные участки, расположенные на севере РПВП Ишимбинско-Татарской шовной зоны (ИТШЗ). На Панимбинском участке интерес представляет панимбинская толща, сложенная метаморфизованными туффидами и туфами пикробазальтов и метаосадочными породами (Козлов, Лиханов, 2024). Толща метапород Михайловского участка имеет неоднородное строение, в её составе преобладают актинолитовые, хлорит-актинолитовые амфиболиты и двуполевошпатовые амфибол-диопсидовые метавулканиды. Перекрываются метавулканиды чёрными

глинозёмистыми слюдисто-графитистыми сланцами с кордиеритом и андалузитом. Метаморфические породы района исследований слагают юго-восточную периферию Тейского метаморфического комплекса (Лиханов и др., 2011).

Результаты термобарометрии показали видимые различия в пределах погрешностей методов (Likhanov et al., 2004) по *P-T* параметрам формирования толщ разного химического состава: 4.8-4.9 кбар/527-549°C – метатуффины пикробазальтов; 5.0-5.8 кбар/543-612°C – метабазиты; 3.5-4.6 кбар/522-636°C – метапелиты.

Результаты изучения Rb-Sr и <sup>147</sup>Sm-<sup>143</sup>Nd ID-TIMS изотопной систематики выполнены для образцов пород в целом и выделенных из них минералов (диопсиды, амфибол, плагиоклазы), представляющих кординскую свиту и панимбинскую толщу ИТШЗ в северной части РПВП, соответственно.

ID-TIMS данные характеризующие изотопный состав Rb-Sr вулканида из основания нижней пачки метавулканогенно-осадочных пород кординской свиты (образец П-517-5) и выделенных из нее минералов двух диопсидов и плагиоклазов, на графике Николайсена удовлетворяет линии регрессии, наклон которой в указанных координатах определяет возраст метаморфической дифференциации регионально-метаморфизованных толщ 827±17 млн лет и величину первичного отношения изотопов стронция 0.72051±0.00089. Параметры референсной линии на графике <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd vs. <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd для плагиоклаза Pl<sub>1</sub> и амфибола Amp<sub>1</sub>, соответствуют возрасту 1363±21 млн лет, ε<sub>Nd</sub>(1363) = -2,6. Наконец, <sup>147</sup>Sm-<sup>143</sup>Nd модельный возраст, соответствующий точке пересечения линий эволюции изотопного состава неодима и деплетированного резервуара (DM) на графике T vs. ε<sub>Nd</sub>(t), имеет величину 2642 млн лет.

На графике в координатах <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd vs. <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd фигуративные точки породы в целом метаморфизованного туфа (образец П-514-1) и выделенного из нее амфибола, удовлетворяют линии согласования, параметры которой

диагностируют среднерифейский возраст  $1377 \pm 40$  млн лет, а также наличие определенного вклада корового материала, что подтверждается величиной  $\epsilon_{Nd}(1377) = -7,0$ . Вычисленный, в рамках модельных представлений об эволюции деплетированной мантии, неодимовый возраст  $T_{DM} = 2502$  млн лет согласуется с рубежом неогархей-палеопротерозой.

Геологические, петролого-геохимические и изотопно-геохронологические Rb-Sr и  $^{147}\text{Sm}-^{143}\text{Nd}$  ID-TIMS результаты являются основанием для стратиграфической корреляции разрезов метавулканогенно-осадочной толщи кординской свиты Михайловского участка и метапикритов, ультраосновных и основных пикробазальтов панимбинской толщи Панимбинского участка. Проведённые исследования свидетельствуют о мезопротерозойском (~1370 млн лет) возрасте метаморфических преобразований протолитов

метавулканитов кординской свиты и метавулканитов панимбинской толщи, на Михайловском и Панимбинском участках, соответственно. Этот возрастной рубеж интерпретируется как время деструкции докембрийских комплексов на западе Сибирского кратона. Установленный возраст рифтогенного пикрит-пикробазальтового вулканизма и метаморфизма коррелирует со временем формирования плагиогранитов немтихинского комплекса (Likhanov, 2022) на Енисейском кряже и с Машакским субглобальным плюмовым магматизмом на Урале (Puchkov et al., 2021), проявленными в геодинамической обстановке растяжения в период распада суперконтинента Нуна.

*Работа выполнена за счет средств гранта РФФ  
(проект № 21-77-20018-П).*

## Литература

1. Козлов П.С., Лиханов И.И. Геология докембрийских комплексов Северо-Енисейского кряжа. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2024. 328 с.
2. Ножкин А.Д., Борисенко А.С., Неволько П.А. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 2011. Т. 52. № 1. С. 158-181.
3. Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Вершинин А.Е. Тейский полиметаморфический комплекс в Заангарье Енисейского кряжа – пример совмещенной зональности фациальных серий низких и умеренных давлений // Доклады Академии Наук, 2011. Т. 436. № 4. С. 509-514.
4. Likhanov I.I. Provenance, Age and Tectonic Settings of Rock Complexes (Transangarian Yenisei Ridge, East Siberia): Geochemical and Geochronological Evidence // Geosciences (Switzerland), 2022. V. 12. No. 11. Article 402.
5. Likhanov I.I., Santosh M. A-type granites in the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Precambrian supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia // Precambrian Research, 2019. V. 328. P. 128-145.
6. Likhanov I.I., Polyansky O.P., Reverdatto V.V., Memmi I. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia // Journal of Metamorphic Geology, 2004. V. 22. № 8. P. 743-762.
7. Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. The importance and difficulties of identifying mantle plumes in orogenic belts: An example based on the fragmented large igneous province (LIP) record in the Ural fold belt // Precambrian Research, 2021. V. 361.106186. P. 1-24.
8. Reverdatto V.V., Likhanov I.I., Polyansky O.P., Sheplev V.S., Kolobov V.Y. The Nature and Models of Metamorphism. Springer Geology, 2019. 330 p.

## Формы миграции и накопления скандия и иттрия в реке, подверженной воздействию кислых изливов угольных шахт

Н.Г. МАКСИМОВИЧ<sup>1</sup>, В.Т. ХМУРЧИК<sup>2</sup>, О.А. БЕРЕЗИНА<sup>3</sup>, А.Д. ДЕМЕНЕВ<sup>4</sup>, А.А. МИЗЁВ<sup>5</sup>

Естественнаучный институт, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Российская Федерация,

<sup>1</sup>nmax@psu.ru, <sup>2</sup>khmurchik.vadim@mail.ru, <sup>3</sup>berezina.olga16@gmail.com,

<sup>4</sup>demenevartem@gmail.com, <sup>5</sup>artem.mizev@bk.ru

Скандий, иттрий и химические элементы серии лантанидов представляют собой наибольшую группу из химически когерентных элементов, которые согласно ИЮПАК относят к группе редкоземельных элементов и часто используют в качестве индикаторов фундаментальных геохимических процессов, протекающих в окружающей среде [7, 8]. Ионный радиус иттрия, заряд его иона и распределение иттрия в окружающей среде совпадают с таковыми для легких лантанидов [6, 10]. Скандий имеет меньший ионный радиус и быстро гидролизует, вследствие чего его поведение в окружающей среде отличается от такового легких лантанидов и иттрия и напоминает таковое трехвалентного иона железа, вместе с которым обычно и соосаждается, и тяжелых лантанидов [10].

Формы нахождения в водных системах редкоземельных элементов определяются множеством факторов, значительную роль среди которых играют адсорбционно-десорбционные процессы и химический состав вод [2, 15]. Известно, что кислые шахтные воды выносят редкоземельные элементы из вмещающих пород [9], вследствие чего их содержание превышает таковое в поверхностных пресных водах [4, 7, 12, 14]. В кислой среде редкоземельные элементы находятся в основном в растворенном виде, в том числе в виде комплексных ионов [3, 10]. При смешении шахтных вод с речными происходит нейтрализация кислых шахтных вод с образованием взвеси, которая в дальнейшем выпадает в осадок и переносится потоком вниз по течению на значительные расстояния от места смешения [1]. Эта взвесь состоит из железистых минералов (в основном, оксигидроксидов железа), которые проявляют сорбционные свойства по отношению к редкоземельным элементам [7, 8, 11, 12].

Проводили определение форм нахождения скандия и иттрия в воде и донных отложениях реки,

подверженной влиянию кислых изливов из угольных шахт. Исследования выполнены на р. Косье, протекающей по территории Кизеловского угольного бассейна (КУБ) на Западном Урале и пересекающей его в широтном направлении до впадения в Камское водохранилище. В бассейне р. Косьвы существует 8 изливов кислых шахтных вод, которые попадают непосредственно в реку или ее притоки. Поверхностные воды р. Косьвы в естественном состоянии в основном характеризуются  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$  составом с минерализацией до 370 мг/дм<sup>3</sup>. Шахтные воды характеризуются кислой реакцией среды (рН 2,3–2,9) и сульфатным железисто-кальциевым составом с минерализацией до 13,3 г/дм<sup>3</sup> [1].

Формы переноса скандия и иттрия в речной сети определяли методом последовательного фильтрования проб речной воды через фильтры с размерами пор 2,5 и 0,45 мкм [6], что, однако, не позволяло отделить истинно водорастворенную форму от коллоидной. Для определения форм нахождения скандия и иттрия в донных отложениях использовали метод последовательной ступенчатой экстракции в соответствии с [13] в модификации [5]. Содержание скандия и иттрия в пробах воды и их фильтрах, а также в донных отложениях и их фракциях определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Общее содержание скандия в воде составляло от  $1,55 \cdot 10^{-3}$  до  $3,09 \cdot 10^{-3}$  мг/дм<sup>3</sup>, иттрия —  $0,34 \cdot 10^{-3}$ – $31,09 \cdot 10^{-3}$  мг/дм<sup>3</sup>. Скандий в водном потоке находился в основном в водорастворенной и коллоидной формах (70–97% от общего его содержания в воде). Иттрий в водном потоке находился как в водорастворенной и коллоидной формах (50–60% от общего его содержания в воде), так и в составе грубой взвеси (20–40% от общего его содержания в воде). В зоне гидродинамического

барьера, обусловленного влиянием Камского водохранилища [1], иттрий накапливается в составе грубодисперсной взвеси, где его содержание достигает 85% от общего содержания в воде.

Общее содержание скандия в донных отложениях реки составляло от 6,13 до 14,9 мг/кг, иттрия – 18,5–37,2 мг/кг. При этом около половины от общего содержания скандия и  $\frac{3}{4}$  от общего содержания иттрия находились в составе твердого остаточного вещества донных отложений, т.е. являлись практически немобилизуемыми, а в составе легко мобилизуемых форм (обменные ионы, карбонаты и гидроксиды, а также водные оксиды металлов) – 2–3% скандия и 1–2% иттрия от их

общего содержания в донных отложениях. Данные формы могут высвобождать скандий и иттрий в окружающую среду при изменении гидрохимических условий. Остальное содержание скандия примерно в равных пропорциях приходилось на стабильное органическое вещество (гуминовые и фульвокислоты) и на консолидированное органическое вещество, оксиды и сульфиды металлов. Остальное же содержание иттрия так же примерно в равных пропорциях было распределено между лабильным органическим веществом с аморфными сульфидами металлов и консолидированным органическим веществом, оксидами и сульфидами металлов.

## Литература

1. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Березина О.А. и др. Миграция микроэлементов в речной системе в зоне влияния изливов кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Горный инф.-аналит. бюлл. 2024. № 2. С. 23–34.
2. Elderfield H., Upstill-Goddard R., Sholkovitz E.R. The rare earth elements in rivers, estuaries, and coastal seas and their significance to the composition of ocean waters // *Geochem. Cosmochim. Acta*. 1990. V. 54. No. 4. P. 971–991.
3. Fernández-Caliani J., Barba-Brioso C., De la Rosa J. Mobility and speciation of rare earth elements in acid mines soils and geochemical implications for river waters in the southwestern Iberian margin // *Geoderma*. 2009. V. 149. No. 3–4. P. 393–401.
4. Grawunder A., Merten D., Büchel G. Origin of middle rare earth element enrichment in acid mine drainage-impacted areas // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014. V. 21. No. 11. P. 6812–6823.
5. Håkansson K., Karlsson S., Allard B. Effects of pH on the accumulation and redistribution of metals in a polluted stream bed sediment // *Sci. Total Environ.* 1989. V. 87/88. P. 43–57.
6. Leybourne M. I., Johannesson K. H. Rare earth elements (REE) and yttrium in stream waters, stream sediments, and Fe–Mn oxyhydroxides: Fractionation, speciation, and controls over REE+Y patterns in the surface environment // *Geochem. Cosmochim. Acta*. 2008. V. 72. No. 24. P. 5962–5983.
7. Li Q., Ji B., Honaker R. et al. Partitioning behavior and mechanisms of rare earth elements during precipitation in acid mine drainage // *Coll. Surf. A*. 2022. V. 641. Article 128563.
8. Lozano A., Ayora C., Fernández-Martínez A. Sorption of rare earth elements on schwertmannite and their mobility in acid mine drainage treatments // *Appl. Geochem.* 2020. V. 113, Article 104499.
9. Nordström D. K. Hydrogeochemical processes governing the origin, transport and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface waters // *Appl. Geochem.* 2011. V. 26. P. 1777–1791.
10. Olías M., Cerón J. C., Fernández I. et al. Distribution of rare earth elements in an alluvial aquifer affected by acid mine drainage: the Guadiamar aquifer (SW Spain) // *Environ. Pollut.* 2005. V. 135. No. 1. P. 53–64.
11. Soyol-Erdene T.-O., Valente T., Grande J. A. et al. Mineralogical controls on mobility of rare earth elements in acid mine drainage environments // *Chemosphere*. 2018. V. 205. P. 317–327.
12. Stewart B. W., Capo R. C., Hedin B. C. et al. Rare earth element resources in coal mine drainage and treatment precipitates in the Appalachian basin, USA // *Int. J. Coal Geol.* 2017. V. 169. P. 28–39.
13. Tessier A., Campbell P. G. C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // *Analit. Chem.* 1979. V. 51. P. 844–851.
14. Verplanck P. L., Antweiler R. C., Nordstrom D. K. et al. Standard reference water samples for rare earth element determinations // *Appl. Geochem.* 2001. V. 16. P. 231–244.
15. Welch S. A., Christy A. G., Isaacson L. et al. Mineralogical control of rare earth elements in acid sulfate soils // *Geochem. Cosmochim. Acta*. 2009. V. 73. No. 1. P. 44–64.

## Новый взгляд на процессы нефритобразования

А.С. МЕХОНОШИН, В.А. ШУТОВ, Т.Б. КОЛОТИЛИНА

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, [mekhonos@igc.irk.ru](mailto:mekhonos@igc.irk.ru)

Существующие представления о стадийности процессов нефритообразования сводятся к следующей последовательности событий [1]: 1) внедрение в серпентинизированные реститовые перидотиты по зонам катаклаза или вдоль контакта перидотитов с вмещающими породами даек или жильных тел долеритов или плагиогранитов; 2) перекристаллизация и диспергирование серпентинитов в результате термального и флюидного воздействия магматических пород и 3) метасоматические преобразования серпентинитов и дайковых пород, в результате которых образуются нефриты и родингиты.

Изучение контактовых зон нефритов показало, что действительно в серпентинитах происходит перекристаллизация, выраженная в изменении структурно-текстурных свойств, а по плагиопорфирам и долеритам образуются родингиты. При этом родингиты на контакте с серпентинитами характеризуются схожими минеральными парагенезисами (диопсид, гроссуляр, кальцит, альбит, паргасит), однако на контакте с нефритом присутствует зона преимущественно диопсидового состава (диопсидиты) с незначительным содержанием тремолита в краевой части зоны. Диопсид в этой зоне обладает нефритоподобным обликом.

То, что протолитом для образования нефрита послужил серпентинит подтверждается составом реликтового хромшпинелида и унаследованностью редкоземельного, в том числе редкоземельного состава пород. Для процессов нефритообразования характерны привнос  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , вынос  $\text{MgO}$ , а процессы родингитизации сопровождаются привнесом  $\text{CaO}$  и выносом  $\text{SiO}_2$  и щелочей.

С одной стороны, увеличение содержаний  $\text{SiO}_2$  при образовании нефритов и уменьшение таковых при родингитизации можно объяснить проявлением диффузионного метасоматоза, проходившего на границах серпентинитов с породами даек, при котором движущей силой диффузии является разница химических потенциалов компонентов в межпоровом растворе различных зон метасоматической колонки. Однако, это предположение не

согласуется с поведением других макрокомпонентов, и тем более с одновременным ростом содержаний  $\text{CaO}$  в нефритах и родингитах. При этом ни плагиопорфиры, ни серпентиниты не могут служить источником кальция.

Существует несколько точек зрения на происхождение нефритообразующих флюидов. Так Колман [2] считал, что водные флюиды, протекающие через тела ультраосновных пород при серпентинизации, должны насыщаться  $\text{Ca}^{2+}$  в результате распада клинопироксена. О'Хэнли [3] утверждал, что для образования нефрита (в отличие от родингита)  $\text{Ca}$  должен поступать извне серпентинита после того, как серпентинизация и образование родингита практически завершены. Сутурин и Замалетдинов [4] предположили существование некоего гипотетического внешнего источника для нефритообразующих компонентов, которые поступают во вмещающие породы. Адамс и др. [5] с помощью изотопных исследований установили, что  $\text{Ca}$  в нефрит поступает из кремнистых осадочных пород.

Пайтон с соавторами [6], на основе изучения «даек» диопсидитов на контакте с нефритами в офиолитовом комплексе Омана, пришли к выводу, что их образование связано с циркуляцией очень высокотемпературных ( $> 800$  °C) карбонатных флюидов и морской воды. Авторы отмечают, что такой составной «флюид» должен быть чрезвычайно богат  $\text{Ca}$ ,  $\text{Si}$ , беден  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$ . То, что процессы образования нефрита и диопсидитов связаны между собой свидетельствуют изменения как минерального, так и редкоземельного состава нефрита по направлению к контакту с диопсидитом. Наличие скоплений антигорита  $\pm$  тремолита в нефрите между диопсидитом показывает, что диопсидиты с нефритовой стенкой формируются из поля стабильности форстерит + диопсид. Диопсид и тремолит сосуществуют в большой области температур, но равновесие форстерит + антигорит + тремолит в нефрите предполагает температуру образования около 550–600 °C при относительно высокой  $X_{\text{CO}_2}$  [7, 8].

Нефриты и диопсидиты, вероятно, являются результатом преобразования серпентинита путем добавления Ca, Si и удаления Fe, Mg при постоянной массе породы. Падение плотности и объемное расширение в результате этого преобразования, вероятно, было скорректировано общей трещиноватостью пород. Диопсидиты могли формироваться непосредственно из флюида или замещать тремолитизированный серпентинит.

Анализ предыдущих исследований месторождений нефрита Восточного Саяна [9] показал, что дайки долеритов и плагиогранитов в серпентинитах всех массивов смяты в складки. Этот факт и наши данные позволяют заключить, что эти дайки не влияли на процессы образования нефрита. Они, вероятно, служили геохимическими барьерами для глубинных флюидов. Метасоматические преобразования, приводящие к образованию нефрита, происходят исключительно в серпентинитах.

Это подтверждается распределением редких и редкоземельных элементов на контакте нефритов и даек [10]. Аналогичные процессы наблюдаются и при образовании апокарбонатного нефрита, который формируется под воздействием метеорных вод только внутри доломитов [11]. Граниты на контакте с нефритом являются более древними и играют, по-видимому, также роль геохимического барьера, на котором образуются диопсидиты, а по ним — нефрит. В отличие от предыдущих представлений [1, 4], мы считаем, что нефриты являются высокотемпературными и высокобарическими породами. Их образование происходило в условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

*Исследование проведено в рамках  
выполнения государственного задания  
по Проекту № 0284–2021–0006.*

## Литература

1. Сутурин А. Н., Замалетдинов Р. С., Секерина Н. В. Месторождения нефритов. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 377 с.
2. Coleman, R.G., 1977. Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere? Springer, Berlin, 229 p.
3. O'Hanley, D.S. Serpentinities, records of tectonic and petrological history. Oxf. Mono. Geol. Geophys. 1996, 34, 256
4. Сутурин А. Н., Замалетдинов Р. С. Нефриты. М.: Наука, 1984. 292 с.
5. Adams C.J., Beck R.J., Campbell H.J. Characterisation and origin of New Zealand nephrite jade using its strontium isotopic signature // Lithos. 2007. V. 97. P. 307–322.
6. Python M., Yoshikawa M., Shibata T., Arai, S. Diopsidites and Rodingites: serpentinisation and Ca-Metasomatism in the Oman Ophiolite Mantle. In Dyke Swarms: Keys for Geodynamic Interpretation, 2011. 401–435.
7. Trommsdorff V., Evans B.W. Progressive metamorphism of antigorite schist in the Bergell tonalite aureole (Italy) // Am. J. Science. V. 272. No 5. P. 423–437.
8. Trommsdorff V., Connolly J.A.D. Constraints on phase diagram topology for the system CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O // Contrib. Mineral. Petrol. 1990. V. 104. No 1. P. 1–7.
9. Замалетдинов Р. С., Якшин И. С. Геологические особенности и условия формирования Восточно-Сибирских месторождений нефрита // Разведка и охрана недр. 1971. № 8. С. 15–17.
10. Шутов В. А., Мехоношин А. С., Колотилина Т. Б. Процессы родингитизации и нефритообразования на контакте серпентинитов с плагиориолит-порфирами Улан-Ходинского месторождения (Восточные Саяны, Россия) // Геосферные исследования. 2024. № 2. С. 101–116.
11. Кислов Е. В., Гончарук И. С., Вантеев В. В., Посохов В. Ф. Воймаканское месторождение аподоломитового нефрита, средне-Витимская горная страна: условия формирования // Геология рудных месторождений. 2024. Т. 66. № 6. С. 648–667.

## Техногенез и процессы самоочищения подземных вод (на примере Нижнекамской нефтеперерабатывающей промзоны)

Р.Х. МУСИН

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, [Rustam.Musin@kpfu.ru](mailto:Rustam.Musin@kpfu.ru)

Нижнекамская промзона является одной из крупнейших в Европе. Здесь расположены такие промышленные гиганты, как ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Нижнекамскшина», АО «ТАИФ-НК», АО «ТАНЕКО» и ряд более мелких предприятий. Промзона начала функционировать в 1967 г. Она расположена на достаточно высоком и широком залесённом водоразделе по левобережью р. Кама, восточнее г. Нижнекамска. Общая её площадь – не менее 20 км<sup>2</sup>, превышение над основным базисом эрозии, составляющим 53 м, – 150–160 м. Верхняя часть геологического разреза сложена платформенными комплексами полигенных пестроцветных карбонатно-терригенных образований уржумского, казанского и уфимского ярусов средней и нижней перми, общая мощность которых достигает 300 м. Характерной особенностью рассматриваемой осадочной толщи является её разнопорядковая ритмичность. Ритмы обычно начинаются песчаниковыми пачками, которые сменяются алевролитами и глинами, а завершаются карбонатными породами, при мощностях прослоев до 5–7 м. Другой особенностью разреза является преобладание в нем глинистых пород, доля которых в строении отдельных стратонов может достигать 80%. Венчает геологический разрез комплекс четвертичных суглинков мощностью 1–20 м.

Нижнекамская промзона является областью развития межпластовых подземных вод (ПВ), формирующих типичные междуречные потоки. Области их питания являются водораздельные пространства, а разгрузки – речные долины. Разноуровневые водоносные горизонты связаны нисходящим перетеканием. Мощность зоны пресных ПВ достигает 250–300 м. Поверхностная гидросеть в районе исследований представлена верховьями многочисленных ручьёв. Вышеотмеченные промпредприятия отличаются самыми современными технологиями переработки сырья, на них внедрена обратная система водоснабжения; твердые и пастообразные (в меньшей степени жидкие) отходы производства складированы на полигонах захоронения отходов, хорошо

оснащенных в инженерном отношении; часть жидких отходов закачивается в поглощающие горизонты, залегающие на глубинах около 1800 м; другая их часть перекачивается на биологические очистные сооружения.

Максимально негативное воздействие предприятия промзоны оказывают на атмосферу. Приоритетными загрязнителями являются диоксид серы (26%), диоксид азота (17%), оксид углерода (15%) и др. Данные компоненты могут привести к закислению атмосферных осадков. Но по опробованию снежного покрова значения pH в диапазоне 4,89–5,6 фиксируются лишь по южному занятому лесным массивом обрамлению промзоны на удалении не менее 6 км. Несколько в меньшей степени (в сравнении с атмосферой) негативное воздействие сказывается на качестве ПВ первых от поверхности водоносных горизонтов. Так на промплощадке одного из предприятий минерализация грунтовых вод в летнюю межень достигала 1,25 г/л, при значениях общей жесткости и перманганатной окисляемости – 17,7 мг-экв/л и 17,3 мг О/л, тогда как в природных условиях преобладающие значения указанных параметров практически не превышали, соответственно, 600 мг/л, 7–8 мг-экв/л, 3–4 мг О/л [1]. Более интенсивно трансформирован состав грунтовых вод в районе действующего с 1982 г. полигона захоронения пром. отходов ПАО «Нижнекамскнефтехим», где минерализация может достигать 12,8 г/л, жесткость 74 мг-экв/л, а концентрации основных загрязнителей (мг/л): нефтепродукты – до 982, фенолы – 13,9, железо – 153. Интересно и важно, что на удалении 1,0–1,5 км от этого полигона по направлению фильтрационного потока признаки загрязнения как поверхностных, так и подземных вод отсутствуют. В пределах промплощадок уже на уровне второго от поверхности водоносного горизонта особенности состава ПВ приближаются к природным. Загрязнение грунтовых вод (ПВ первого от поверхности горизонта) носит исключительно локальный характер. Подтверждением этого являются данные

обработки разновременных площадных геолого-гидрогеологических исследований ближайших (0,2–7 км) окрестностей Нижнекамской промзоны, характеризующихся широким развитием нисходящих родников, составы вод которых практически не претерпели каких-либо изменений во временном диапазоне 1979–2018 гг. [2].

Локальный характер развития загрязнения и негативной трансформации состава пресных ПВ в Нижнекамской промзоне связан с двумя основными причинами. Это сам локальный характер интенсивного техногенного воздействия, а также значительные буферные свойства геологической среды. Последние определяются преобладанием в геологическом разрезе глин, широким распространением карбонатных пород, а также довольно значительной эрозионной расчлененностью территории. Карбонатные породы нейтрализуют кислые атмосферные осадки, вероятность выпадения которых в этом районе очень высока, при этом нейтрализация будет проходить уже на уровне почвенного горизонта. Преобладание в разрезе глин определяет его высокую сорбционную емкость (сорбционная способность повсеместно развитых покровных четвертичных суглинков приближается к таковой бентонитовых глин). А в совокупности с эрозионной расчлененностью глинистые прослои определяют короткие пути фильтрации для межпластовых ПВ верхней части разреза. Эти воды, формирование которых связано с инфильтрацией атмосферных осадков и, возможно, каких-то сточных вод или полигонных фильтратов, пройдя довольно ограниченный путь плановой фильтрации (на котором они подвергаются самоочищению за счет чистого инфильтрационного питания, сорбции, диффузии, дисперсии) начинают разгружаться в оврагах и малых речных долинах. Здесь процессы самоочищения продолжаются за счет разбавления чистыми водами (атмосферными, поверхностными), сорбции, хемо- и биодеструкции. Возможно, что процессы хемо- и биодеструкции играют определяющую

роль в самоочищении загрязненных поверхностных и подземных вод. Это исходит из того, что основными загрязняющими веществами в данной промышленной зоне являются органические вещества. Если принять значение параметра деструкции ( $\lambda$ ) нефтепродуктов, равным  $10^{-3}$  сут<sup>-1</sup>, и использовать уравнение кинетики первого порядка [3]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\lambda * c, \quad c = c_0 e^{-\lambda t},$$

где  $c_0$  — начальная концентрация мигранта (контаминанта),

то при начальной концентрации нефтепродуктов в грунтовых водах на выходе с полигона отходов 1000 мг/дм<sup>3</sup> их содержание снизится до 0,1 мг/дм<sup>3</sup> за 9210 суток (25 лет). За это время загрязненный фильтрационный поток при существующих условиях должен пройти от ограничения полигона 1440 м, на всем протяжении которого он еще будет разбавляться чистым инфильтрационным питанием. Буферные свойства геологической среды проявляются и в том, что на территории Нижнекамской промзоны проявлена вертикальная гидрогеохимическая зональность, проявляющаяся в смене (в направлении сверху вниз) гидрокарбонатных магниевых-кальциевых вод с минерализацией до 0,6 г/л и общей жесткостью до 7–8 мг-экв/л гидрокарбонатными (сульфатно-гидрокарбонатными) натриевыми водами с минерализацией 0,6–0,7 г/л и жесткостью 0,5–2 мг-экв/л. Проявление данной зональности связано с выпадением в осадок карбонатов кальция и магния, которое начинается с глубинных уровней 70–80 м. Это обуславливает повышенную до 300 м мощность пресных подземных вод и возможность получения вод питьевого качества практически в пределах всей промзоны (прямо с производственных площадок). При этом оптимальный глубинный уровень каптажа подземных вод — 150–200 м, а наиболее продуктивный элемент разреза — нижнекамский водоносный комплекс [1].

## Литература

1. Мусин Р.Х., Галиева А.Р., Кудбанов Т.Г., Курлянов Н.А. Особенности влияния на гидросферу комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий в Нижнекамской промзоне Республики Татарстан // Нефтяное хозяйство. 2020. № 3. С. 108–112.
2. Мусин Р.Х., Галиева А.Р., Хамитов А.Д. Особенности трансформации во времени состава пресных подземных вод в Республике Татарстан // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2023. Т. 165, кн. 3. С. 427–446.
3. Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 176 с.

## Новое местонахождение ископаемой фауны Вознесеновка

Б.Д.-Ц. НАМЗАЛОВА<sup>1</sup>, О.Д.-Ц. НАМЗАЛОВА<sup>2</sup>

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия,

<sup>1</sup> [namsab@mail.ru](mailto:namsab@mail.ru), <sup>2</sup> [ojunkanam@mail.ru](mailto:ojunkanam@mail.ru)

Новое местонахождение фауны крупных млекопитающих Вознесеновка (51°42'18.2»N107°28'56.6»E) открыто в 2021 г. сотрудниками Геологического института им. Н.Л.Добрецова СО РАН Баирмой Намзаловой и Оюной Намзаловой. В разрезе, в мелко-тонкозернистых песках сероватого цвета впервые были выкопаны кости скелета хорошей сохранности, принадлежащие бизону *Bison sp* (более 15 фрагментов) и выявлены два горизонта с многочисленными раковинами моллюсков.

Местонахождение приурочено к правому берегу р. Селенга, расположено в северо-восточном направлении от с. Вознесеновка Тарбагатайского района. Геологическое строение разреза было описано ранее В.Л. Коломийцем и Р.Ц. Будаевым при исследовании речных террас р. Селенга. Разрез Вознесеновка представляет собой речную террасу реки Селенга, высотой 27 метров, сложенную песками тонкообломочной структуры, имеющими ритмично-слоистую субгоризонтально-слабонаклонную текстуру. Установлено, что среда седиментации — озеровидный неглубокий проточный водоем с привносом материала речными палеоводотоками равнинного и полугорного типов. По данным РТЛ датирования время формирования осадочной толщи относится ко второй половине среднего плейстоцена [1].

В 2022 году состоялись совместные полевые выезды сотрудников Института с коллегами А.А. Щетниковым и И.А. Филиновым ИЗК СО РАН, г. Иркутск. Проведено детальное описание разреза и опробование на различные виды анализов: гранулометрический, палинологический, палеомагнитный.

Кости скелета бизона переданы для изучения Д. М. Маликову, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск. Многочисленные раковины моллюсков, отобранные из двух горизонтов, были переданы Г.А. Данукаловой и Е.М. Осиповой, ИГ УФИЦ РАН г. Уфа. Установлено, что фауна моллюсков местонахождения Вознесеновка включает 12 таксонов, наиболее многочисленными являются *Ostracoda*.

В 2025 году нами продолжены полевые исследования, в результате которых значительно дополнены палеонтологические сборы 2021 г. новыми материалами: выкопаны

более 25 костей скелета бизона — позвонки шейного отдела с остистыми отростками, ребра и др. В этом же горизонте найдены единичные костные остатки мелких млекопитающих. Обнаружены в виде подъемного материала череп хищного животного с зубами хорошей сохранности, предположительно волка — *Canis lupus* и один позвонок. Подъемный материал имеет следы ожелезнения, как и кости скелета бизона, что вероятно позволяет отнести их к одному горизонту. В левой части разреза в 10 м от месторасположения находки костей скелета бизона в идентичных отложениях обнаружены костные остатки крупного млекопитающего.

Ниже уровня залегания костей *Bison sp.* обнаружен обломочный материал (артефакты) и остатки углей, предположительно это было место изготовления каменных орудий древнего человека. Найденные материалы переданы сотрудникам ИМБИТ СО РАН для дальнейшего изучения.

Данное местонахождение является уникальным и перспективным, дальнейшее изучение стратиграфически привязанных находок и совокупность геологических, палеонтологических и археологических данных местонахождения Вознесеновка позволит получить новые сведения по палеобиогеографии и условиям природной среды и среды обитания древнего человека в плейстоцене в регионе.

На сегодняшний день работа на разрезе затруднена из-за особенностей грунта и песчаных отложений, которые периодически осыпаются. Кроме того, активная добыча строительного материала населением г. Улан-Удэ с применением тяжелой техники в местонахождении Вознесеновка ведет к его разрушению, и в последствии утрате палеонтологических и археологических данных.

Выражаем искреннюю благодарность в определении костных остатков Д. Г. Маликову из ИГМ СО РАН, г. Новосибирск и моллюсков Г. А. Данукаловой и Е. М. Осиповой из ИГ УФИЦ РАН г. Уфа.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту № АААА-А21-121011390004-6 Эволюция природной среды, климата, биоты Байкальского региона и Монголии в кайнозое.*

### Литература

1. Коломиец В. Л., Будаев Р. Ц., Первалов А. В. О возрасте осадочных толщ долины р. Селенга (Западное Забайкалье) //Международный научно-исследовательский журнал, № 1 (79). Ч. 1. С 106–109.

## Палеоэкологическая характеристика позднеплейстоцен-голоценовых сообществ мелких млекопитающих местонахождения Колобки (Западное Забайкалье)

О.Д.-Ц. НАМЗАЛОВА

Геологический институт им. Н.Л.Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [ojunkanam@mail.ru](mailto:ojunkanam@mail.ru)

Местонахождение фауны амфибий и мелких млекопитающих позднего плейстоцена и голоцена Колобки расположено в южной части Иволгинской впадины, в 2 км к югу от юго-западной окраины с. Иволгинск (N51°43'35.8"; E107°17'06.4"). Протяженность разреза составляет более 500 м., мощность рыхлых плейстоцен-голоценовых отложений составляет 3,5 м. В разрезе выявлено 2 фаунистических горизонта: верхний фаунистический горизонт, представленный темно-коричневыми отложениями и нижний, установленный в слабо карбонатизированных, разнозернистых песках серовато-коричневого цвета.

Сообщество мелких млекопитающих местонахождения Колобки включает представителей отрядов зайцеобразные (Lagomorpha) и грызуны (Rodentia). В составе фауны встречены типичные обитатели степных и сухостепных ландшафтов, такие как даурская пищуха, длиннохвостый суслик, полевка Брандта, а также барабинский хомячок.

Даурская пищуха *Ochotona daurica* (Pallas, 1776) — многочисленный вид в позднем плейстоцене Забайкалья. В фауне местонахождения Колобки остатки даурской пищухи встречаются редко, их присутствие установлено в нижнем горизонте. Это вид, населяющий сухие степные пространства, современные места обитания в основном — степи ксерофитного типа.

Доминирующее положение в сообществе мелких млекопитающих местонахождения Колобки занимает полевка Брандта *Lasiopodomys brandti* (Radde, 1861), обитающий в степях. Многочисленные остатки находились в костеносных линзах слабо карбонатизированных разнозернистых песков серовато-коричневого цвета. Полевка Брандта — характерный элемент позднеплейстоценовых фаунистических комплексов и имеет важное значение при палеоэкологических исследованиях. Наиболее ранние палеонтологические

данные о находках в Забайкалье относятся к раннему плейстоцену, многочисленные остатки известны из отложений плейстоцен-голоценового возраста. Морфометрические и сравнительно-морфологические характеристики первого нижнего коренного зуба полевки Брандта из местонахождения Колобки соответствуют уровню эволюционного развития таковых позднеплейстоценовой формы, согласно [1, 2].

В горизонте с многочисленными остатками полевки Брандта и даурской пищухи были выявлены костные остатки барабинского хомячка *Cricetulus barabensis* Pall., 1873 — важного элемента степных и пустынных сообществ мелких млекопитающих Евразии.

Немногочисленные остатки длиннохвостого суслика *Spermophilus undulatus* (Pallas, 1778) установлены в верхнем горизонте. Обитатель открытых ландшафтов, в Западном Забайкалье основные биотопы приурочены к днищам межгорных котловин, в долинах рек Селенги и ее притоков животные занимают остепненные участки поймы.

Сообщество мелких млекопитающих местонахождения Колобки представлено обитателями открытых ландшафтов. Видовой состав фауны показывает, что в Западном Забайкалье для ландшафтов конца позднего плейстоцена характерно широкое распространение открытых сухих степей с участками полупустынь. Климат, вероятно, был сухим и холодным.

Имеющиеся сведения по фауне мелких млекопитающих значительно дополнены полевыми исследованиями 2025 г., материалы находятся в стадии камеральной обработки.

Выражаю благодарность за помощь в проведении полевых исследований коллегам Н. А. Щепиной, Б.Д.Ц. Намзаловой и Г. А. Кисловой. Исследования выполнены при поддержке проекта АААА-А21-121011390004-6.

### Литература

1. Ербаева М.А. Происхождение, эволюция и внутривидовая изменчивость полевки Брандта антропогена Западного Забайкалья // Труды Зоологического Института. — 1976. — Том 66. — С. 107–116.
2. Alexeeva N, Erbaeva M, Khenzykhenova F., *Lasiopodomys brandti* in Pleistocene of Transbaikalia and adjacent territories: Distribution area, evolutionary development in context of global and regional events. *Quaternary International* 2015. 355, 11–17.

## Характер кристаллизации редкоземельной минерализации месторождения Южный Иргиз (Центральный Казахстан)

А.Н. НИКОЛАЕВА

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, [ann18@tpu.ru](mailto:ann18@tpu.ru)

Редкоземельные элементы относятся к числу стратегически важных ресурсов современной индустрии, играя ключевую роль в развитии высокотехнологичных отраслей. В условиях растущего мирового спроса и ограниченности сырьевой базы особое значение приобретают исследования, направленные на выявление новых объектов редкоземельной минерализации. Данная работа была направлена на изучение и характеристику морфологического и химического разнообразия минеральных форм редкоземельной минерализации в рудах месторождения Южный Иргиз, приуроченного к Жана Казахстанскому рудному узлу в Западно-Чингизском сегменте Девонского вулcano-плутонического пояса [1, 3, 4].

Для получения данных о минеральном составе, текстуре и химических характеристиках рудовмещающих пород и руд были применены следующие методы: оптическая петрография, рентгенофлуоресцентный анализ (XRF), рентгеновская дифрактометрия (XRD), сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным анализом (SEM-EDS), микрокомпьютерная томография, а также масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Изучаемый рудный объект относится к гидротермальному плутоногенному и альбититовому типам оруденения, имеющим непосредственную связь со щелочными интрузиями девона. Рудовмещающие породы представлены туфами и туфобрекчиями дацит-риодацитового состава, цвет которых меняется с глубиной от бежевого до буровато-красного за счёт образования тонкодисперсного гематита. Главные рудные компоненты представлены гематитом и пиритом, формирующими основную массу сульфидно-оксидной минерализации. Среди минеральных фаз, присутствующих в виде редких и единичных включений, отмечаются сфалерит, галенит, халькопирит, магнетит, арсенопирит, рутил, апатит, циркон, ильменит, колумбит и ильменорутит. Редкоземельная минерализация зафиксирована в виде зерен церита и монацита.

Церит ( $\text{CeO}_2$ ) со значительными содержаниями  $\text{La}_2\text{O}_3$  (в среднем 19.72%) и  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (13.21%), является доминирующим редкоземельным минералом в рудах, представлен преимущественно игольчатыми кристаллами (табл. 1) и их скоплениями. Во многих случаях агрегаты демонстрируют призматические очертания с соотношением длины и ширины 3:1, где максимальное значение ширины достигает 8.53  $\mu\text{m}$ . На глубине от дневной поверхности церитовые агрегаты преимущественно представлены в виде обособленных скоплений, тогда как ближе к поверхности наблюдается тенденция к агрегированию и частичной перекристаллизации, при этом отдельные иглы сохраняют различимость. Концентрируются данные игольчатые агрегаты в кварц-полевошпатовой массе, пустотных хлоритизированных пространствах плагиоклаза, в ассоциации с агрегатами гематита в кварц-полевошпатовом матриксе. Реже фиксируются прожилковые образования церита в пределах трещинного пространства (табл. 1), пересекающего кварц-полевошпатовый матрикс, частично замещённый хлоритом и серицитом. Прожилки развиты в ассоциации с гематитом и варьируют по протяжённости, часто демонстрируя сегментированное строение с нечеткими границами. Средняя длина прожилков составляет 23.74  $\mu\text{m}$ . Морфологические и химические различия между игольчатыми и прожилковыми формами церита указывают на их формирование в условиях разной флюидной эволюции. Игольчатые агрегаты, содержащие примеси Th, Pr, Sm, Gd, Y, Br и Sb, вероятно, кристаллизовались на ранней стадии из насыщенного многокомпонентного раствора в условиях высокой скорости роста. Прожилковые выделения, лишённые примесей, формировались позднее — в более очищенной флюидной среде, при более стабильных условиях и сниженной активности побочных (примесных) компонентов. Это отражает поэтапный характер редкоземельной минерализации и указывает на возможную ремобилизацию церия при позднегидротермальной переработке.

Монацит  $(\text{Ce, La, Nd})[\text{PO}_4]$  (табл. 1) менее

распространен в рудах, характеризуется высоким содержанием легких редкоземельных элементов (La, Ce, Nd), а также заметным присутствием в структуре HREE: Sm, Gd и Y. Отличительной особенностью редкоземельного минерала является его тесная пространственная связь с полевошпатовыми минералами, что указывает на формирование

в зоне калий-натриевого метасоматоза. Отсутствие четкой кристаллической огранки и наличие неравномерных границ позволяет предполагать, что образование монацита происходило на фоне ремобилизации редкоземельных элементов и их повторного осаждения в поровом пространстве, насыщенном фосфатными компонентами [2].

Таблица 1. Химический состав редкоземельных минералов

Минерал	Игольчатый церит	Прожилковый церит	Слабоизометричный монацит
Сод-е оксида, вес. %			
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{30.16 - 37.00}{34.04}$	$\frac{12.23 - 18.74}{15.53}$	$\frac{15.06 - 27.16}{23.41}$
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{13.4 - 20.8}{17.04}$	$\frac{32.74 - 36.10}{34.62}$	$\frac{8.85 - 16.35}{12.47}$
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{10.00 - 16.37}{13.08}$	–	$\frac{3.51 - 8.45}{6.33}$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	–	$\frac{36.65 - 55.47}{50.30}$
CaO	$\frac{23.47 - 32.08}{28.37}$	$\frac{29.77 - 32.79}{30.98}$	$\frac{3.32 - 6.49}{4.82}$
SiO <sub>2</sub>	$\frac{1.57 - 15.57}{5.39}$	$\frac{0.98 - 1.49}{1.24}$	–
FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{1.43 - 9.50}{4.35}$	$\frac{16.26 - 21.83}{18.57}$	–

Таким образом, проведенные исследования показали, что основными носителями редкоземельных элементов в изученных рудах являются монацит и церит. Это свидетельствует о преимущественном накоплении легких редкоземельных элементов (LREE-типовый характер), в первую очередь Ce, La

и Nd, а HREE-минерализация в данном случае вторична (Y, Gd, Sm, Th и др.).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023–0010).*

## Литература

1. Даукеев С.Ж., Ужкенов Б.С., Абдулин А.А. и др. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Металлогения. Том II. Металлогения. Алма-Ата: Информационноаналитический центр геологии и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2002. 272 с.
2. Cressey G., Wall F., Cressey B.A. Differential REE uptake by sector growth of monazite // Mineralogical Magazine. 1999. V. 63(6). P. 813–828.
3. Cekuta R., MacLaren R., Schulz D., Lehmann D. Sourcing rare earth minerals in Central Asia // Policy brief by Caspian policy center. 2022. P. 17.
4. Korobayeva A.N., Amangeldikyzy A.A., Blyalova G.G., Askarova N.S. Features of rare earth elements geochemistry in coals of Central Kazakhstan // Acta Geochim. 2024. P. 1–13.

## Редкоземельные элементы в раннеархейских гнейсах в южной части Енисейского кряжа

А.Ю. ОЗЕРСКИЙ

<sup>1</sup> АО «Красноярская горно-геологическая компания», Красноярск, Россия, [ozerski@krasgeo.ru](mailto:ozerski@krasgeo.ru)

Распространенность редкоземельных элементов (РЗЭ) изучалась при геологоразведочных работах на участке недр, предназначенном для строительства подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ), целью создания которой является разработка технологии окончательной изоляции радиоактивных отходов (РАО) в недрах. Данный участок расположен в 50 км северо-восточнее Красноярска, в пределах Ангаро-Канского террейна Енисейского кряжа, сложенного докембрийскими кристаллическими породами. Преобладающими породами на участке строительства ПИЛ являются гнейсы и кристаллические сланцы, относящиеся к атамановской серии

раннего архея. Эти породы вместе занимают около 80% объема массива, при этом доля сланцев в геологическом разрезе массива незначительна, поэтому все изученные породы кратко именуется гнейсами. Для гнейсов участка получены оценки абсолютного возраста в диапазоне 3221–1832 млн лет [4].

По содержанию SiO<sub>2</sub> примерно 2/3 гнейсов относятся к кислым породам, а 1/3 – к средним (таблица). Кроме гнейсов в строении породного массива принимают участие магматические гипабиссальные и жильные образования, преимущественного основного состава, однако их роль и место подчинены гнейсам.

**Таблица. Показатели распределения редкоземельных элементов (г/т) и геохимические коэффициенты различных петрохимических типов гнейсов**

Элементы и коэфф.	Кларк литосферы	Кислые гнейсы (SiO <sub>2</sub> >64%) N=24				Средние гнейсы (53% < SiO <sub>2</sub> < 64%) N=15			
		Среднее	Станд. откл.	Минимум	Максимум	Среднее	Станд. откл.	Минимум	Максимум
La	30	50	6	35	63	52	21	4	97
Ce	61	97	13	67	130	102	41	9	190
Pr	7,6	11	2	8	15	12	4	1	21
Nd	30	56	82	28	440	60	71	4	310
Sm	7,3	7,1	1,0	4,7	9,4	7,3	2,5	0,9	13,0
Eu	1,2	1,3	0,1	1,1	1,5	1,3	0,3	0,3	1,8
Gd	7,2	5,4	0,8	3,4	7,2	5,7	1,9	0,8	9,8
Tb	1,9	0,7	0,1	0,4	1,0	0,8	0,3	0,1	1,3
Dy	4,7	3,6	0,6	2,0	5,2	4,1	1,6	0,6	7,4
Ho	1,5	0,6	0,1	0,3	0,9	0,7	0,3	0,1	1,5
Er	3	2,5	3,6	0,7	14,0	1,8	0,9	0,4	4,5
Tm	3,6	0,2	0,04	0,1	0,3	0,2	0,1	0,05	0,6
Yb	3,1	0,95	0,22	0,47	1,50	1,23	0,84	0,35	4,00
Lu	0,9	0,13	0,03	0,07	0,21	0,17	0,13	0,06	0,62
ЛРЗЭ	137,1	173,2	85,0	108,5	561,3	182,4	86,4	15,2	401,5
ТРЗЭ	25,9	14,1	3,9	7,5	25,2	14,7	5,7	2,4	27,1
La/Sm	4,1	7,1	0,3	6,6	7,7	7,0	1,2	3,2	8,0
Ce/Sm	8,4	13,7	0,6	12,7	14,4	13,6	2,2	7,1	15,4

Yb/Sm	0,4	0,13	0,03	0,09	0,17	0,19	0,14	0,10	0,61
Eu/Sm	0,16	0,18	0,02	0,15	0,23	0,19	0,05	0,14	0,31
Eu/Eu*	0,5	0,74	0,08	0,57	0,98	0,73	0,13	0,56	1,07

Именно гнейсы контролируют общие геохимические условия и геофильтрационную среду массива и именно с ними связываются прогнозы возможной миграции радионуклидов от ПИЛ. Вот почему всестороннее изучение гнейсов, в том числе геохимических условий, имеет важное значение для обоснования долговременной безопасности объекта.

Помимо решения практических прогнозных задач, изучение РЗЭ признается надежным инструментом, позволяющим по индикаторным показателям выявить генезис, палеофациальные или геодинамические условия формирования гнейсовой толщи. Ранее было достоверно установлено, что атамановские гнейсы имеют осадочное происхождение и сформировались в гранулитовой фации регионального метаморфизма из пелитов и граувакков [2]. Это точка зрения находит подтверждение по результатам изучения РЗЭ (рисунок).

Осадочный генезис протолита гнейсов также подтверждается значениями «европиевой аномалии»  $Eu/Eu^*$  (0,73), совпадающими со средними для осадочных пород – 0,61–0,72 [1], а также с данными полученными А.Д. Ножкиным и др. [3] для метапелитов канского комплекса Енисейского кряжа (0,4–0,7). Другие геохимические индикаторы отображали особенности палеофациальных или геодинамических условий образования гнейсов (Таблица). Коэффициент  $La/Yb$ , проявляющийся в уменьшении в сторону пелагиали, показывает, что в более глубоководных условиях отлагался протолит гнейсов среднего состава, а коэффициенты  $La/Sm$ ,  $Ce/Sm$ , показывают, что в прибрежных условиях формировался протолит кислых гнейсов.

Генетические различия между гнейсами кислого и среднего составов, проявляющиеся в индикаторных коэффициентах, вероятно отражают различные геодинамические обстановки их формирования.

## Литература

1. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М., Наука, 1976 г., 267 с.
2. Заблоцкий К.А., Сопрончук В.Р. Реконструкция первичного состава раннедокембрийских метаморфических пород юга Енисейского кряжа // Проблемы геологии и металлогении Красноярского края. Новосибирск: Наука, 1989, с. 100–109.
3. Ножкин А.Д., Дмитриева Н.В., Туркина О.М., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. Метапелиты нижнего докембрия Енисейского кряжа: РЗЭ-систематика, источники сноса, палеогеодинамика // Доклады Академии наук, 2010, том 434, № 6, с. 796–801
4. Сазонов А.М., Заблоцкий К.А., Линнеманн У., Звягина Е.А., Некрасова Н.А., Наумов Е.А., Сильянов С.А. Геохронология силлиманит-кордиеритовых гнейсов атамановской серии Южно-Енисейского кряжа (Россия) // Литосфера. 2017. № 2. С. 49–59. EDN: YMXUJV
5. McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crystal evolution and plate tectonic associations // *Gochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54, pp. 2015–2050.

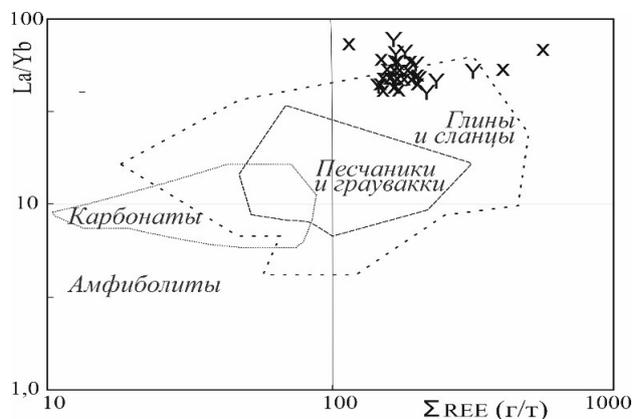


Рис. Геохимическая диаграмма условий формирования пород участка, по S.M. McLennan [5]. Условные обозначения состава гнейсов: X – кислые, Y – средние.

Несмотря на кажущуюся близость концентраций РЗЭ, статистические различия выборок кислых и средних гнейсов достоверно подтверждены для каждого из элементов по U-критерию Манна-Уитни. Поскольку распределение всех РЗЭ отличаются от нормального закона, использование t-критерия Стьюдента в данных условиях не применимо.

Сопоставление средних концентраций РЗЭ в кислых и средних гнейсах с их кларками показывает, что, по отношению к кларкам, все гнейсы обогащены легкими РЗЭ, однако средние гнейсы имеют более высокие концентрации тяжелых РЗЭ (таблица). Это говорит о различных геодинамических обстановках образования протолита. Можно предполагать, что протолит гнейсов кислого состава отлагался в прибрежной окраине древнего континента, тогда как протолит гнейсов среднего состава отлагался, дальше от континента, в пелагиали с поступлением в осадок вулканического материала, вероятно, от вулканов островной дуги.

## Проявление «Никелевый ручей» Волчьетундровской габбро-анортозитовой интрузии (главный хребет, Кольский полуостров)

Д.А. ОРСОЕВ<sup>1</sup>, Т.А. ВЕЛИВЕЦКАЯ<sup>2</sup>, Е.А. ХРОМОВА<sup>1</sup>, В.В. ЧАЩИН<sup>3</sup>, С.В. ВЫСОЦКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [magma@ginst.ru](mailto:magma@ginst.ru)

<sup>2</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, [svys@mail.ru](mailto:svys@mail.ru)

<sup>3</sup>Геологический институт КНЦ РАН, Анапиты, Россия, [v.chashchin@ksc.ru](mailto:v.chashchin@ksc.ru)

Волчьетундровская интрузия входит в состав Мончегорского рудного района, поскольку с ней ассоциирует малосульфидное ЭПГ-Cu-Ni оруденение [4]. Она слагает среднюю часть комплекса автономных габбро-анортозитов Главного хребта, включающего интрузии Чуна-Волчьих-Лосевых и Медвежьих тундр. Этот комплекс вытянут в субмеридиональном направлении на расстоянии 80 км при ширине от 1–2 до 15–20 км, маркируя тектонический шов между двумя главными геологическими структурами региона: Кольским блоком на востоке и Беломорским подвижным поясом на западе. Волчьетундровская интрузия имеет протяженность ~24 км при ширине от 1 до ~4 км. Западный контакт массива с породами Беломорского пояса тектонический, а восточный – интрузивный с образованием на контакте краевой зоны интрузивно-анатектических гиперстеновых диоритов в результате термального воздействия основной магмы на вмещающие пироксен-плагиоклазовые кристаллосланцы Кольского блока. Формирование пород Волчьетундровского массива происходило в интервале (U-Pb метод, циркон) 2463–2473 млн лет [3].

Проявление «Никелевый ручей» находится в южной части интрузии и приурочено к эндоконтактовым гиперстеновым диоритам, ширина которых здесь варьирует в интервале 200–350 м. Следует отметить, что развитие диоритов в контактовых областях вообще характерны для многих расслоенных базит-ультрабазитовых массивов (например, Садбери, Лукиндинский, Веселкинский, Кувалорогский, Дукукский и др.). К востоку от проявления вдоль эндоконтактовой зоны отмечается довольно крупное тело габброноритов и норитов (Восточное норитовое тело), местами содержащих оливин и спорадическую бедную сульфидную вкрапленность.

Интрузивно-анатектические гиперстеновые диориты подвержены интенсивной метаморфической и тектонической переработке с проявлениями процессов милонитизации, катаклаза, эклогитизации,

амфиболизации, биотитизации и окварцевания, которые, в частности, привели к образованию гранатосодержащих бластомилонитов [2]. К одной из таких зон бластомилонитов приурочено Cu-Ni сульфидное оруденение – Главное рудное тело. Оно имеет пластообразную форму, протягивается в субмеридиональном направлении примерно на 360 м, имеет крутое восточное падение 70–80°. Мощность тела в верхней части достигает 8 м и примерно на глубине 210 м оно выклинивается. Бластомилониты сложены гранатом альмандин-пиропового состава, ортопироксеном ( $En_{59.2-76.4}Fs_{23.6-40.7}Wo_{0-0.6}$ ), плагиоклазом ( $An_{33-48}Ab_{50-62}Or_{0.3-2}$ ), кварцем, силлиманитом. Отмечаются в небольших количествах калиевый полевой шпат, клинопироксен (диосид), биотит, Са-амфибол (магнезиогастингсит), хлорит и сидерит. Спорадически встречаются хромистая шпинель, монацит и торит. Обнаружен очень редкий фосфат Се – рабдофан ( $Se(PO_4)_2 \cdot H_2O$ ).

Руды представлены вкрапленными, вкрапленно-прожилковыми и брекчиевидными разновидностями. Последние состоят из различных по размерам обломков гранат-гиперстеновых диоритов и сульфидного цемента. Все разновидности руд сложены никельсодержащим моноклинным пирротинном (5–70%), пиритом (от ед. зерен до 15%) и пентландитом (до 2–3%). Среди второстепенных и редких отмечаются халькопирит (до 1%), сфалерит, кубанит, молибденит, ильменит, рутил. Кроме того, обнаружен палладиевый мелонит. Структура аллотриоморфно-зернистая. Содержание полезных компонентов, по данным поисковых работ, небольшое (мас.%): Ni 0.04–0.18, Cu 0.12 и Co 0.01–0.03. Однако более высокими содержаниями характеризуются брекчиевидные руды: Ni до 0.60, Cu 0.33 и Co до 0.10.

Сульфидная минерализация Восточного норитового тела характеризуется преобладанием халькопирита над пентландитом. Содержание халькопирита – 2–5%, пентландита – от единичных зерен до 1%, кубанита – до 3%, борнита – от

единичных зерен до 0.5%, пирротина — до 3%. Кроме того, отмечаются пирит, ковеллин, ильменит и магнетит. По условиям локализации, минеральному составу, основным геохимическим параметрам Главное рудное тело принадлежит к другому генетическому типу по сравнению с оруденением Восточного норитового тела и рудами Мончеплутона.

Как показали изотопные исследования, сульфиды (пирротин, пентландит, пирит, халькопирит) из вмещающих рудное тело гиперстеновых диоритов характеризуются очень низкими значениями величины  $\delta^{34}\text{S}$  ( $-0.01$  —  $-0.03\%$ ), тогда как сульфиды из бластомилонитов имеют более широкий интервал значений  $\delta^{34}\text{S}$  от  $-0.93$  до  $+0.88\%$ , что соответствует в обоих случаях диапазону значений серы ( $\delta^{34}\text{S}=0\pm 2\%$ ) мантийного происхождения (рисунок). Особую ценность представляет обнаружение изотопной аномалии серы  $\Delta^{33}\text{S}$ . Ее значения изменяются в пределах от  $-0.10$  до  $-0.20\%$  в сульфиде из руд и от  $-0.10$  до  $-0.17\%$  в сульфиде из гиперстеновых диоритов, что явно выходит за пределы мантийного диапазона  $\Delta^{33}\text{S}$  (см. рисунок).

Эти данные свидетельствуют о том, что помимо мантийной серы заметный вклад в формировании сульфидов вносила сера, испытывавшая изотопное фракционирование в бедной кислородом архейской атмосфере. Предполагается, что изотопно-аномальная сера могла накапливаться в архейских осадочных породах в виде сульфидных и сульфатных минералов в приповерхностных морских условиях с участием атмосферной серы [1, 6]. Таким образом, присутствие изотопно-аномальной серы в сульфиде эндоконтактных диоритов можно объяснить процессами ассимиляции корового вещества исходной базитовой магмой.

## Литература

1. Веливецкая Т.А., Игнатъев А.В., Высоцкий С.В., Яковенко В.В. Изотопная аномалия серы в магматической сульфидной минерализации Мончегорского плутона как свидетельство процессов субдукции в архее // Вестник ДВО РАН. 2024. № 5. С. 40–49.
2. Дубровский М.И., Микляев А.Н. Геология, вещественный состав и генезис «гиперстеновых диоритов» восточного предгорья Главного хребта // Основные и ультраосновные породы Кольского полуострова и их металлогения. Апатиты: изд. Кольского филиала АН СССР, 1975. С. 91–107.
3. Чашин В.В., Баянова Т.Б., Елизарова И.Р., Серов П.А. Волчьютундровский массив комплекса автономных анортозитов Главного хребта, Кольский полуостров: геологические, петрогеохимические и изотопно-геохронологические исследования // Петрология. 2012. Т. 20. № 5. С. 514–540.
4. Чашин В.В., Петров С.В. Малосульфидные платиновые руды Волчьютундровского массива габбро-анортозитов (Кольский полуостров, Россия) // Геол. руд. месторож. 2013. Т. 55. № 5. С. 415–442.
5. Bekker A., Grokhovskaya T.L., Hiebert R., Sharkov E.V., Bui T.H., Stadnek K.R., Chashchin V.V., Wing B.A. Multiple sulfur isotope and mineralogical constraints on the genesis of Ni-Cu-PGE magmatic sulfide mineralization of the Monchegorsk Igneous Complex, Kola Peninsula, Russia // Miner. Deposita. 2016. V. 51. P. 1035–1053.
6. Ono S. Photochemistry of sulfur dioxide and the origin of mass-independent isotope fractionation in earth's atmosphere // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2017. V. 45. P. 301–329.

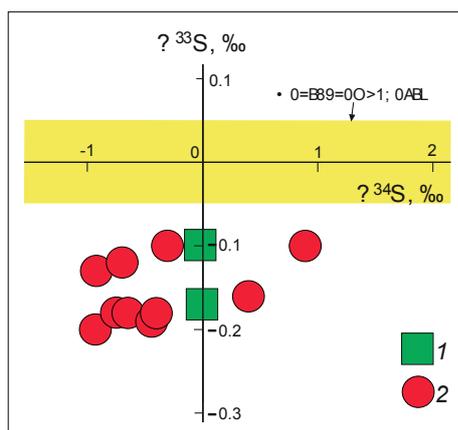


Рис. Мультиизотопные данные серы для сульфидов пород и руд рудопоявления Никелевый ручей.

1 - измененные нориты и габбро-нориты (гиперстеновые диориты); 2 - руды в бластомилонитах.

Несмотря на последующие метаморфические и тектонические события, метка масс-независимого фракционирования серы сохранилась и была привнесена в породы Волчьютундровского массива. К такому же выводу пришли А. Беккер с соавторами [5] при изучении изотопов серы в сульфиде ЭПГ-Cu-Ni месторождений Мончегорского плутона и вмещающих архейских гнейсов и гиперстеновых диоритов.

Гомогенный изотопный состав серы  $-34$  и  $-33$  в изученных сульфидных минералах указывает на достаточно интенсивное перемешивание серы различных источников еще до отделения сульфидной жидкости от своей силикатной матрицы.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ГИН СО РАН им. Н. Л. Добрецова по проекту АААА-А17-117011650013-4.

## Применение эколого-геохимических методов в исследовании динамики экзогенных процессов

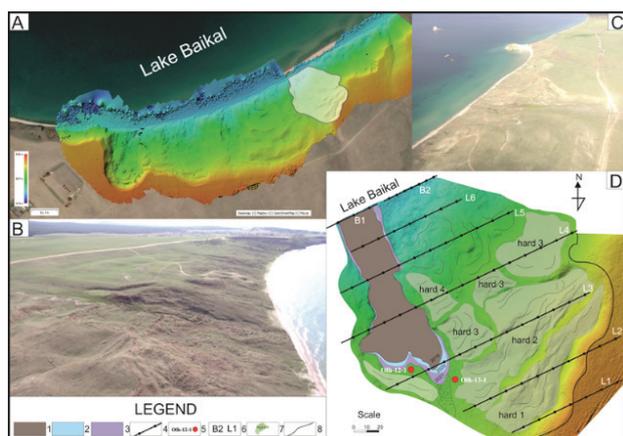
ПЕЛЛИНЕН В.А., ЧЕРКАШИНА Т.Ю., СВЕТЛАКОВ А.А., РЮМИН М.Б.

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, [vadim.a.pellinen@ya.ru](mailto:vadim.a.pellinen@ya.ru)

Главной целью данного исследования является изучение влияния гравитационных геологических процессов (оползней) на миграцию тяжелых металлов, а также геоэкологическая оценка данной территории.

Для эколого-геохимической оценки участка залива Баян-Шунген с наиболее активным оползневой процессом территория была разделена на две зоны: оползень и пляж. Из этих участков было отобрано 80 образцов с использованием классического метода конверта с шагом 10–50 м. Это расстояние зависело от формы рельефа (рисунок).

Изучение эколого-геохимического состояния геологической среды острова Ольхон, озеро Байкал, проводится с 2016 г. В результате исследования природного и антропогенного влияния на данной территории выявлены повышенные содержания таких элементов как F, V, Cr, Co, Zn, Pb, Hg, Cd. К антропогенным нами были отнесены такие элементы-загрязнители, как Hg, Cd, и Pb, остальные элементы связаны с геологическими условиями.



**Рисунок.** Схема ключевого участка залива Баян-Шунген. 1–3 – площади смешения отложений по годам 2019–2021 гг.; 4 – места отбора геохимических проб, 5 – скважины и шурфы; 6 – названия геохимических профилей; 7 – оползневые ступени, блоки; 8 – бровка срыва оползня.

В мировой практике экологических исследований на территориях, не испытавших антропогенное влияние доказано, что наиболее часто встречающимися поллютантами являются такие элементы, как As, Cd, Hg, Mn, Pb, и Zn, которые тесно связаны с антропогенными факторами, в частности с сельскохозяйственной деятельностью и туризмом. Распределение этих элементов в природе обычно связано с различными геодинамическими процессами. Однако в современной литературе не найдены работы по перемещению тяжелых металлов под воздействием экзогенных геологических процессов. В этой работе в качестве такого процесса выбран гравитационный, а именно, оползень, активность которого напрямую зависит от природных факторов.

В ходе этого исследования предложена новая методика геоэкологического мониторинга почв, основанная на оценке уровня их загрязнения антропогенными тяжелыми металлами и механизме переноса на всем пути миграции (поле–оползень–берег). Ее основными составляющими являются выделение мелкозернистой фракции (<100 мкм); определение концентраций Hg, Cd, Pb и Cu с использованием метода рентгеновской флуоресценции с дисперсией по длине волны и атомно-абсорбционной спектроскопии, а также общего содержания органического углерода ( $C_{\text{орг.общ.}}$ ) с использованием спектрофотометрии в УФ-видимом диапазоне; расчет различных геохимических индексов; описание пути миграции исследованных тяжелых металлов и  $C_{\text{орг.общ.}}$  [1].

Наши экспериментальные результаты, полученные в предыдущие годы, подтвердили результаты, представленные Borg and Jonsson в 1996 году. Таким образом, в данной работе изучена только мелкозернистая фракция (<100 мкм) образцов почв. Рассмотрено распределение антропогенных Hg, Cd, и Pb в образцах почв, отобранных из трех исследованных зон, включая восемь профилей (L1–L6 и B1, B2) (рис. D). Полученные концентрации тяжелых металлов, сравнивались с принятыми значениями предельно допустимых концентраций (ПДК) и региональными фоновыми значениями.

Медианные значения концентраций тяжелых металлов в образцах отложений для всех участков представим в виде ряда (в мг кг<sup>-1</sup>): Pb (22) > Cd (0.08) > Hg (0.05). Полученные концентрации Hg, Cd и Pb для (профилей L1–L6, рис. 1) имеют следующие диапазоны (в мг кг<sup>-1</sup>): 0.013–0.077, 0.04–0.1 и 19–26, соответственно. Значения диапазонов содержаний Hg, Cd и Pb для береговой части (профиля B1 и B2, рис. D) отличаются от образцов отобранных в теле оползня и следующий вид (в мг кг<sup>-1</sup>): 0.085–0.16, 0.052–0.066 и 7.4–15, соответственно.

Сравнение полученных концентраций Hg, Cd и Pb с их региональными фоновыми значениями показало, что содержания Hg и Pb превышают показатели фона, за исключением Cd. Медианное значение концентрации Pb (22 мг кг<sup>-1</sup>) в два раза выше значения регионального фона (10 мг кг<sup>-1</sup>) как и Hg (0.051 мг кг<sup>-1</sup>) при фоне (0.02 мг кг<sup>-1</sup>). Медианная концентрация Cd (0.075 мг кг<sup>-1</sup>) не превысила фоновое значение (0.16 мг кг<sup>-1</sup>). В соответствии с, медианные значения всех концентраций тяжелых металлов не превышали их значения ПДК (концентрация / ПДК) (в мг кг<sup>-1</sup>): Pb (22 / 32), Cd (0,075 / 1.4) и Hg (0.051 / 2.1).

Распределение концентрации ртути на территории участка довольно однородное и имеет среднее значение (0.06 мг кг<sup>-1</sup>). Высокие значения ртути картируются в береговой зоне, значения концентраций здесь соответствуют 0.16 мг кг<sup>-1</sup>. Концентрации близкие к нулевому значению выявлены в рву между первой и второй ступенью.

Распределение концентрации кадмия подобно ртути средние значения равны 0.05 мг кг<sup>-1</sup>. Концентрации близкие к нулевому значению также выявлены в первом от бровки отрыва до межоползневого рва. Однако высокие концентрации кадмия равные 0.09 мг кг<sup>-1</sup> сосредоточены на выровненной поверхности языка оползня.

Загрязнения свинцом на территории имеет площадной характер, значения концентрации изменяется от 19 до 24 мг кг<sup>-1</sup>. На рисунке 5 хорошо видно, что концентрация уменьшается от бровки срыва к урезу, причем в зоне пляжа концентрации имеют минимальные значения 14 мг кг<sup>-1</sup>.

Предварительная обработка данных показала, что распределение Hg и Cd на изученной территории указывает на полную зависимость от динамики оползня, то есть различные элементы ландшафта характеризуются своими геохимическими особенностями. Низкие значения концентрации этих металлов выявлены в межоползневых рвах, что говорит нам об отсутствии загрязнения нижележащих пород. Наибольшие всплески концентрации отмечаются в береговой зоне, где ранее были организованы незаконные кемпинговые площадки. Распределение Pb указывает на тенденцию к уменьшению медианного содержания от зоны поля к прибрежной. Повышенные концентрации свинца приурочены бровке срыва и связаны с тем, что рядом с ним проходит автодорога. Это указывает на то, что Pb мигрировал не только по поверхности, но и проникал в более глубокие горизонты. Доказательством служит наличие высоких концентраций в рвах между оползневыми ступенями. Также отметим, что потеря концентраций Cd и Pb в пляжной зоне, происходит из-за влияния береговых течений.

В заключении отметим, что изучены концентрации Hg, Cd, и Pb верхней части оползневых отложений с использованием методов ВД РФА и АА. Установлено, что перенос материала происходил с одного места на другое без изменения его химического состава. Распределение Hg и Cd на изученной территории указывает на полную зависимость от динамики оползня, то есть различные элементы ландшафта характеризуются своими геохимическими особенностями. Выявленные геохимические особенности позволяют проследить смещение оползневых масс, а значит проводить мониторинг, что является новым в исследовании оползней.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075–15–2020–787)*

## Литература

1. Cherkashina T.Y., Svetlakov A.A., Pellinen V.A., Cherkashin E A. Relationships between heavy metal migration in soils and landslide dynamics under conditions of modern climate change: A case study of Lake Baikal, Olkhon Island. Sci. Tot. Environ. 2025, vol. 975, Issue no. 179285.
2. Pellinen V.A., Cherkashina T.Y., Gustaytis M.A. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of Olkhon Island, Lake Baikal, Russia. Sci. Tot. Environ. 2021, vol. 786, Issue no. 147441.

## Предпосылки подтопления восточного побережья Байкала

А.М. ПЛЮСНИН, А.Д. БАЗАРОВ, А.В. УКРАИНЦЕВ, М.К. ЧЕРНЯВСКИЙ, Р.С. ЧЕРНИГОВСКИЙ, Е.Г. ПЕРЯЗЕВА

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Российская Федерация [gin@ginst.ru](mailto:gin@ginst.ru)

Процесс подтопления заключается в повышении уровня грунтовых вод, нарушающее нормальное использование территории. Актуальность проведенных исследований определяется возрастающей востребованностью участков побережья для размещения объектов инфраструктуры туристическо-рекреационного назначения в связи с государственной политикой развития внутреннего туризма.

Предпосылки для развития подтопления в связи с сезонными и годовыми изменениями уровня Байкала имеются на многих участках побережья. Они связаны с тем, что геологические условия, определяющие движение подземных вод на восточном побережье во многом определяются широким распространением разрывных нарушений и хорошо проницаемых осадочных пород. Здесь господствуют процессы растяжения, многие разломы открыты и по ним происходит внедрение озерных вод на сушу [1,2]. Вторая причина развития подтопления связана с тектоническими особенностями строения восточного побережья Байкала. Территория разбита на множество мелких блоков, отдельные блоки пород под воздействием глубинных тектонических процессов могут погружаться или вздыматься. Вследствие этого на восточном побережье Байкала сформирован расчлененный рельеф, здесь существует большое количество мелких впадин и возвышенностей. Размеры блоков могут быть небольшими от 2.5x1.2 до 9x6.5 км [3]. В микровпадинах аккумулируется влага, стекающая с окружающих возвышенностей. Сток подземных вод из впадин в озеро часто затруднен из-за близкого залегания водоупорных кристаллических пород, и они заболачиваются.

Блоки пород, которыми сложено побережье Байкала, испытывают разнонаправленные тектонические движения в горизонтальном и вертикальном направлениях. В пределах небольших участков побережья можно наблюдать инверсионные тектонические движения, при котором одни блоки пород испытывают опускание, другие – вздымание.

Такие парные структуры «береговой горст-тыловой грабен» имеют на восточном берегу озера широкое распространение [4]. В рельефе они проявляются сочетанием береговых узких низкогорных поднятий и тыловых небольших понижений. Котловины могут быть заняты озерами, уровень воды в которых выше чем в Байкале. К таким формам относятся Холодяночный береговой горст и котловина озер Шанталык, Духовое; береговой горст на участке Безымянка-Катково и долина рч. Безымянный-Качай-Братская; отроги хребта Черная Грива и котловина озера Котокель и другие более мелкие образования.

На примере гидрогеологической ситуации сложившейся в районе села Гремячинск рассмотрим типичную ситуацию формирования подтопления прибрежной территории на восточном побережье Байкала.

В многоводный сезон года и, особенно, в период наводнения, когда уровень Байкала поднимается на метр и более, в гравийно-галечных отложениях создается напор. Это связано с тем, что песчаные озерные и песчано-эоловые отложения не так хорошо проницаемы для воды, как гравийно-галечные горизонты, и не так быстро реагируют на изменение уровня воды в озере. Грунтовые воды, движущиеся в песчаных отложениях от кристаллического обрамления, в районе контакта с гравийно-галечными отложениями, поднимаются к поверхности и формируют купол. При смешении вод в этом месте растворенное железо окисляется, гидролизуется и высаживается из раствора в виде гидроксида. При падении уровня воды в Байкале грунтовые воды из купола стекают по направлению уклона зеркала в сторону реки Кика. В аномально многоводные годы под воздействием напорного градиента в районе купола грунтовые воды могут разгружаться на поверхность земли. Рассмотренный механизм взаимодействия потока грунтовых вод, движущегося с кристаллического обрамления в сторону Байкала, с озерными водами действует во многих местах восточного побережья.

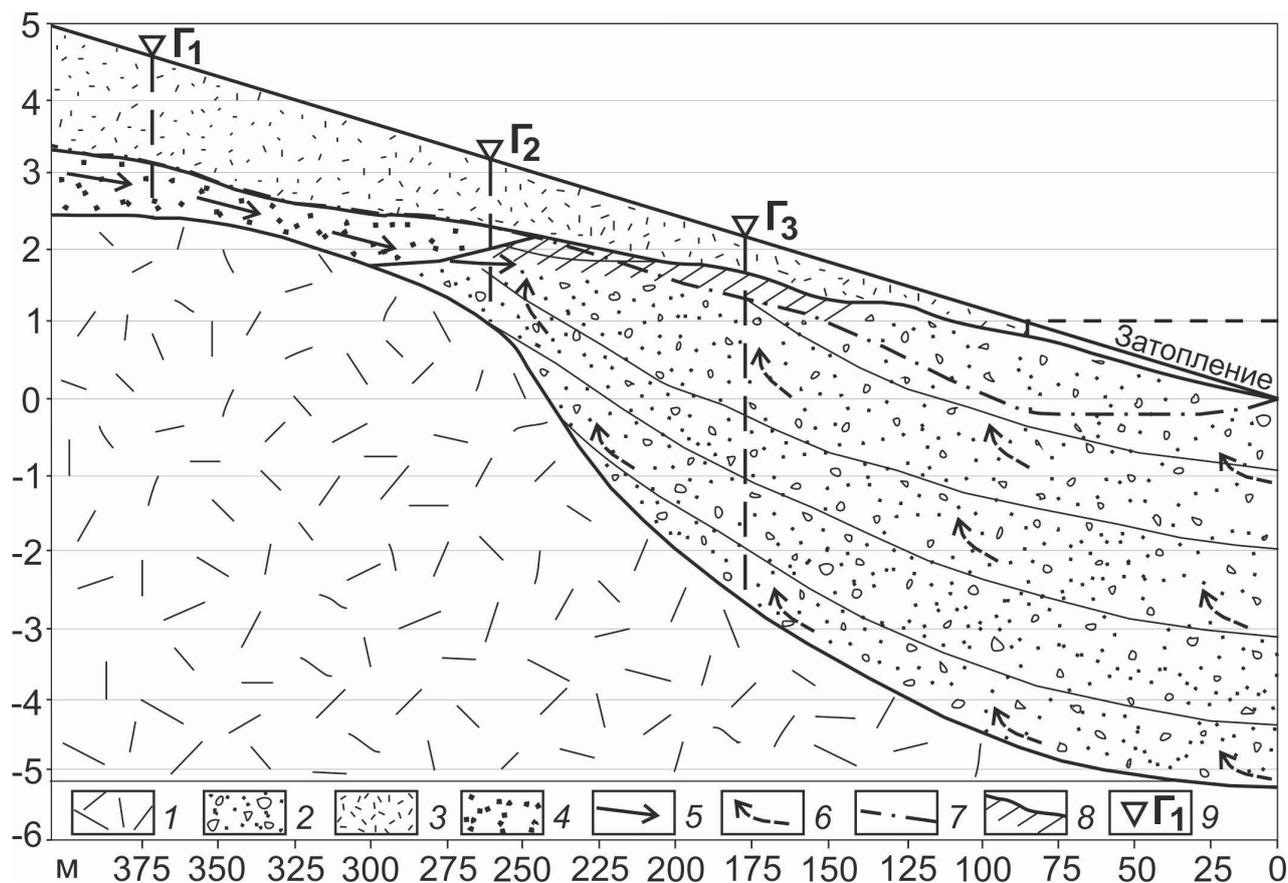


Рис. 1. Гидрогеологический разрез побережья Байкала в районе с. Гремячинск в многоводный период.  
 Условные обозначения: 1-кристаллические породы фундамента, 2-гравийно-галечные отложения,  
 3- сухие песчаные отложения озерно-эолового генезиса, 4- песчаные отложения озерного генезиса,  
 5- направление движения грунтовых вод, 6- направление движения воды из Байкала,  
 7- уровень залегания грунтовых вод, 8- отложения окислов железа, 9- наблюдательные скважины.

На восточном побережье Байкала многие населенные пункты подвержены воздействию подтопления. Этому благоприятствует геологическое строение, природно-климатические условия и изменения уровня озера, связанные со строительством плотины Иркутской ГЭС.

Исследование проведено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1, частично по проекту «Исследование негативных физико-геологических явлений на восточном побережье Байкала» (121112400008-2).

## Литература

1. Резанов И. Н., Татьков Г. И., Коломиец В. Л., Нефедьев М. А., Чебаков Г. И., Булгако С. Б. Структурно-геологические исследования активной тектоники в Усть-Селенгинской впадине. Вестник Бурятского университета. Серия 3: География. Геология. 1998. № 2. С. 15–29.
2. Плюснин А. М., Кислицина Л. Б., Жамбалова Д. И., Перязева Е. Г., Удодов Ю. Н. Особенности формирования химического состава грунтовых вод в дельте реки Селенга // Геохимия. – 2008. – № 3. – С. 243–252.
3. Абалаков А. Д. Кайнозойские впадины на восточном побережье оз. Байкал // Геология и геофизика. – 1974. – № 9. – с. 141–146.
4. Уфимцев Г. Ф. Загадка залива Провал. Наука в России. 2004. № 1. С. 75–80.

## Органические соединения в углекислых минеральных водах Шмаковки (Приморский край)

**В.А. ПОТУРАЙ**

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия,  
poturay85@yandex.ru*

Нами ранее исследовался состав органического вещества в азотных термальных водах Хабаровского края и ЕАО [4–6]. В результате этих исследований идентифицированы органические соединения в горячих источниках, происхождение которых связывалось с двумя основными механизмами: деятельностью и деструкцией микроорганизмов (биогенный генезис) и термokatалитические преобразования органических остатков под действием высоких температур (термогенный генезис). Органическое вещество в углекислых холодных минеральных водах Дальнего Востока, в частности, Шмаковского района, не изучалось. Было оценено только общее содержание углерода органического [2], а индивидуальный состав органических компонентов и их классы определены не были. Следует отметить исследования органических соединений в других углекислых минеральных водах России [1, 3, 7]. Цель настоящего исследования – определение индивидуального состава углеводородов и их производных в углекислых минеральных водах Шмаковского месторождения и оценка их происхождения.

Были отобраны пробы воды из скважин № 15–70 Медвежьего участка, «Источник Остросопочный» Остросопочного участка, № 47 Восточно-Уссурийского участка и № 2Э Уссурийского участка. Пробоподготовка проводилась методом твердофазной экстракции на месте отбора. Качественный анализ осуществлялся на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMSQP2010 Ultra [10]. Для всех исследуемых участков были получены хроматограммы по полному ионному току, по которым происходила идентификация органических соединений.

В минеральной воде Шмаковского месторождения установлено 106 органических компонентов / 16 гомологических рядов. При этом доминирует алифатические углеводороды и кислородсодержащие соединения. На бактериальное происхождение установленных органических соединений указывает молекулярно-массовое распределение n-алканов,

среди которых установлены, преимущественно, низкомолекулярные гомологи с преобладанием углеводородов, содержащих нечетное число атомов углерода в молекуле. К кислородсодержащим органическим соединениям относятся карбоновые кислоты и их эфиры, альдегиды и спирты. Эти соединения, вероятнее всего, имеют биогенное происхождение [8, 9]. Также в минеральных водах зафиксированы фталаты – типичные загрязнители природных сред. Их присутствие здесь, также как и хлор-эфира, установленного в воде Восточно-Уссурийского участка, указывает на техногенное загрязнение.

К ароматическим углеводородам относятся арены, полициклические ароматические и гетероароматические углеводороды. К аренам и ПАУ относятся 1,3,5-трибутилбензол и нафталин соответственно. Наиболее представителен гомологический ряд гетероароматических УВ, среди которых идентифицированы 6 соединений. Происхождение ароматических веществ здесь может быть связано с действием сверхкритического флюида CO<sub>2</sub>.

Среди идентифицированных в исследуемых минеральных водах есть и серосодержащие соединения. Компоненты, содержащие в своей структуре атом серы, вероятно, являются продуктом жизнедеятельности и деструкции микроорганизмов, так как сера является биогенным элементом и входит в состав некоторых аминокислот, витаминов и ферментов. Кроме этого в исследуемых водах установлены бактерии цикла серы [3], что также может указывать на бактериальный генезис этих соединений.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН и финансировалось за счет средств его бюджета.*

*Автор признателен генеральному директору ООО «Скит» Сергею Витальевичу Русакову за содействие в отборе проб воды.*

## Литература

1. Абрамов В.Ю. Формирование органического химического состава углекислых минеральных вод Эссентукского и Нагутского месторождений // Разведка и охрана недр. 2014. № 5. С. 47–51. EDN: SDVDSV
2. Калинина Е.Г., Харитоновна Н.А., Челноков Г.А., Вах Е.А. Микробиологический состав углекислых минеральных вод Приморского края (распространение, численность бактерий, условия их обитания) // Вестник ДВО РАН. 2015. № 5. С. 53–62. EDN: UYYSZDZ
3. Плюснин А.М., Украинцев А.В., Чернявский М.К. Органическое вещество в углекислых минеральных водах Витимского плоскогорья и Восточного Саяна // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. С. 68–71. DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-68-71 EDN: VKRMFO
4. Потурай В.А. Органическое вещество в холодных подземных водах районов азотных терм Приамурья // Региональные проблемы. 2016. Т. 19. № 4. С. 59–66. EDN: UZKVNO
5. Потурай В.А. Органическое вещество и молекулярно-массовое распределение углеводов в Анненских термальных водах (Дальний Восток, Россия) // Геология и Геофизика. 2022. Т. 63. № 10. С. 1352–1368. DOI: 10.15372/GiG2021150 EDN: TITPJR
6. Потурай В.А. Состав и распределение n-алканов в азотных термах Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 4. С. 109–119. EDN: ZFTTBZ
7. Шпейзер Г.М., Васильева Ю.К., Гановичева Г.М., Минеева Л.М., Родионова В.А., Ломоносов И.С., Ванг Янсинь. Органические вещества в минеральных водах горноскладчатых областей центральной Азии // Геохимия. 1999. № 3. С. 302–311. EDN: IIVVLJ
8. Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p.
9. Shorland F.B. Occurrence of fatty acids with uneven-numbered carbon atoms in natural fats // Nature. 1954. No 174. P. 603. DOI: 10.1038/174603a0
10. Soniassy R., Sandra P., Schlett C. Water analysis: Organic micropollutants. Germany: Hewlett-Packard Company, 1994. 278 p.

## Ископаемые клетки водорослей как показатель гидрологического режима озерной экосистемы в прошлом

РЕШЕТОВА С.А., МАТЮГИНА Е.Б.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, [srescht@mail.ru](mailto:srescht@mail.ru)

К настоящему времени в научном мире накоплен большой фактический материал в области палеоальгологических исследований, позволяющий решать вопросы теоретического и прикладного характера, на примере отложений всего фанерозоя. Изучение ископаемых водорослей имеет большое значение в решении вопросов палеогеографии и в недалеком прошлом. Как известно, клетки некоторых зеленых Chlorophyta и харовых Charophyta водорослей прекрасно сохраняются в осадочных отложениях, что позволяет идентифицировать их одновременно со спорами и пылью на палинологических слайдах и получать дополнительную информацию об экологических и гидрологических реакциях экосистемы озера и его бассейна на изменение климата.

По сохранившимся пыльцевым зернам и микроостаткам водорослей в донных отложениях оз. Байн-Цаган были выполнены реконструкции растительности юго-восточного Забайкалья в позднем голоцене и гидрологического режима содового озера примерно за последние 3000 лет.

Озеро находится на высокой Улдза-Торейской равнине в области бессточных озер. Водоем имеет полигенетическое происхождение, связанное как с мерзлотными, так и с эоловыми процессами. Он относится к озеру конечного типа и тесно связан с подземными водами [4]. Гидрологической особенностью равнинных территорий Юго-Восточного Забайкалья являются циклические колебания уровня вод в ходе чередования многолетних 30 и 60-летних циклов колебания увлажненности [1; 5]. В засушливые годы уровни первого от поверхности водоносного горизонта понижаются до 3–4 и больше метров [4]. В это время озера могут полностью пересыхать и вновь наполняться во влажные периоды.

Климат Улдза-Торейской равнины резко континентальный, со слабым влиянием тихоокеанских муссонов [3; 6]. Осадков выпадает немного. Почти повсеместно распространены степи, расположенные

на холодных почвах, которые глубоко промерзают зимой.

Результаты палинологического исследования показали, что спорово-пыльцевые спектры донных илов оз. Байн-Цаган включают пыльцу водных сообществ озера, локальных степных, луговых, солончаковых фитоценозов его побережья, пыльцу и споры лесного массива Цасучейский бор. В небольшом количестве присутствует пыльца темнохвойных видов растений, которая приносится ветром с хребтов Эрмана и Становик. Макрофитная растительность представлена редкими пыльцевыми зёрнами рдеста *Potamogeton* sp., частухи *Alisma* sp. и ежеголовника *Sparganium* sp. Из числа водорослей выделены клетки стаураструма *Staurastrum* sp., зигоспоры спирогиры *Spirogira* sp., клетки колониальных планктонных водорослей педиаструма *Pediastrum* sp. и боттриококка *Botryococcus* sp. Малочисленные зигоспоры спирогиры наблюдались по всему разрезу как неотъемлемый элемент экосистемы. Педиаструм встречался спорадически отдельными редкими экземплярами, т.к. больше тяготеет к пресным водоемам и очень чувствителен к уровню pH среды. Боттриококк и стаураструм присутствовали в больших количествах, образуя значительные пики на палинологической диаграмме.

Современные зеленые водоросли рода *Botryococcus* являются одними из наиболее распространенных в лагунных и озерных отложениях [12] и характерны для солоноватоводных бассейнов. Они обычно обильны в мелководных бассейнах в регионах с низким количеством атмосферных осадков и ярко выраженным сезонным климатом [9]. Водоросли *Staurastrum* встречаются в основном в заболоченных водоёмах, даже в сфагновых болотах. Ряд видов характерен для эвтрофных вод [8].

Приняв за основу скорость накопления осадков, рассчитанную для оз. Арахлей [11], предположено, что возраст изученного 30 см слоя осадков в оз. Байн-Цаган составил не более 3000 лет. За это время степная и лесостепная растительность

Улдза-Торейской равнины не претерпела значительных изменений, лишь циклическая смена увлажненности, способствовала трансформации травянистой растительности вокруг озера. В палинологической записи были выделены как минимум три альгологических пика, которые приурочены к начальным, конечным, либо переходным отрезкам фаз влажности/сухости реконструированным по пыльце и спорам наземных растений. Это может свидетельствовать о трехкратном обмелении/наполнении озера за время накопления 30 см слоя осадков. Вероятнее всего когда в засушливые годы уровни первого от поверхности водоносного горизонта понижались и озеро мелело, обилие высшей макрофитной растительности обрастало водорослями стаураструм. Во влажные годы уровень грунтовых вод повышался и наступало значительное обводнение. Дополнительный приток питательных веществ за счет поверхностного стока способствовал увеличению плотности фитопланктона, в состав которого входил *Botryococcus*.

Подобные тенденции были установлены в оз. Шира Минусинской впадины, где по данным палинологических и геохимических исследований

обилие ботриококка в озерном иле связано с высокими уровнями озера и наступлением меромиктических условий [7]. Минимумы ботриококка практически совпадают со временем пониженного уровня озера и наступлением голомиктических условий. В реконструированном облике растительности севера Минусинской котловины на протяжении последних 2980 лет также не происходило глубоких изменений, которые указывали бы на резкие вариации регионального климата соответствовавших минимумам *Botryococcus* [2; 10].

Аналогичные закономерности отмечены Хильдебрант и др. [10] в записи из солоноватоводного озера Цо Кар в индийских Гималаях, где выявлена связь снижения обилия клеток *Botryococcus* и понижения уровня озера в относительно сухом климате. Предполагается, что это происходило из-за возможного повышения солености воды в засушливые периоды, что негативно влияло на рост ботриококковых водорослей.

*Благодарности. Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием ИПРЭК СО РАН № 121032200116–7.*

## Литература

1. Баженова О.И., Кобылкин Д.В. Динамические фазы внутривековых циклов рельефообразования бессточных озерных бассейнов Даурии // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 113–123.
2. Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Кузьмин М.И. Растительность и климат на севере минусинской котловины в позднем голоцене с декадным разрешением: запись из озера Шира // Доклады АН. 2024. Т. 518. № 2. С. 359–365.
3. Вазингер А.В. Природные условия и естественные кормовые ресурсы Читинской области. Чита, 1959. 189 с.
4. Еникеев Ф.И. Происхождение и эволюция озер Забайкалья. Новосибирск: Наука, 2021. 132 с.
5. Обязов В.А. Закономерности увлажнения степной зоны Забайкалья и их проявления в режиме озер (на примере Торейских озер). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. Спб.: 1996. 21 с.
6. Сулов С.П. Физическая география СССР. Азиатская часть. М: Гос.уч.-пед изд. Мин. просвещения РСФСР, 1954. 711 с.
7. Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Shchetnikov A.A. Reconstruction of the Late Holocene environments in the northern Minusinsk Basin (South Siberia) based on the palynological analysis of Lake Shira sediments // Journal of Asian Earth Sciences. 2025. V. 289. 106610.
8. Coesel, Peter F.M.; Joosten, Anton M.T. «Three new planktic Staurostrum taxa (Chlorophyta, Desmidiaceae) from eutrophic water bodies and the significance of microspecies in desmid taxonomy». *Algological Studies // Archiv für Hydrobiologie*. 1996. V. 80. P. 9–20.
9. Guy-Ohlson D. *Botryococcus* as an aid in the interpretation of palaeoenvironment and depositional processes // *Rev. Palaeobot. Palyno*. 1992. V. 71. P. 1–15.
10. Hildebrandt S., Müller S., Kalugin I.A., Dar'in A.V., Wagner M., Rogozin D.Y., Tarasov P.E. Tracing the North Atlantic decadal-scale climate variability in a late Holocene pollen record from southern Siberia // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol*. 2015. V. 426. P. 75–84.
11. Ptitsyn A.B., Zamana L.V., Reshetova S.A., Chu G., Dar'in A.V., Kalugin I.A. The rate of sedimentation in Lake Arakhlai (Central Transbaikalia), from radiogeochemical and palynological data // *Russian Geology and Geophysics*. 2014. T. 55. № 3. С. 369–375.
12. Tyson R.V. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. London: Chapman & Hall. 1995. 615 p.

## Об извлечении ценных компонентов из отходов переработки вольфрамовых руд водной экстракцией

С. С. САНЖАНОВА, Д. И. ЖАМБАЛОВА, А. М. ПЛЮСНИН

Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова Сибирского отделения Российской Академии наук, Россия, [Sanzhanova@geo.stbur.ru](mailto:Sanzhanova@geo.stbur.ru)

В последнее время актуальны исследования по улавливанию редкоземельных элементов из нетрадиционных источников из-за ряда причин, в том числе для понижения затрат на обогащение минерального сырья. В нашей работе проведены исследования по извлечению ценных компонентов из отходов переработки вольфрамовых руд водной экстракцией и подбор эффективных материалов для их концентрирования. Нами использовались пески Джидинского хвостохранилища, в которых методом электронной микроскопии найдены апатит, шеелит, пирит, магнетит, флюорит, кварц и тенорит (рис. 1). Выщелачивание песков 12–35-ю литрами дистиллированной воды позволяет получить экстракты с pH 5–6 и почти полностью вытеснить цветные и редкоземельные металлы из порового пространства песков. Две пробы экстрактов, полученные промыванием песков, содержали следующие химические элементы (мг/л): серу – 4700 и 280, сульфат-ионы – 4000 и 700, кремниевую кислоту – 9 и 4, кальция – 673 и 360, алюминия – 2200 и 161, цинка – 300 и 0.450, железа – 66 и 0.23, меди – 3.9 и 0.32, кобальта 9.5 и 0.008, никеля – по 5.3 и 0.007, кадмия – 4.6 и 0.01; из редкоземельных больше всего найдены церий – 38 мкг/л и иттрий – 40 мкг/л. pH экстракта А в начале процесса экстрагирования составлял 3.2, через 35 л увеличился до 5.6, pH экстракта В был равен 4.0, через 12 л – 6.5. Изменение pH экстрактов в зависимости от

продолжительности процесса указывает на то, что в поровых водах песков присутствует ограниченное количество кислот, которые вымываются из песков 9–35 л воды в зависимости от исходной концентрации.

Лабораторные эксперименты по извлечению ценных компонентов из полученных экстрактов с помощью известняка показали его эффективность. Степень извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) достигала 82%. Также выявлено, что в растворах после контакта с известняком увеличивается содержание кальция, цинка, кадмия, никеля, кобальта и меди по сравнению с исходными экстрактами (рис. 2А и 2В). Увеличение концентрации кальция в растворах после контакта с известняком (до 3%) происходит за счет кислотного разложения известняка. Наибольшему увеличению в отсеках подверглось содержание цинка, меди, кадмия, никеля, кобальта кадмия (до 8%) за счет образования гидроксидов. В отличие от перечисленных металлов, содержание РЗЭ в растворах секций уменьшалось (рис. 3). При этом содержание РЗЭ уменьшалось от первой секции к пятой, кроме тулия и иттербия.

Таким образом, водные экстракты песков хвостохранилища содержат ряд химических элементов, извлекающихся методом водной экстракции. Концентрирование РЗЭ из полученных экстрактов показал перспективность известняка [1] и активированного угля.

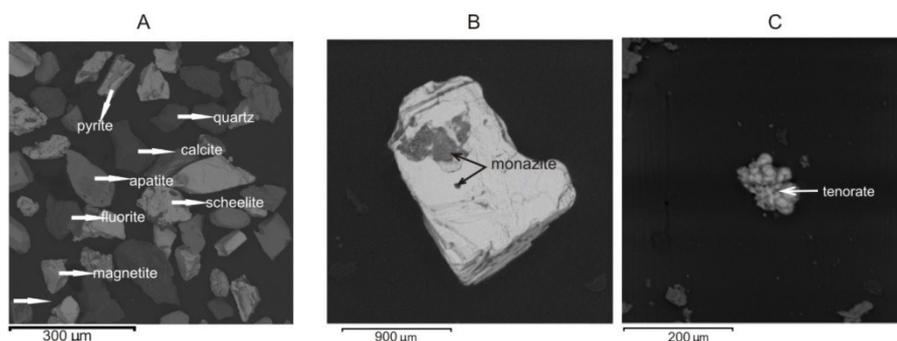


Рис. 1. Электронные снимки: А – минералов, входящих в состав песков хвостохранилища, В – шеелита с примесью монацитов, С – тенорита.

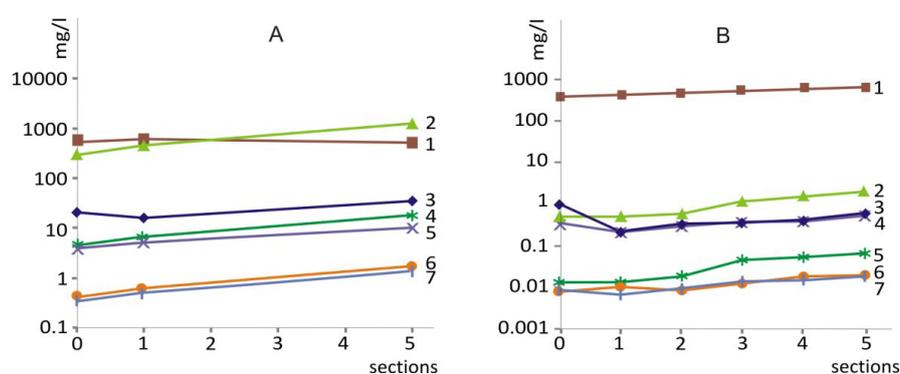


Рис. 2. Содержание цветных металлов в экстрактах А и В (значения на оси Oy) и водных растворах секций: 1 – кальция, 2 – цинка, 3 – железа, 4 – меди, 5 – кадмия, 6 – никеля и 7 – кобальта.

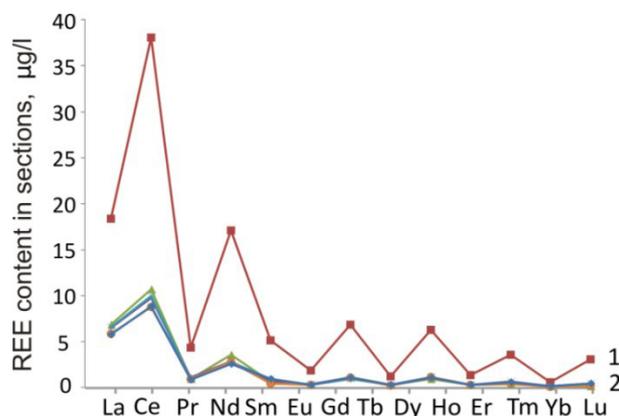


Рис. 3. Содержание редкоземельных элементов в экстракте А:1 - в исходном экстракте, 2 – в водных растворах секций.

## Литература

- Санжанова С.С., Плюсин А.М. Концентрирование цветных металлов и редкоземельных элементов из кислых вод переработки вольфрамовых руд// Цветные металлы. 2024. № 6. С. 40-46.
- Chebykin E.P., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Vodneva E.N., Rasskazov S.V., Khodzher T.V., Grachev M.A.// Current state of the Selenga River waters on the territory of Russia by main components and trace elements. Chemistry for Sustainable Development. 2012. Vol. 20. N5. P. 613-631.

## Экспериментальное исследование растворимости вольфрамита в алюмосиликатных расплавах

Н.И. СУК, А.Р. КОТЕЛЬНИКОВ

Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д.С. Коржинского РАН,  
Черноголовка Московской обл., Россия, [sukni@iem.ac.ru](mailto:sukni@iem.ac.ru); [kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru)

Для изучения растворимости вольфрамита ( $\text{Fe, Mn})\text{WO}_4$  в алюмосиликатных расплавах различной щелочности была проведена серия экспериментов при  $T = 1100^\circ\text{C}$  и  $P = 1$  и 4 кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас.%  $\text{H}_2\text{O}$ . Эксперименты проводились на установке высокого давления в заваренных платиновых ампулах. Продолжительность экспериментов составила 5 суток, затем осуществлялась изобарическая закалка. Исходным материалом служил гранит месторождения Орловка, Забайкалье (скв. 42) следующего состава (мас.%):  $\text{SiO}_2 - 72.10$ ;  $\text{TiO}_2 - 0.01$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 16.14$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0.68$ ;  $\text{MnO} - 0.09$ ;  $\text{CaO} - 0.30$ ;  $\text{MgO} - 0.01$ ;  $\text{Na}_2\text{O} - 5.17$ ;  $\text{K}_2\text{O} - 4.28$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 0.02$ ;  $\text{F} - 0.32$ ;  $\text{H}_2\text{O} - 0.18$ . Из порошка гранита приготавливались смеси различной агпаитности (1–2.5) посредством добавления в него соответствующих количеств  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Смеси плавил в платиновых тиглях при  $1250^\circ\text{C}$  в печи КО-14 в течение 12 ч и закачивали в стекла различной щелочности. Для экспериментов использовали зерна природного вольфрамита размером 0.5–1 мм, которые представляли собой сростки кристаллов переменного состава со средней формулой  $(\text{Mn}_{0.70-0.98}\text{Fe}_{0.30-0.02})\text{WO}_4$ .

Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгено-спектрального анализа.

В результате экспериментов получены столбики стекла с кристаллами вольфрамита. После опытов агпаитность расплава уменьшалась по сравнению с исходной, что объясняется частичным перераспределением щелочей во флюидную фазу. Было обнаружено, что в сухих системах при  $T=1100^\circ\text{C}$  и  $P=1$  кбар растворимость вольфрамита зависит от состава алюмосиликатного расплава (рис. 1), немного увеличиваясь с повышением агпаитности расплава  $((\text{Na}+\text{K})/\text{Al})$ .

При  $P = 4$  кбар растворимость вольфрамита в алюмосиликатном стекле существенно возрастает, однако наблюдается обратная закономерность: содержание  $\text{WO}_3$  в расплаве уменьшается с увеличением его коэффициента агпаитности (рис. 1). Это

связано с возникновением новообразованных кристаллов, состав которых отвечает щелочным соединениям вольфрама (вольфраматам натрия и калия) переменного состава. В этом случае сосуществуют по крайней мере три фазы: расплав, кристаллы вольфрамита и вольфраматы натрия и калия, количество которых увеличивается с ростом агпаитности расплава, которая падает по сравнению с исходной.

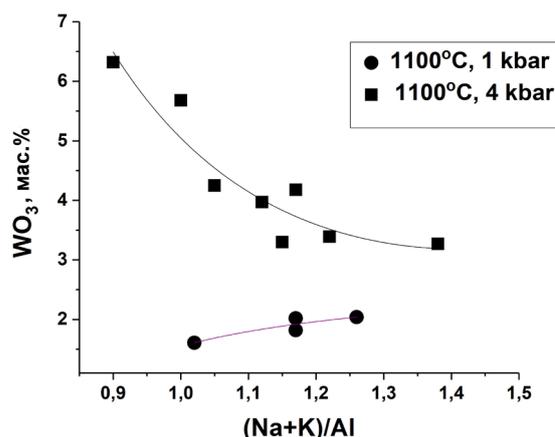


Рис. 1. Растворимость вольфрамита в расплаве, полученная при  $T=1100^\circ\text{C}$  и давлении 1 и 4 кбар.

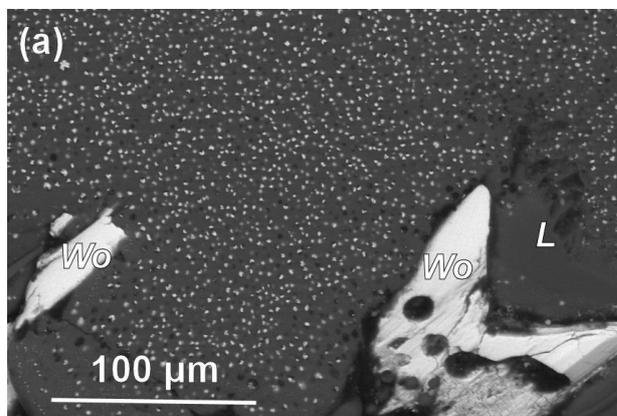


Рис. 2. Образования эмульсии в равновесии с кристаллами вольфрамита в водосодержащих системах при  $T=1100^\circ\text{C}$  и  $P=4$  кбар. Обр. Wo-8. Wo – вольфрамит, L – расплав.

В водосодержащих системах наблюдалась гетерогенность расплава в виде образования эмульсии, выражающейся в присутствии микроскопических капелек, обогащенных вольфрамом. При 4 кбар образование эмульсии выражено наиболее четко (рис. 2). Иногда при закалке, по-видимому, происходит частичная кристаллизация с образованием микрокристалликов. За счет возникновения микроэмульсии в расплаве существенно возрастают содержания  $WO_3$  (при 1 кбар до ~5 мас.%, а при 4 кбар до ~12 мас.%). Такой расплав можно рассматривать в качестве рудоносного.

Вероятно, это явление аналогично титанатно-силикатной жидкостной несмесимости, полученной ранее [1, 2, 3] в водосодержащих алюмосиликатных системах, содержащих рудные элементы (Ti, Nb, Sr, REE).

Чтобы выяснить состав образующихся эмульсионных капелек, были проведены эксперименты

в системе алюмосиликатный расплав –  $Na_2WO_4 \times 2 H_2O$  при  $T = 1100$  °C и  $P = 1$  и 4 кбар. После опыта в нижней части столбика стекла наблюдался слой практически чистого вольфрамата натрия с незначительной примесью калия с признаками закалочной кристаллизации, а в стекле присутствовали капли, по составу также отвечающие щелочному (натровому) вольфрамату с незначительной примесью калия, кальция и алюминия. Средний состав капелек (мас.%):  $WO_3$  – 83.24;  $Al_2O_3$  – 0.37; CaO – 0.29;  $Na_2O$  – 15.36;  $K_2O$  – 0.74. Это дает основания полагать, что состав эмульсионных капелек аналогичен.

*Работа выполнена при финансовой поддержке  
проекта Российской Федерацией в лице  
Минобрнауки России № проекта 13.1902.24.44,  
№ соглашения 075-15-2024-641.*

## Литература

1. Сук Н. И. Экспериментальное исследование щелочных магматических алюмосиликатных систем в связи с генезисом редкоземельно-ниобиевых лопаритовых месторождений. Докл. АН. 2007. Т. 414. № 2. С. 249–252.
2. Сук Н. И. Жидкостная несмесимость во флюидно-магматических алюмосиликатных системах, содержащих Ti, Nb, Sr, REE и Zr (эксперимент). Петрология. 2012. Т. 20. № 2. С. 156–165.
3. Сук Н. И. Жидкостная несмесимость в щелочных магматических системах. 2017. М.: «КДУ», «Университетская книга». 238 с.

## Экспериментальное исследование растворимости сфалерита в алюмосиликатных расплавах

Н.И. СУК, А.Р. КОТЕЛЬНИКОВ

Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д.С. Коржинского РАН,  
Черноголовка Московской обл., Россия, [sukni@iem.ac.ru](mailto:sukni@iem.ac.ru); [kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru)

Экспериментально изучалась растворимость сфалерита (ZnS) в алюмосиликатных расплавах различной щелочности при  $T=900$  °С и  $P=2$  и 4 кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас.%  $H_2O$ . Эксперименты проводились на установке высокого газового давления. Продолжительность экспериментов составила 10 суток. Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпаитности (1–2.5), а также природный сфалерит, состав которого отвечает формуле  $Zn_{0.92}Fe_{0.08}S_{0.99}$ . Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа.

В результате экспериментов получены столбики стекла с кристаллами сфалерита.

Было обнаружено, что растворимость сфалерита зависит от состава алюмосиликатного расплава, увеличиваясь с увеличением его агпаитности  $((Na+K)/Al)$  (рис. 1).

При  $T=900$  °С и  $P=2$  кбар при исходной агпаитности стекла  $\sim 1.5$  в сухих системах образуется сульфидный расплав (рис. 2а) следующего состава (мас.%): Zn – 48.06, Fe – 18.38, S – 33.56. При этом в стекле повышается щелочность и содержание Zn. Наблюдается также образование мелких кристаллов, отвечающих среднему составу  $Zn_{0.87}Fe_{0.14}S_{0.99}$ . При исходной агпаитности стекла  $\sim 2$  наблюдается образование кристаллов сульфида цинка, отличающихся по составу от исходного сфалерита, их состав отвечает формуле  $Zn_{0.87}Fe_{0.08}Mn_{0.06}S_{0.99}$ .

Эксперименты показывают, что при  $T=900$  °С растворимость сфалерита не зависит от давления: содержания ZnO в расплаве при 2 и 4 кбар практически не меняются (рис. 1).

При  $T=900$  °С и  $P=2$  кбар в водосодержащих системах происходит частичное окисление сульфидной серы до сульфатной с образованием каплевидных выделений щелочного сульфатного расплава (рис. 2б). В пределах сульфатного расплава наблюдаются кристаллы щелочных сульфатов. В стекле также

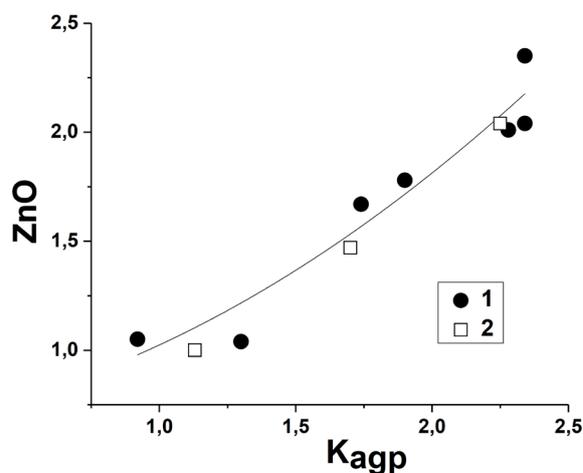


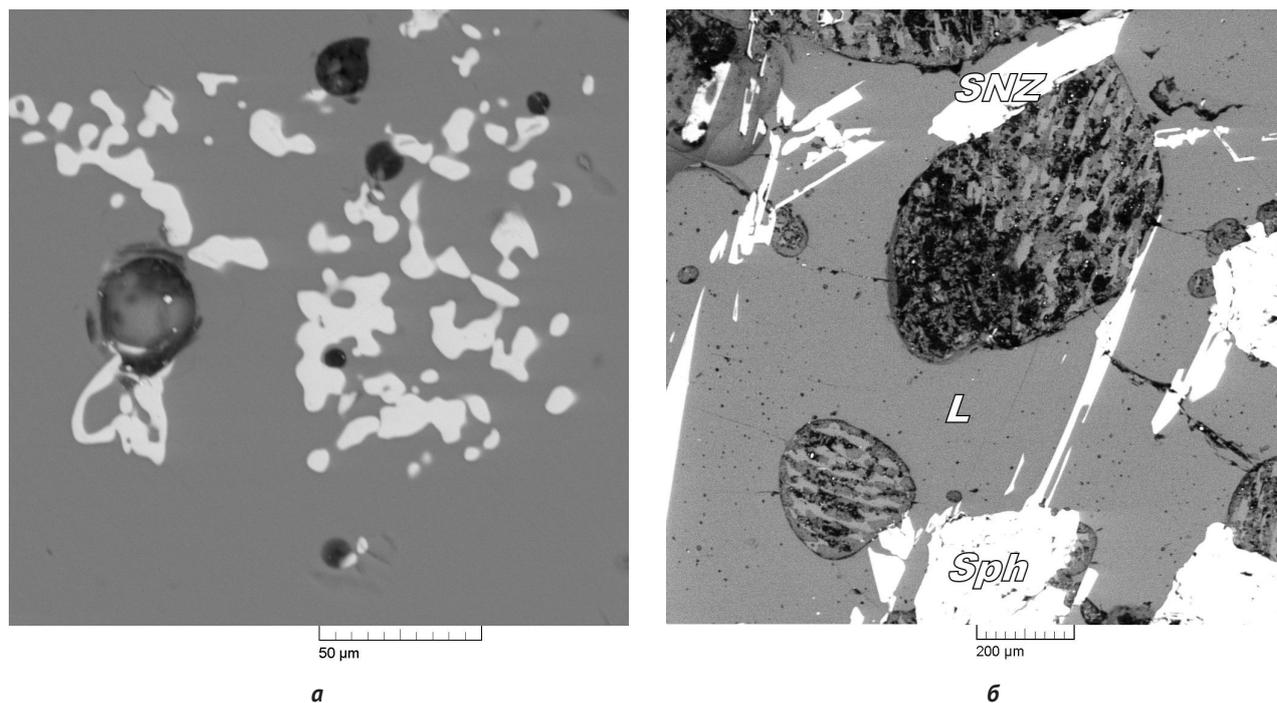
Рис. 1. Зависимость растворимости сфалерита от состава алюмосиликатного расплава (мас.%) в сухих системах:

1 – при  $T=900$ °С и  $P=2$  кбар, 2 – при  $T=900$ °С и  $P=4$  кбар.

образуются крупные кристаллы щелочных силикатов цинка (рис. 2б), количество и размеры которых увеличиваются с ростом исходной агпаитности расплавов. При этом коэффициент агпаитности ( $K_{agr}$ ) стекла понижается в среднем до 1.1 независимо от исходной агпаитности, а содержание оксида цинка возрастает до  $\sim 2.7$ – $5.3$  мас.%, что выше, чем в сухих системах при аналогичной щелочности.

Чтобы избежать окисления серы в водосодержащих системах при  $T=900$  °С и  $P=4$  кбар добавлялся углерод, который присутствовал в образцах и после опыта, т.е. фугитивность кислорода понижалась. При этом содержания ZnO в расплаве были аналогичны сухим системам. Однако, в стекле с коэффициентом агпаитности больше 2 наблюдались выделения предположительно щелочного карбонатного расплава.

Работа выполнена в рамках темы  
НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022–0004.



**Рис. 2. Выделения сульфидного расплава**  
**(а) в сухой системе (обр. Z-2) и выделения щелочного сульфатного расплава в алюмосиликатной матрице и новообразованные кристаллы щелочных силикатов цинка**  
**(б) в водосодержащей системе (обр. Z-6) при  $T=900^{\circ}\text{C}$  и  $P=2$  кбар.**  
**Sph – сфалерит, SNZ – щелочной силикат цинка, L – расплав.**

## Особенности применения приемников при картировании подземных коммуникаций малоглубинными геофизическими методами в условиях городской застройки

ГИН СО РАН, г.Улан-Удэ, Инженерный центр, [geogin03@yandex.ru](mailto:geogin03@yandex.ru)

Геофизическое картирование коммуникаций в городских условиях, как правило выполняется только в тех случаях, когда положение данных коммуникаций неизвестно, и предусматривает работу на территории большой площади, представляющей собой свалку техногенных отходов, с высокой пересеченностью микрорельефа. При этом целевые поисковые объекты на данной территории, как правило являются трубопроводы различного назначения из металла, бетона, пластика, а также высоковольтные кабельные линии. Диаметры, которых, не превышают не более 1 метра, а в большинстве случаев равные 100–300 мм., а в случае кабельных линий это до 10–20 см. В связи с чем основной метод картирования направлен на выявление линейных аномальных объектов, связанных с зонами нарушения грунтов в естественном залегании.

Данный подход требует детального позиционирования прибора (до 5–7 см) по горизонтали и вертикали, с целью последующей увязки с имеющимися картами коммуникаций, и исторического положения рельефа. Обеспечить подобную точность и плотность наблюдений может только или применение предварительной разбивки сети наблюдения на местности или применение ГНСС навигации установленной непосредственно на прибор. При этом выполнение механической разбивки в условиях городской застройки является довольно трудоемким занятием, когда это касается весьма небольшой площади исследований. Но на территории превышающей 1 Га в целом не представляется возможным, за счет кратного возрастания трудозатрат на выполнение работ. А в случае с поиском в условиях высокого количества шумов, и неизвестного положения целевых объектов, объем работ вырастает многократно.

И если применение георадаров с аналогичными системами позиционирования в вышеприведенных условиях не всегда оправдано, и как правило ограничивается применением по территории дорожной сети или пешеходных тропинок. То использование электромагнитного сканера Немфис, производства ИНГГ/КБ Электрометрии фактически не имеет альтернативы на рынке СНГ, поскольку позволяет разбить работающую неравномерно распределенную сеть наблюдений высокой плотности, даже в условиях пересеченной местности, свалок техногенных отходов, глинистых грунтов, зон техногенных утечек на городской территории.

Экспериментальная установка на вариант электромагнитного сканера Немфис находящегося в использовании в Геологическом институте им. Н.Л.Добрецова СО РАН, показало ряд закономерностей в формировании сигналов в виде увеличения амплитуды отражения известных линейных объектов в регистрируемом сигнале на 15–30%. Применение сканера в данной конфигурации в значительной мере повышает эффективность картирования подземных коммуникаций и снижает затраты времени на выполнение работ, что было доказано при поисках нелегальных подключений к районному железобетонному коллектору МУП Водоканал г. Улан-Удэ, в зоне строительства нового моста через р.Уда, на территории 1,8 кв.км техногенной свалки за период в 3е суток.

Данная работа имеет цель показать влияние установки GNSS GPS-приемника за счет непрерывно работающего wi-fi передатчика внутри на регистрируемый электромагнитный сигнал в полосе частот 4–200 кГц, с формированием усиления отклика от объектов в радиусе воздействия вихревого поля, эффектов от окружающей среды и строений, а также показать недостатки применяемого оборудования и ПО при работе в данном варианте.

## Структурно-геофизическое строение Окино-Ключевской мезозой-кайнозойской впадины

ГИН СО РАН, г.Улан-Удэ, Инженерный центр, [geogin03@yandex.ru](mailto:geogin03@yandex.ru)

Инженерный центр ГИН СО РАН на территории Окино-Ключевского бурогольного месторождения выполняет комплексные геофизические работы с 2023 г. в составе сейсмического микрорайонирования (СМР), сейсмического мониторинга опасных геологических процессов и комплекса профильных геофизических работ включающего в себя исследование методами электротомографии, зондирования методом переходных процессов, а также методов магнитной градиентометрии.

Метод электротомографии выполнялся согласно методике с установкой Dipole-dipole. Шаг по профилю составлял 10 метров, длина косы 480 метров, смещение точек измерения выполнялось на  $\frac{1}{4}$  косы или каждые 120 метров. По профилю электротомографии разбивались с полной геодезической привязкой ГНСС приемником каждого электрода, для обеспечения точности измерений с допустимой горизонтальной погрешностью не более 0,16м. и вертикальной не более 0.2м.

Зондирования методом переходных процессов выполнялись в варианте петля-петля с размером установки 100x100 метров и выполнением 2х профилей записи электромагнитного поля через одну генераторную петлю с моментом датчика приемной петли равным 2.5 кв.м.

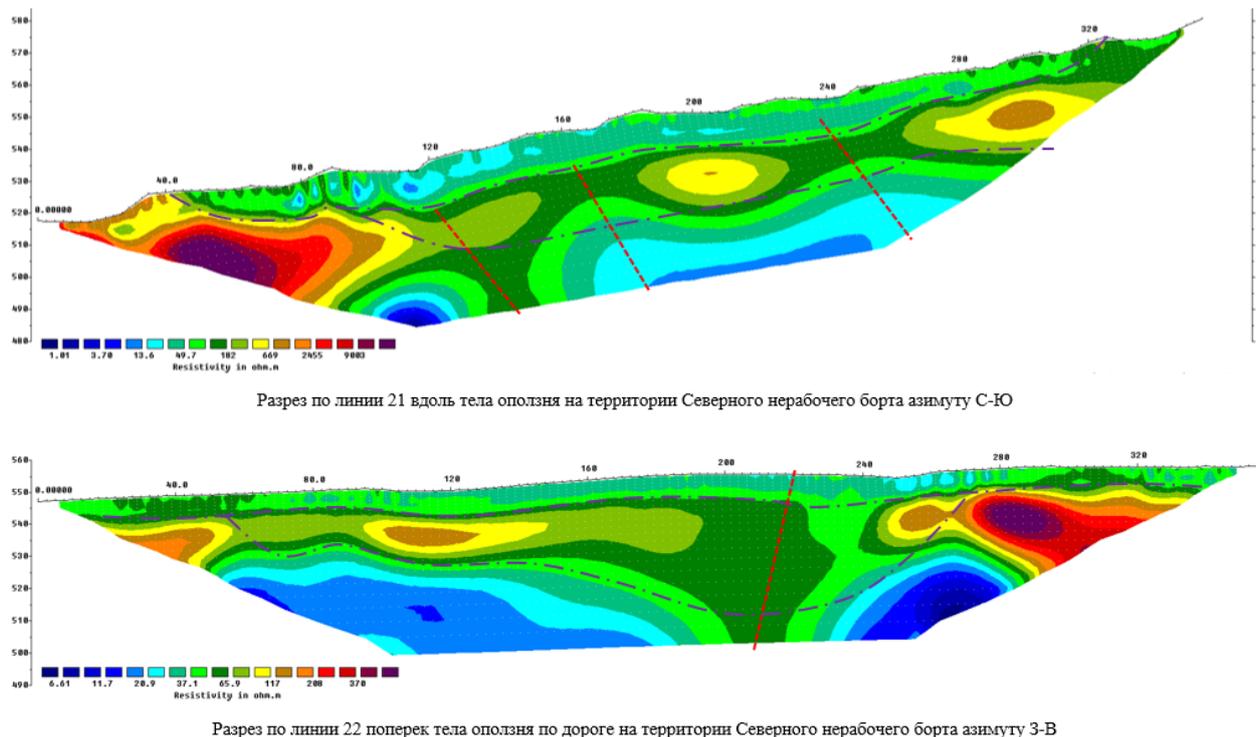
Магнитная градиентометрия выполнялась с шагом 3 метра в режиме непрерывной записи с применением автоматической увязки координат с применением GPS навигатора.

Применение комплекса геофизических методов, включающих в себя электротомографию и магнитную градиентометрию, показал свою эффективность в картировании локальных тектонических нарушений, прослеживаемых в борту разреза, а также непосредственных зон отрыва, сформированных на территории юго-восточного борта. Комплекс геофизических работ показал эффективность применения для картирования крупных объектов вроде зон тектонических нарушений, смены литологических слоев, детальное картирование с применением геофизических методов в первую очередь опирается на комплекс магниторазведочных данных.

Применение электротомографии показало локальный блоковый характер распределения осадочного комплекса в разрезе с формированием локальных субвертикальных границ, вероятно, соответствующих зонам локального окварцевания осадочной толщи, проявляемым в южном борте угольного разреза. Вторым выводом по итогам применения является минимальная дисперсия свойств горных пород по сопротивлению и поляризуемости с локальным отличием зон проводимости, связанных с тектоническими нарушениями, причиной которой может служить малая мощность диэлектрических слоев в разрезе, сложенных бурыми углями, а также повышенная диэлектрическая проницаемость, связанная с повышенным уровнем соли в подземных водах.

Корректировка геофизических данных по итогам проведения буровых работ показала не перспективность применения метода переходных процессов для изучения глубинного строения Окино-Ключевской впадины на предмет выделения водоносных горизонтов в виду малой мощности и субвертикальных углов заложения основных разрывных структур, связанных с непосредственными водопритоками в тело разреза, а также наличие локальных трехмерных неоднородностей в разрезе, требующих увеличения объемов измерений и использования трехмерных сетей наблюдения, обработки и интерпретации. В связи с чем, предлагается Замена данного комплекса методов на метод Естественного поля и метод Заряженного Тела, как более дешевые и точные альтернативы решения задачи картирования зон притоков подземных вод в тело разреза. Применение методик будет осуществляться относительно действующих водопроявлений на территории разреза.

По итогам выполнения геофизических работ на территории южного борта было скорректировано положение 15 гидрогеологических скважин с привязкой к локальным неоднородностям разреза, а также зонам наиболее интенсивной проводимости, как потенциальным зонам развития подземных водотоков, а также локальных зон питания связанных с зонами тектонических нарушений.



**Рис. 1. Разрезы через тело оползня на территории Северного нерабочего борта**

Работы в северной части планшета включали в себя в основном геофизические работы, выполняемые с целью изучения параметров действующего оползня от 7 октября 2024 на территории северного нерабочего борта, с целью корректировки данных сейсмического мониторинга в области расчета параметров площади и объемов перемещений. Геоэлектрический разрез (Рис. 1) вдоль и поперек активного оползня на территории северного нерабочего борта показал неоднородность строения зоны скольжения, а также позволил оценить объем тела оползня, для целей изучения скоростных параметров движения с применением сейсмических методов при разработке методики наблюдения за движениями бортов и отвальных масс.

Наличие горизонтальных зон проводимости разной глубины, соответствующих различным глубинам разрыхления породы в оползне и формирующем неоднородную зону скольжения с различными глубинами заложения, свидетельствует

о вероятно локальном неоднородном строении горизонта окварцованных песчаников, вдоль нерабочего борта разреза. Связанными с особенностями геологического или структурного строения. Субмеридиональный геоэлектрический разрез вдоль тела оползня, показал также неоднородность зоны скольжения вдоль объекта, и позволил выделить в теле объекта зону упора в нижней части борта, ограничивающую движение горной массы, а также рассчитать границу разрыхления горных пород равную 7 метрам.

Изучение механизма формирования и детектирования движения оползневых масс на территории северного нерабочего борта разреза сейсмическими методами, с определением параметров зоны скольжения с применением детальной электротомографии, позволило на данный момент приблизительно оценить параметры подвижки с определением технических особенностей зоны скольжения, для последующего их применения в расчете сейсмических параметров.

## Петрохимический состав пород Кивельевского концентрически-зонального ультрамафит-мафитового массива, Северное Прибайкалье

А.В. ТРОФИМОВ<sup>1,2</sup>, Е.В. КИСЛОВ<sup>1</sup>, ВАНТЕЕВ В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [trofmlurk@gmail.com](mailto:trofmlurk@gmail.com)

Кивельевский массив расположен на водоразделе северо-западного берега озера Байкал и р. Горемыка в 13 км южнее с. Байкальское Северо-Байкальского района Бурятии в пределах Центральной экологической зоны Байкальской природной территории. В результате поисково-оценочных работ в 1960-х годах никеленосности интрузива дана отрицательная оценка, но каналы на вершине г. Кивельевская сопка вскрыли непромышленные хромовые руды (Рис. 1.) [Руденко и др., 1964]. Примечательно, что из всех представленных массивов на северо-западном фланге БМП только в Кивельевском обнаруживается рудопоявление хромита. Массиву посвящены единичные исследования 1980-х годов [Балыкин и др. 1986, Гурулев и др., 1986]. Фактический материал – образцы, отобранные авторами в 2020 г.

Интрузив размером 6×2.5 км вытянут в северо-восточном направлении. В центральной части находятся тела дунитов и перидотитов, наибольшее из которых имеет размер 1.2×2.5 км. Основные породы представлены габбро, амфиболовыми и оливковыми габбро, троктолитами, габброноритами, анортозитами. Породы подвергались интенсивным вторичным изменениям.

Цель работы – изучение вещественного состава пород массива для геодинамических реконструкций. Фактический материал – образцы, отобранные авторами в 2020 г. Силикатный анализ выполнен в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН, Улан-Удэ на спектрофотометре UNICO 1201 и атомно-абсорбционном спектрофотометре SOLAAR-6M с использованием атомно-абсорбционного, пламенно-фотометрического, гравиметрического и титриметрического методов. Содержания рассеянных элементов определены на масс-спектрометрической системе высокого разрешения HR ICP-MS ELEMENT2 (ThermoFinnigan) для мультиэлементного анализа геологического материала в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, аналитик Киселева Д. В. Минеральный состав

изучен на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 в ЦКП «Геоспектр», ГИН СО РАН, Улан-Удэ, аналитик Хромова Е. А., содержание трехвалентного железа вычислено по стехиометрии.

По содержанию кремнезема и щелочей ультрабазиты относятся к ультраосновным породам нормального ряда щелочности: SiO<sub>2</sub>-40-44 мас.%, сумма щелочей 0,05–0,08 мас.% с преобладанием Na над K. Породы относятся к низкотитанистым, низкоглиноземистым, высокомагниевым.

По содержанию кремнезема и щелочей: SiO<sub>2</sub>-40–50% мас.%, сумма щелочей 0,89–4,52 мас.%, базиты относятся к основным породам нормального ряда щелочности с преобладанием Na<sub>2</sub>O, умеренно низкотитанистым, высокоглиноземистым, железо-магниевым.

На диаграмме распределения P3Э (рис. 2), нормированных по хондриту, видно, что ультраосновные породы Кивельевского массива сильно дифференцированы, с пологим трендом дифференциации с обогащением легкими элементами (La/Yb=1,46) и в целом отрицательная Eu аномалия. Положительная Eu аномалия единичных образцов может быть связана с различной степенью серпентинизации.[Чашухин и др., 2012]

Для базитов характерны пологий отрицательный спектр содержаний P3Э, слабо выраженная положительная Eu аномалия, значительное обогащение P3Э, особенно легкими (La/Yb=3,06). На диаграмме основные и ультраосновные породы массива различаются по содержанию P3Э и характеру Eu аномалии, что объясняется фракционированием плагиоклаза с накоплением в основных породах [Скублов 2005]

Для основных и ультраосновных массива характерно (рис. 3) обогащение крупноионными литофильными элементами (LILE) и Sr, выделяются минимумы по Ta, Ga, Nb и Zr. Это, наряду с обогащением легкими лантаноидами, характерно для

островодужных пород [Туркина, 2014]. Выделяются так же обогащенность Pb, обеднение Nb, Ti, Hf, что, вероятно, обусловлено контаминацией магм коровым материалом [Скляров и др., 2001]

минеральный состав, состав и взаимоотношения минералов, петро- и геохимия, Полученные данные косвенно свидетельствуют об островодужной обстановке формирования массива.

### Выводы

Охарактеризован петрохимический состав пород Кивельевского концентрически-зонального массива в Северном Прибайкалье – петрографический,

*Работа выполнена по госзаданию ГИН СО РАН  
№ АААА-А21-121011390003-9.*

### Литература

1. Руденко В.Н., Косарев В.М., Трепалин А.И. Геологическое строение и перспективы Слюдинского, Кивельевского, Орколиканского, Неручандинского, Окунайского и Право-мамского базит-гипербазитовых массивов на сульфидный никель. Отчет Неручандинской поисково-ревизионной партии за 1964 г. Улан-Удэ: Бурятское геологическое управление. 1965. 119 с.
2. Балькин П.А., Поляков Г.В., Богнибов В.И., Протерозойские ультрабазит-базитовые формации Байкало-Становой области. Новосибирск: Наука, 1986. 200 с.
3. Гурулев С.А., Конников Э.Г., Трунева М.Ф. Хромитовое оруденение в полевошпатовых гипербазитах северного Прибайкалья // Рудоносность геологических формаций Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1980. С. 50–51.
4. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes // Saunders A. D., Norry M. J., Eds., Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London. 1989. Special Publications 42. P. 313–345.
5. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. 118 с.
6. Чашухин И.С., Чередниченко Н.В., Адамович Н.Н. Петрология и геохимия. О поведении редких элементов при серпентинизации ультрамафитов. ИГГ УрО РАН, Ежегодник-2011, вып. 159, 2012, 125–128 с.
7. Скляров Е.В., Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская. Интерпретация геохимических данных, Учебное пособие. Москва, Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
8. Скублов С.Г. Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. СПб.: Наука 2005. 147 с.

## Оценка сейсмической опасности территории Бурятии методами инженерной сейсмологии

Ц.А. ТУБАНОВ<sup>1,2</sup>, Е.И. ГЕРМАН<sup>1,2</sup>, П.А. ПРЕДЕИН<sup>1,2</sup>, Д.П.-Д. САНЖИЕВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия [geos@ginst.ru](mailto:geos@ginst.ru)

<sup>2</sup>Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Улан-Удэ, Россия

Чрезвычайно сложная природа процесса землетрясений делает прогнозирование землетрясений невозможным. Проблемы принятия решений, связанные с прогнозированием землетрясений и смягчением сейсмической опасности, в настоящее время являются предметом значительных дискуссий, особенно, из-за крайне неудовлетворительных показателей вероятностной оценки сейсмической опасности при возникновении многих недавних разрушительных землетрясений [Kossobokov, Nekrasova, 2012, Шебалин и др., 2022]. Как отмечено [Peresan et al., 2012], из-за неопределенностей прогноза, его применимость должна оцениваться с учетом широкого спектра возможных мер различных уровней по смягчению последствий, от повышенной готовности до эвакуации. В результате, сегодня основным направлением исследований в области оценки сейсмической опасности является прогноз возможной интенсивности сотрясений методами инженерной сейсмологии.

Нормативные документы для объектов строительства и расчетов их сейсмостойкости определяют необходимость количественной оценки параметров

сейсмических воздействий для селитебных зон и областей промышленного освоения, которая на территории Бурятии может характеризоваться сейсмической интенсивностью 8 и 9 баллов. Это предполагает наличие проведения сейсмического микрорайонирования (СМР) в масштабе 1:25000–1:5000. Предшествовать таким работам должны этапы построения карт общего сейсмического районирования (ОСР) и детального сейсмического районирования (ДСР) территорий, в более мелких масштабах [Ulomov, 2014]. Основой таких исследований является комплексирование геологических, геофизических и инженерно-сейсмологических методов [Джурик и др., 2015, Коломиец и др., 2015, Павленко, Тубанов, 2017].

*Работа выполнена в рамках гос. заданий № 075-00604-25, № АААА-А21-121011890033-1 и с использованием данных, полученных на УНУ «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».*

### Литература

1. Джурик В. И., Тубанов Ц. А., Серебренников С. П. К технологии построения карты сейсмического микрорайонирования территории г. Улан-Удэ // Геодинамика и тектонофизика, 2015, т. 6, № 3, С. 365–386.
2. Коломиец В. Л., Тубанов Ц. А., Будаев Р. Ц. Литологические особенности осадочных толщ сейсмоопасных зон территории г. Улан-Удэ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2015, т. 17, № 6, С. 186–190.
3. Павленко О. В., Тубанов Ц. А. Характеристики излучения и распространения сейсмических волн в Байкальской рифтовой зоне, оцененные посредством моделирования акселерограмм зарегистрированных землетрясений // Физика Земли, 2017, № 1, С. 20–33.
4. Шебалин П. Н., Гвишиани А. Д., Дзедобоев Б. А., Скоркина А. А. Почему необходимы новые подходы к оценке сейсмической опасности? // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 507, № 1. С. 91–97. DOI 10.31857/S2686739722601466
5. Kossobokov, V.G., Nekrasova, A.K. Global Seismic Hazard Assessment Program maps are erroneous. Seism. Instr. 48, 162–170 (2012). <https://doi.org/10.3103/S0747923912020065>
6. Peresan A., Kossobokov V.G., Panza G.F. (2012). Operational earthquake forecast/prediction, Rend. Fis. Acc. Lincei 23, 131–138.
7. Ulomov V.I. General seismic zoning of the territory of Russian Federation: GSZ-2012. Seism. Instr. 2014. V. 50. P. 290–304. <https://doi.org/10.3103/S0747923914040070>

## Fe-Ti оксиды как показатель условий формирования пород Ошурковского массива (Западное Забайкалье)

В.А. ТЮГАШЕВ, М.О. РАМПИЛОВ, Е.А. ХРОМОВА

Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [tjugashev@rambler.ru](mailto:tjugashev@rambler.ru)

Месторождения оксидно-апатитового состава обладают значительным потенциалом легких РЗЭ, но механизмы их обогащения остаются неопределенными. Сходство химических особенностей магматических пород Ошурковского апатитового месторождения и уже известного типа руд позволяет рассмотреть новую модель их формирования, поскольку растущий спрос на редкоземельные элементы требует поиска способов увеличения их концентрации в земной коре.

Речь пойдет об ильмените, гематите, рутиле и магнетите. Чаще всего эти окислы встречаются в виде каплеобразных, округлой или лучевой формы, размером 0,2–0,5 миллиметров с включениями апатита и окружающим титанитом. Существует несколько типов ассоциаций минералов в зависимости от состава и типа пород. Ранее данный парагенезис был описан и в основу появления полосчатой текстуры была взята модель метасоматоза [1].

Согласно диаграмме, выше 800 °С, ильменит и гематит образуют одну фазу [2]. С падением температуры наблюдается наличие нескольких

генераций титансодержащих фаз. Сначала формируются пластины (20–100 мкм) Ti-гематита и ильменита с содержанием ильменитового минала (ilm) соответственно  $ilm_{40}$  и  $ilm_{80}$ . Потом распадаются сами с образованием более тонких ламелл  $ilm_{15}$  и  $ilm_{95}$ . Таким образом фиксируются температуры распада твердого раствора в интервале температур 550–650 °С. Полосы ильменита могут распадаться на рутилоподобную фазу и гематит. Это может происходить во всех слоях ильменита или в некоторых участках избирательно (Рис. 1А).  $TiO_2$  фаза (рутил) не только возникает при распаде ильменита, но и может давать собственные монокристаллы размером 120 мкм. Как правило, они расположены в пределах ассоциации Fe-Ti оксидов (Рис. 1В).

Магнетит встречается реже в виде структур распада или самостоятельных выделений в тесной ассоциации с структурами распада Ti-гематита и ильменита. (Рис. 1С) Как правило, он содержит мало Ti или не содержит его совсем. Структуры распада Hem-Ilm и магнетит встречаются часто и во всех типах пород. Нередки случаи, когда Fe-Ti оксиды запечатаны титанитом (Рис. 1 В, С). Общая

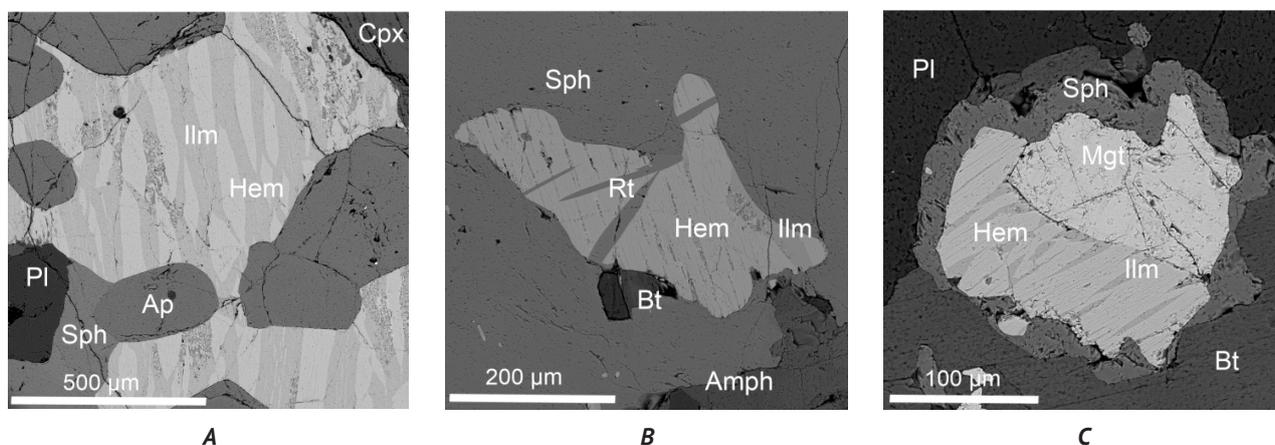


Рис. 1. Основные формы Fe-Ti оксидов (А Структуры распада ильменита (Ilm) и гематита (Hem) (В) Рутил (Rt) в гематите с ильменитом; (С) Гематит с ильменитом и магнетитом (Mgt) в титанитовой (Sph) «рубашке». Amph – амфибол, Bt – биотит, Pl – плагиоклаз, Crx – клинопироксен.

морфология и отсутствие форм переотложения свидетельствует о магматическом образовании магнетита. Отсутствие в его составе Ti, когда в контакте с ним находятся богатые Ti фазы, является основным вопросом этого исследования.

Существует общепризнанная магматическая порода (нельсонит), состоящая преимущественно из оксидов Fe-Ti (магнетита и ильменита) и апатита. Она образуется в условиях высокой летучести кислорода что приводит к осаждению ильменита, магнетита и гематита. Высокая летучесть кислорода подавляет сульфидную минерализацию и способствует образованию бедного титаном магнетита [3]. Так же их сближает с породами Ошурковского массива значительная концентрация легких РЗЭ, сконцентрированных в апатите, монаците, алланите [4].

Разделение гематита и ильменита происходит в окружении титанита, в закрытой системе. Следов перекристаллизации или прожилкового отложения отсутствуют. Средние составы оксидных ассоциаций лежат в интервале от ильменита до ульвошпинели. Если соотношение Fe/Ti влияет на количество ильменита в ассоциациях, то активность кислорода определяет куда войдет TiO<sub>2</sub> – в магнетит или гематит.

Само по себе наличие оксидов в системе является показателем высокой активности кислорода в расплаве. Также о высокой фугитивности кислорода говорит наличие сульфатов (барит, ангидрит) вместо сульфидов. Высокие концентрации SO<sub>3</sub> в апатите, монаците и скаполите является лишним доказательством этого утверждения.

## Литература

1. Шабашев В.Я. Железо-титановое оруденение Ошурковского массива (Забайкалье) // Геосферные исследования. 2022. № 1. стр. 48–67.
2. Harrison R.J. Microstructure and magnetism in the ilmenite-hematite solid solution: A Monte Carlo simulation study // American Mineralogist. 2005. Т. 91. p. 1006–1024.
3. Palma G., Reich M., Barra F. et al. Thermal evolution of Andean iron oxide-apatite (IOA) deposits as revealed by magnetite // Scientific Reports. 2021. № 18424: Т. 11.
4. Yan S.C., Wan B. Silicate and iron phosphate melt immiscibility promotes REE enrichment // Geochemical Perspectives Letters. September 2024. Т. 32. p. 14–20.

## Химический состав и растворенное органическое вещество минеральных вод курорта Ямаровка

А.В. УКРАИНЦЕВ, М.К. ЧЕРНЯВСКИЙ

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [ukraintsev87@bk.ru](mailto:ukraintsev87@bk.ru)

Месторождение углекислых вод Ямаровка расположено в предгорьях Малханского хребта в долине реки Чикой, на территории с. Ямаровка Красночикойского района Забайкальского края. Первые описания минеральных вод Ямаровки были сделаны в 1830-х гг. Возникновение и развитие курорта началось в 1860-е гг. До революции 1917 г. курорт считался одним из лучших в Восточной Сибири, ежегодно на нем разливалось до миллиона бутылок ямаровской воды, кяхтинские купцы экспортировали ее в Европу и Японию. В советский период было сделано многое для развития курорта, который также оставался одним из лучших. Максимального развития курорт достиг в 1980-е гг., когда он одновременно мог принимать до 500 человек. К сожалению, курорт перестал существовать в 1990-е гг., действует лишь небольшой завод по розливу минеральной воды [1].

Выходы минеральных вод Ямаровки приурочены к тектоническому контакту гнейсов и кристаллических сланцев с аркозовыми песчаниками, проходящими по северному борту Чикойской депрессии; в северо-восточной части месторождения песчаники не встречаются, и тектоническая линия проходит здесь по контакту двух толщ кристаллических сланцев. Северная толща представлена биотитовыми, а южная – амфиболитовыми кристаллическими сланцами. Контакт представляет собой зону разлома типа крутого надвига, состоящего из брекчий трения. Областями питания источника являются водоразделы рек Ямаровка – Яристая и Ямаровка – Бобровая в местах пересечения их тектонической зоной дробления [2].

Ямаровские минеральные воды обследовались авторами в 2019 и 2020 годах. Основные физико-химические параметры воды минерального источника измерялись непосредственно в полевых условиях. Показатель pH определялся с помощью портативного pH-метра PH-911, эквивалентное солесодержание (TDS) – с помощью кондуктометра «МАРК-603», температура воды измерялась цифровым термометром «CENTER375».

Отбирались пробы воды для лабораторного изучения их химического состава. Воду для макрокомпонентного анализа отбирали в пластиковые бутылки объемом 1,5 л, анализ выполнялся в сертифицированной лаборатории ГИН СО РАН (аналитик Д.И. Жамбалова) по стандартным методикам для пресных и соленых вод. Анализ микроэлементного состава выполнен методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 се в Лимнологическом институте СО РАН. Состав растворенных органических веществ (РОВ) в исследуемых водах определялся с помощью методики, основанной на концентрировании методом твердофазной экстракции с газовым хромато-масс-спектрометрическим окончанием. С помощью портативной установки экстракция производилась непосредственно на месте отбора пробы. В концентрирующей установке применялись патроны с универсальным сорбентом Strata C18-E (Phenomenex), кондиционирование (подготовка) патрона и экстракция аналита проводились с использованием ацетонитрила в качестве растворителя. Состав органических веществ в концентрате определялся в Институте катализа СО РАН (Новосибирск) с использованием прибора Agilent 7000B GC/MS и имеющегося в этом институте банка данных органических веществ и стандартных образцов.

По своему химическому составу воды Ямаровки слабominерализованные (0,7–1,6 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, с высоким содержанием железа (до 22 мг/дм<sup>3</sup>), температурой на выходе 4,7–5,5 °С. Считается, что воды Ямаровки относятся к Дарасунскому типу углекислых минеральных вод [2]. Л.В. Замана относит их к гидрокарбонатным натриево-магниевым согласно классификации углекислых вод Восточного Забайкалья по химическим типам [3]. Показатель pH вод по измерениям авторов составил 6,2, по литературным данным варьирует от 5,8 до 6 [2,3,4]. Содержание свободного CO<sub>2</sub> по литературным данным [2, 3, 4] в пределах от 1,8 до 3,2 г/л. Воды отличаются высокой

общей газонасыщенностью, достигающей 5–6 г/л, в больших количествах выделяется спонтанный газ. В составе спонтанных газов доминирует углекислота (до 99%) [2].

В составе растворенных органических веществ в воде Ямаровки было определено 39 различных соединений. Выявленные вещества сгруппированы в 9 классов (табл. 1).

Таблица 1. Состав растворенных органических веществ в минеральных водах курорта Ямаровка, %

	Нормальные алканы	Разветвленные алканы	Спирты	Разветвленные спирты	Дикарбоновые кислоты	Ароматич. соединения	Фталаты	Сложные эфиры	е опред. вещества
Ямаровка	4,06	15,78	9,44	0,13	1,12	5,81	2,75	57,44	3,45

Установлены относительно высокие содержания предельных углеводородов, как нормального, так и разветвленного строения. Известно, что в обычных условиях эти соединения плохо растворимы в воде. Повышенное содержание алканов, вероятно, связано с тем, что их растворимость возрастает под воздействием углекислого газа. Углекислота по мере приближения к выходу на поверхность переходит из сверхкритического состояния в газообразное и передает эти соединения в водный раствор [5]. Установлены значимые содержания спиртов различной структуры, дикарбоновых кислот. Во всех пробах присутствуют ароматические соединения и фталаты. Сложные эфиры представлены в основном ди-(2-этилгексиловым) эфиром адипиновой кислоты, происхождению этого соединения в пробах пока не удается найти объяснения. Также присутствует небольшой процент

соединений (3,45%), для которых не удалось определить даже принадлежность к какому-либо классу.

Присутствие углеводородов в водах в основном определяется особенностями геолого-гидрогеологического строения района выхода минеральных вод, причем решающим фактором в формировании состава растворенных органических веществ является высокая газонасыщенность вод. Именно поступающая в большом количестве с глубины углекислота создает условия для накопления алканов различной структуры в водах Ямаровки.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 «Геозекологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».*

## Литература

1. Батоцыренов Э.А., Санданов Д.В. История курорта «Ямаровка». Улан-Удэ, ИД «Экос», 2022. – 184 с.
2. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1 Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение. Под общ. ред. В.Г.Ткачук и Н.И.Толстихина. М., Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. – 346 с.
3. Замана Л.В. Углекислые воды Даурской гидроминеральной области (Восточное Забайкалье) // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2018. – Т. 95, № 4. – С. 69–74.
4. Оргильянов А.И., Крюкова И.Г., Бадминов П.С. Лечебные углекислые минеральные воды Монголо-Байкальского региона // Мат-лы II Междунар. науч.-практич. конфер. «Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов» (Кызыл, 1–4 июля 2015 г.). – Абакан: ООО Журналист. – 2015. – С. 103–108.
5. Плюснин А.М., Украинцев А.В. Растворенное органическое вещество в углекислых минеральных водах Западного Забайкалья // Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Петропавловск-Камчатский, 04–10 сентября 2023 года. – Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2023. – С. 134–137.

## Новые данные о составе органического вещества минерального озера Барун-Шивертуй (Восточное Забайкалье)

И.А. ФЁДОРОВ<sup>1</sup>, С.В. БОРЗЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,  
fedorowia@gmail.com, svb\_64@mail.ru

Минеральное озеро Барун-Шивертуй (50° 0' 52.79"N 116° 48' 14.86"E) расположено в 11 км на север от ст. Даурия на западном ответвлении пади Умыкей, в небольшой котловине между пологими сопками. По химическому составу воды это озеро относится к сульфатному типу [6] – на долю сульфат-ионов в разные сроки опробования приходится 45–51% экв.; среди катионов преобладает натрий (85–89% экв.). По величине минерализации озеро относится к рассолам – суммарная массовая концентрация растворенных веществ варьирует в интервале 45–147 г/л; величина pH изменяется в пределах 7,8–8,6, что зависит от гидрологического режима [1].

Цель настоящего исследования состоит в установлении состава органического вещества и его взаимосвязи в озерной экосистеме «вода–донные отложения–биота».

Для изучения состава органического вещества данного озера были отобраны образцы воды, керн донных отложений длиной 43 см и биота (фитопланктон, зоопланктон, зообентос и высшая водная растительность). Керн донных отложений был разделен

на несколько частей по 10 см, каждая из которых исследовалась отдельно.

В воде были установлены массовые концентрации гуминовых и фульвокислот фотометрическим методом с предварительным концентрированием образцов, а также оценено общее содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) по величине бихроматной окисляемости (ХПК) [5]. В керне донных отложений общий органический углерод ( $C_{орг}$ ) определен по Тюрину [4]. Молекулярный состав органического вещества был исследован методом газовой хромато-масс-спектрометрии с предварительной экстракцией хлороформом [2, 3]. Содержание индивидуальных веществ рассчитывалось по площади соответствующих пиков на хроматограммах с использованием внутреннего стандарта и библиотечной базой данных NIST.

По результатам опробования в 2023 году содержание гуминовых кислот в озерной воде составило 8,13 мгС/л, фульвокислот – 394 мгС/л, а общее содержание органического углерода – 1438 мг/л. Содержание органического углерода в керне донных отложений варьирует в интервале значений 1,66–11,4 г/кг по всему разрезу (табл. 1).

Табл. 1 – Содержание органического углерода в керне донных отложений (по Тюрину), г/кг

Интервал керна, см	0–5	5–10	10–13	3–15	5–20	20–25	25–26	26–30	30–35	35–39	39–43
$C_{орг}$	7,73	11,4	8,21	6,35	3,71	3,57	1,66	2,15	3,85	2,00	4,15

В отношении низкомолекулярных органических веществ результаты исследования показали, что в воде присутствуют предельные (5%), непредельные (2,8%), циклические (0,4%) и ароматические (0,4%) углеводороды, сложные эфиры (40,6%), карбоновые кислоты (15,3%) и прочие кислородсодержащие вещества (6,6%), стероиды и терпены (19,6%),

витамины (1%), а также азот-, фосфор- и серосодержащие соединения (3,4%). По всему керну донных отложений, как и в воде, в процентном соотношении преобладают сложные эфиры (24,6–66,6%), содержание n-алканов второстепенно (18,0–29,0%), на долю терпенов приходится 3,6–24,9%, карбоновые кислоты и прочие кислородсодержащие

вещества присутствуют в количестве 6,1–17,4%, содержание ароматических углеводов колеблется в интервале 3,1–6,5%, доля фосфорсодержащих веществ составляет 0,2–1,7%, а максимальная концентрация витаминов достигает лишь 0,3% по всему разрезу. Во всех отобранных образцах биоты преобладающими компонентами органического вещества являются жирные кислоты различного состава и строения; в пробах зоопланктона и зообентоса идентифицированы также стероиды (5,5–7,4%) в фитопланктоне – н-алканы (0,5%), кроме того, в этих образцах присутствуют ароматические углеводороды (0,4–1,2%).

Идентифицированные в исследованных образцах донных отложений органические соединения в большинстве своем имеют природное происхождение. Анализ данных о составе

кислородсодержащих органических соединений в воде, биоте и донных отложениях указывает на то, что в разрезе последних наблюдается непостоянство набора основных биопродуцентов, поставляющих органическое вещество в осадок. В составе растительных н-алканов по всему разрезу преобладает  $C_{31}$ , источником которого являются травянистые растения. В воде же преобладающими н-алканами являются  $C_{15}$ ,  $C_{17}$ ,  $C_{19}$ , источником которых служат преимущественно фитопланктон (46,8%) и бактерии ( $C_{16}$ ,  $C_{20}$ – $C_{24}$ ) – 29%. На долю предельных углеводов, источником которых являются водоросли ( $C_{21}$ ,  $C_{23}$ ,  $C_{25}$ ), приходится всего 4,5%.

*Работа выполнена при финансовой поддержке  
гранта РФФ № 22-17-00035.*

## Литература

1. Борзенко С.В., Комогорцева И.А. Механизмы формирования сульфатных озер Юго-Востока Забайкалья // Геология и геофизика. 2025. – DOI 10.15372/GiG2025129. – EDN XLGESV.
2. Ельчанинова Е.А., Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б. и др. Исследование антропогенного влияния на состав органического вещества в воде и донных отложениях залива Паршиха озера Чаны (Новосибирская область) // Химия в инт. уст. разв. 2023. № 31. С. 269–276.
3. Кейтс М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир, 1975. 305 с.
4. Органический углерод почвы. Спектрофотометрический метод Тюрина. ГЛОСОЛАН СОП-16 / Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим: ФАО, 2021. 22 с.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 541 с.
6. Borzenko S. V., Shvartsev S. L. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia) // Appl. Geochem. 2019. V. 103. P. 72–84.

## Экологические риски загрязнения донных отложений р. Модонкуль, юго-западное Забайкалье

З. И. ХАЖЕЕВА

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, [zi-na.zkhazh@mail.ru](mailto:zi-na.zkhazh@mail.ru)

## Environmental risks of pollution of bottom sediments of the Modonkul river, Transbaikalia

Z. I. KHAZHEEVA

Geological Institute N.L. Dobretsov SB RAS, Ulan-Ude, Russia

**Аннотация.** Приведены результаты исследований загрязнения тяжелыми металлами и As донных отложений р. Модонкуль на территории дренажных стоков рудных месторождений и отходов их разработки. Установлено, что по сравнению с верховьем вниз по течению реки экологический риск токсичности донных отложений возрастает в 4.6–5.4 раза. Показатели общего загрязнения и дополнительной нагрузки донных отложений возрастают в 2.5–3.6 раза. При формировании донных отложений литогенный вклад Cd, Pb и Cu снижается до 4–17%, As, Ni, Zn и Mn – до 40–67%.

**Ключевые слова:** общее загрязнение, экологические риски, токсичность

**Abstract.** It is presents the results of studies of heavy metal and metalloid pollution of bottom sediments in the Modonkul River, which flows through the drainage runoff of ore deposits and waste from their development. It was found that, compared to the upper reaches, the ecological risk of bottom sediment toxicity increases downstream by 4.6–5.4 times. The indicators of total pollution and additional load of bottom sediments increase by 2.5–3.6 times. During the formation of bottom sediments, the lithogenic contribution of Cd, Pb, Cu decreases to 4–17%, As, Ni, Zn, Mn – to 40–67%.

**Keywords:** general pollution, additional load, environmental risks, toxicity

**Введение.** Важным фактором, определяющим экологический статус водных экосистем, являются донные отложения, по их химическому составу можно судить о геохимических особенностях природной среды и степени техногенной нагрузки на ландшафты водосбора. Донные отложения могут быть

источником вторичного загрязнения поверхностных вод. Поступление дренажных потоков в реку может привести к негативным изменениям состава реки, формированию водных аномалий, токсичности для биоты и рыб [1].

Под влиянием стоков с отвалов горнорудного производства и шахтных вод происходит изменение гидрохимического состава р. Модонкуль вниз по течению. В верховье р. Модонкуль по химическому составу вода гидрокарбонатная кальциевого типа. В зоне смешения речной с рудничными водами происходит изменение химического состава на сульфатный преимущественно натриево-кальций-магниевый тип. Вниз по течению реки содержания тяжелых металлов возрастают Cu, Zn, Pb в 1.1–1.4 раза, Mn, Co, As – в 6.6–11, Cd – 8 раз [2].

**Материалы и методы.** Образцы поверхностных отложений были собраны пробоотборником с первых 10 см поверхности отложений и помещены в полиэтиленовые емкости на 5 створах М1-М5 вдоль реки Модонкуль (М1-фоновый створ, М5-устье). При транспортировке и временном хранении (1/2 суток) пробы донных отложений хранились при 4°С. На предварительном этапе пробы донных отложений высушивали при 105°С до достижения постоянной массы. После этапа пробоподготовки концентрации тяжелых металлов (As, Pb, Cu, Cd, Zn, Ni) определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре ARL Perform X-4200 (Швейцария), а также методом количественного эмиссионно-спектрального анализа.

**Результаты и обсуждение.** Концентрации тяжелых металлов, полученные в образцах донных отложений, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в изученных образцах ( $n=3$ ;  $P=0.95$ )

Элементы	M1	M2	M3	M4	M5	Фон*
Cd	2.1 ± 0.9	10.5 ± 0.5	9.8 ± 0.5	8.7 ± 0.6	13.2 ± 0.9	0.4
As	7.8 ± 0.8	14.7 ± 1.4	13.2 ± 1.2	13.4 ± 1.2	15.6 ± 1.4	6.8
Pb	45.4 ± 8.4	320 ± 12.8	270 ± 15.3	120 ± 8.4	85 ± 6.7	32
Cu	68.4 ± 8.9	280 ± 14.6	200 ± 11.3	185 ± 15.2	220 ± 12.4	47
Ni	28.6 ± 2.6	34 ± 2.7	22.3 ± 1.9	21.8 ± 2.2	24.5 ± 2.1	23
Zn	62.8 ± 8.2	150 ± 25.6	132 ± 22.4	168 ± 25.1	280 ± 31.2	81
Co	8.1 ± 1.2	10.2 ± 1.4	8.6 ± 1.2	9.7 ± 1.3	12.6 ± 1.4	11.5
Mn	928 ± 78.3	1640 ± 145	1580 ± 134	1450 ± 127	1790 ± 152	657

\*- данные работы [3]

По величине показателя экологического риска RI створы наблюдения разделяются на две группы: низко загрязненный (фоновый ств. M1) и сильно загрязненные (ств. M2–M5). Наибольший вклад в загрязнение вносит Cd наиболее токсичный среди изученных металлов. На фоновом ств. M1 экологический риск составляет 3.33, на ниже расположенных по течению ств. M2–M5–12.43–18.32. Экологический риск токсичности донных отложений возрастает в 4.6–5.4 раза.

В формировании донных отложений вносят литогенные и антропогенные источники. На фоновом ств. M1 наблюдается доминирование литогенного вклада As, Pb, Cu Ni (68–87%), Zn, Co (100%), литогенная составляющая в содержаниях Cd и Mn ниже и находится в пределах (19–56%). На створе M2 и ниже по течению значительно возрастает доля антропогенно-техногенной составляющей формирования донных отложений. На створе M3 техногенный вклад в содержаниях Cd, Pb, Cu достигает наибольших значений 83–97%. Ниже по течению на ств. 4 и 5 антропогенно-техногенный вклад Zn, Mn возрастает до 63.3–71.1%. На рис. 1 показано

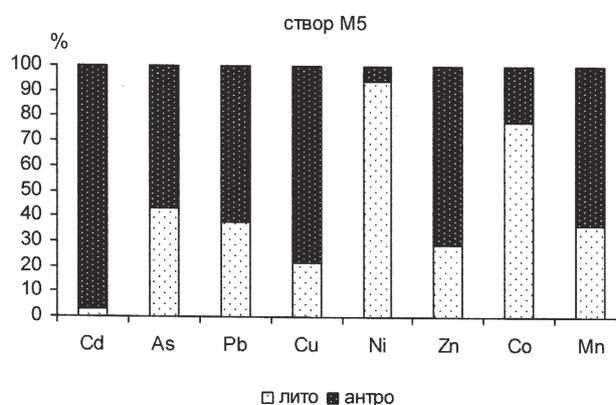


Рис. 1. Соотношение литогенных и антропогенных источников поставки тяжелых металлов на створе M5.

соотношение антропогенных и литогенных источников формирования донных отложений р. Модонкуль на устьевом ств. M5.

Исследование проведено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту № АААА-А21-121011890033-1. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ГИН СО РАН «Геоспектр». (г. Улан-Удэ).

## Литература

1. Решетняк О.С., Закруткин В.Е. (2016) Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами (по данным лабораторного эксперимента). *Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, (4), 102–109.
2. Khazheeva Z.I., Plyusnin A.M., Smirnova O.K., Peryazeva E.G., Zhambalova D.I., Doroshkevich S.G., Dabaeva V.V. (2020) Mining activities and the chemical composition of R. Modonkul, Transbaikalia. *Water (Switzerland)*, **12**(4), 979–998.
3. Хажеева З.И., Плюснин А.М., Дампилова Б.В. (2024) Изменение качества воды р. Модонкуль по комбинаторному индексу загрязнения. *Водные ресурсы*, **51**(4), 485–497.
4. Эколого-географический атлас-монография «Селенга-Байкал». (2019) (Под ред. Н.С.Касимова). М.: Географический факультет МГУ, 288 с.

## Новые данные по микротириофауне разреза Игетей (Предбайкалье)

ХЕНЗЫХЕНОВА Ф.И.<sup>1</sup>, НАМЗАЛОВА О. Д.-Ц.<sup>1</sup>, ЩЕТНИКОВ А.А.<sup>2</sup>, ФИЛИНОВ И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [khenzy@mail.ru](mailto:khenzy@mail.ru), [ojunkanam@mail.ru](mailto:ojunkanam@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, [shch@crust.irk.ru](mailto:shch@crust.irk.ru), [filinovia@crust.irk.ru](mailto:filinovia@crust.irk.ru)

Игетейский археологический комплекс расположен на правом берегу р. Ангары в месте впадения в нее р. Оса. Первые данные по фауне мелких млекопитающих этого разреза были получены в 1980–2002 гг. Хензыхеновой Ф.И., благодаря поддержке и помощи археологов Иркутского госуниверситета под руководством проф., д.и.н. Г.И. Медведева

В 2022 г геологами ИЗК СО РАН, археологами ИГУ, палеонтологами ГИН СО РАН и ИГУфимского ФИЦ РАН были организованы новые раскопки Игетей с целью уточнения динамики преобразования природной среды и климата в позднем-среднем плейстоцене с отбором проб на OSL-анализ. Была проведена промывка рыхлых отложений сверху вниз (от 0 до 20,7 м включительно), получены новые материалы по мелким млекопитающим. Моллюсков передали нашим коллегам: Г.А. Данукаловой и Е.М. Осиповой.

Установлено 10 таксонов мелких млекопитающих: 1 вид насекомоядных – *Crocidura* sp., 1 вид зайцеобразных – *Lepus* sp. (заяц), 8 видов грызунов: *Cricetulus* sp. – серый хомячок, *Clethrionomys rutilus* – сибирская красная полевка, *Dicrostonyx* cf. *henseli* и *Dicrostonyx* sp. – копытные лемминги, *Lagurus lagurus* – степные пеструшки, *Lasiopodomys gregalis* – узкочерепная полевка, *Microtus hyperboreus* – северосибирская полевка, *Alexandromys oeconomus* – полевка-экономка.

В верхней части разреза на глубине 0,6–2,2 м были найдены остатки степной пеструшки *Lagurus lagurus* – обитателя сухих степей и узкочерепной полевки *Lasiopodomys gregalis*, которая обитает во всех открытых ландшафтах от тундр и высокогорий до степей и полупустынь, избегая только заболоченные места.

На глубине 3,2–4,2 м были найдены *Dicrostonyx* cf. *henseli*, *Dicrostonyx* sp., *Lagurus lagurus*, *Lasiopodomys gregalis*, *Microtus* sp. Совместное обитание тундровых и степных, и сухостепных видов указывает на то, что это дисгармоничная фауна холодных эпох позднего плейстоцена.

На глубине 3,4–3,6 м были собраны, как остатки тундрового вида – копытного лемминга *Dicrostonyx* cf. *henseli* и *Dicrostonyx* sp., так и остатки степной пеструшки *Lagurus lagurus*, что свидетельствует о существовании

тундростепных ландшафтов и холодного климата. Такие фауны называют дисгармоничными.

Ниже, на глубине 9,2–9,6 м, в погребенном почвенном горизонте были обнаружены *Lasiopodomys gregalis* и *Microtus* sp.

На глубине 14–15,4 м, в погребенном почвенном горизонте были обнаружены остатки лесной полевки *Clethrionomys rutilus*, а так же *Lasiopodomys gregalis*, *Microtus* sp. Присутствие таежного и степного обитателей указывает на дисгармоничную фауну.

На глубине 15,7–16 м были найдены остатки тундрового вида – северосибирской полевки *Microtus hyperboreus*, что свидетельствует о сухом, холодном климате.

На глубине 16,3–17 м были обнаружены остатки *Lasiopodomys gregalis* и полевки-экономки *Alexandromys oeconomus* (Pallas, 1776), которая поселяется на сырых лугах, полянах, травяных болотах, также часто встречается в редколесьях около водоёмов, в поймах рек. Реже встречаются в лесах.

На глубине 17–18 м найдены *Crocidura* sp. (первая находка ископаемой белозубки в Предбайкалье), *Lasiopodomys gregalis*, *Microtus* sp. И на этом уровне фауна является дисгармоничной, поскольку *Lasiopodomys gregalis* населяет открытые пространства, а *Crocidura* живет в лесах.

На глубине 19 м обнаружили *Lasiopodomys gregalis*, *Microtus* sp.

На глубине 19,2–19,4 м обнаружили *Lepus* sp., *Lasiopodomys gregalis*. тоже дисгармоничная фауна, вместе лесной обитатель заяц и узкочерепная полевка, предподчитающая открытые биотопы.

На глубине 19,5–20 м нашли *Cricetulus* sp., *Lagurus lagurus*, *Lasiopodomys gregalis*, *Microtus hyperboreus*, *Microtus* sp. Это дисгармоничная фауна, представленная, как сухостепными, так и степными, и северными обитателями.

Коллектив проекта получил важные результаты по природной среде среднего плейстоцена.

Результаты исследований показали, что в то время доминировала дисгармоничная фауна, климат был холодным.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам ИГУ Н.Е. Бердниковой, И.М. Бердникову, Н.Б. Соколовой, Д.П. Золотареву, З.Ч. Ухинову за помощь и поддержку в проведении совместных полевых исследований.

## Распределение фтора и хлора в системе биотит – расплав редкометального гранита; экспериментальные исследования

**В.Ю. ЧЕВЫЧЕЛОВ, А.А. ВИРЮС**

*Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д.С. Коржинского (ИЭМ) РАН,  
Черноголовка, Россия, chev@iem.ac.ru*

Составы слюд (биотитов) весьма чувствительны к изменениям физико-химических условий минералообразования (кислотность-щелочность, флюидонасыщенность,  $T, f_{O_2}$  и др.), поэтому экспериментальные данные по фазовым равновесиям в силикатных системах с участием слюд и летучих компонентов представляют особый интерес для понимания условий образования магматических горных пород и связанных с ними руд. Тема исследований выбрана в связи с необходимостью уточнения физико-химических параметров образования биотитовых гранитов Хангилайского массива (Восточное Забайкалье), с магматическими дифференциатами которого связаны Орловское танталовое и Спокойнинское вольфрамовое месторождения.

С использованием различных геотермометров (Zr в рутиле и Ti в цирконе; Zr/Hf в цирконе; Ti в кварце) были оценены температуры кристаллизации гранитов Хангилайского массива, а также в этих гранитах были детально изучены химические составы биотитов. Для последующих экспериментальных исследований было проведено первичное плавление образца гранитов Хангилайского массива. Затем из полученного расплава с добавками F- и Cl-содержащих флюидов осуществлялось выращивание кристаллов биотита в субликвидусных условиях (690–760°C), и после экспериментов определяли химические составы выращенных биотитов и гранитных расплавов. С целью оценки влияния давления на состав кристаллизующихся биотитов, эксперименты были проведены при давлениях: 110, 315, 450 и 535 МПа. В экспериментах использовались водные растворы: 5M HF + 5M HCl; 1M HF + 1M HCl; 2M HF + 2M KF; 5M HF + 1M HCl; 0.33M HCl + 0.33M NaCl + 0.33M KCl и H<sub>2</sub>O.

Эксперименты подготавливались и проводились следующим образом. Вначале мелко раздробленный образец исходного гранита, помещенный в незаваренную платиновую ампулу (9мм×0.2мм×50мм),

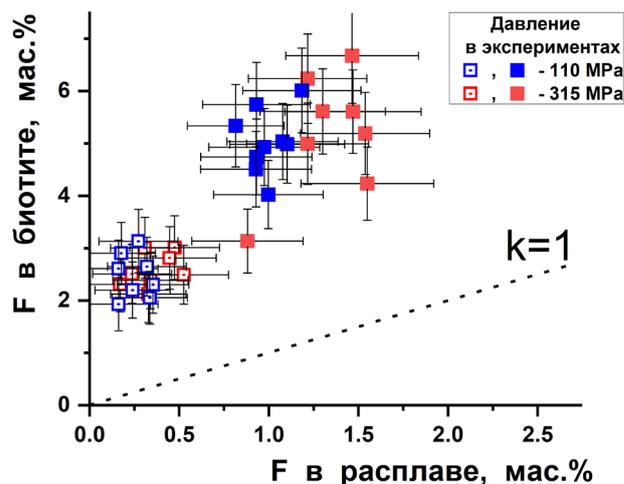
плавляли при  $T = 1350^\circ\text{C}$ ,  $P = 0.1$  МПа и длительности 1 сут. Полученное гранитное стекло, перетертое в порошок, помещали в малые платиновые ампулы (4мм×0.2мм×20мм), на дно которых были залиты F- и Cl-содержащие растворы. Затем ампулы заваривали. Исходное весовое соотношение раствор / гранитное стекло составляло от 1 к 5 до 1 к 10 в зависимости от давления в опыте. Эксперименты по кристаллизации гранитного стекла проводили на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (ИНПВ).  $P$ - $T$  режим был следующим: вначале при  $T = 830$  (800)°C и нужном давлении ампулы выдерживались в течение 1 суток для полного расплавления стекла в водонасыщенных условиях, а затем температура понижалась до 720 (690, 760)°C, и опыты продолжались еще от 9 до 13 суток для кристаллизации минералов в расплаве. После экспериментов химические составы синтезированных фаз-минералов, а также концентрации F и Cl в биотите и в закалочном гранитном стекле определялись методом рентгеноспектрального электронно-зондового анализа (РСЭЗА) с использованием как энергодисперсионного, так и кристалл-дифракционного (волнового) рентгеновских спектрометров.

Установлено, что F, Cl-содержащие биотиты кристаллизовались в присутствии F, Cl-содержащих и Cl-содержащего флюидов (1M HF + 1M HCl, 5M HF + 1M HCl, 0.33M HCl + 0.33M NaCl + 0.33M KCl), но только при давлении 110 и 315 МПа. При этом содержание Cl в стекле составляло 0.12–0.23 мас.%. В присутствии фторидного флюида (2M HF + 2M KF) и чистой H<sub>2</sub>O образовывался F-содержащий биотит, содержание Cl в котором было вблизи предела обнаружения. Этот F-содержащий биотит кристаллизовался во всем изученном интервале давлений от 110 до 535 МПа, но чем выше было давление в эксперименте, тем меньше были размеры и количество кристаллов биотита. Биотит вообще не кристаллизовался в присутствии концентрированного флюида

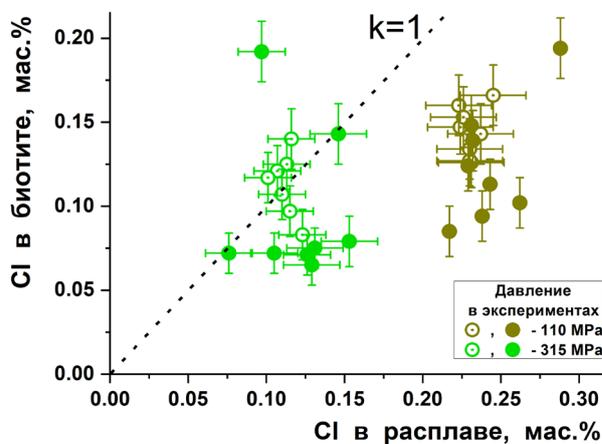
(5M HF + 5M HCl), то есть при содержании в стекле 1.08 мас.% F и 0.54 мас.% Cl. В синтезированных биотитах наблюдается отрицательная корреляция между содержаниями в слюде с одной стороны F, а с другой стороны Fe и Ti. Так, например, с уменьшением содержания F от 4.55 до 1.11 мас.% содержание FeO увеличивается от 5.40 до 11.47 мас.%, а содержание TiO<sub>2</sub> – от 1.82 до 2.83 мас.%.

Изучено распределение F и Cl между биотитом и расплавом. Установлено, что содержание F в слюде существенно выше, чем в сосуществующем с ней гранитном расплаве (рис. 1). С увеличением давления содержание фтора в расплаве заметно возрастает, а в биотите рост содержания F проявлен более слабо. Хлор в рассматриваемой системе ведет себя иначе: его содержание в слюде при давлении 110 МПа всегда ниже, чем в сосуществующем гранитном расплаве. А с повышением давления до 315 МПа содержания Cl в слюде и расплаве становятся близкими (рис. 2). Величина F/Cl отношения в составе биотита всегда выше, чем в гранитном расплаве. Это отношение в составе биотита заметно возрастает, как с увеличением давления, так и с увеличением содержания фтора в расплаве. Оценены вероятные содержания F, Cl и величина F/Cl отношений в гранитном расплаве Хангилайского массива. Содержания фтора и хлора в гранитном расплаве составляли первые сотые процента, 0.0n мас.%, для каждого элемента (не более 0.10–0.15 мас.%), а величина F/Cl отношения могла изменяться от 1 до 5 в зависимости от давления.

*Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России № проекта 13.1902.24.44, № соглашения 075–15–2024–641.*



**Рис. 1. Зависимость содержания F в биотите от содержания F в гранитном расплаве в субликвидусных условиях. Незалитые значки – расплав содержал 0.25–0.35 мас.% F и 0.12–0.23 мас.% Cl, залитые значки – расплав содержал 0.99–1.33 мас.% F и 0.12–0.23 мас.% Cl. Точечный пунктир ( $k=1$ ) соответствует равенству содержаний фтора в слюде и в расплаве.**



**Рис. 2. Зависимость содержания Cl в биотите от содержания Cl в гранитном расплаве. Незалитые значки – расплав содержал 0.25–0.35 мас.% F и 0.12–0.23 мас.% Cl, залитые значки – расплав содержал 0.99–1.33 мас.% F и 0.12–0.23 мас.% Cl. Точечный пунктир ( $k=1$ ) соответствует равенству содержаний хлора в слюде и в расплаве.**

## О фугитивности кислорода ( $f_{O_2}$ ) в экспериментах на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (газовая бомба, ИРВ) в водонасыщенных условиях

В.Ю. ЧЕВЫЧЕЛОВ

Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д.С. Коржинского (ИЭМ) РАН,  
Черноголовка, Россия, chev@iem.ac.ru

Методика кислородных буферов (методика регулирования парциального давления кислорода в изучаемой системе), разработанная Г.П.Эйгстером [6, 7], широко распространена при экспериментах, проводимых в гидротермальных условиях с минералами и соединениями, содержащими элементы переменной валентности, например,  $Fe^{3+} - Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+} - Mn^{3+} - Mn^{4+}$ ,  $U^{4+} - U^{6+}$ ,  $Sn^{2+} - Sn^{4+}$  и др. Существование методики заключается в том, что исследуемая система в процессе эксперимента отделена от буферной системы мембраной, способной пропускать водород. Буферная система, работая в режиме моновариантной реакции типа  $Me + H_2O \rightleftharpoons MeO + H_2$ , поддерживает на заданном уровне летучесть водорода, которая однозначно связана с  $f_{O_2}$ .

Эксперименты обычно проводят в двойных или даже тройных Pt (Au) ампулах. Во внутреннюю малую ампулу помещают навеску (шихту) с  $H_2O$ , а во внешнюю ампулу — буферную смесь с  $H_2O$ . Применение еще одной внешней (третьей) ампулы с буферной смесью позволяет значительно увеличить длительность работы буферной системы. Данная методика всегда широко использовалась на гидротермальных экспериментальных установках, где передающей давление средой является вода. Использование кислородных буферов при проведении экспериментов на газовой аппаратуре высокого давления существенно усложняется, так как средой передающей давление на ампулу является инертный газ Ar. На работу кислородных буферов на газовых установках оказывают существенное влияние давление, температура, длительность и другие параметры экспериментов.

Наши эксперименты по определению фугитивности кислорода ( $f_{O_2}$ ) были проведены на установке «сосуд высокого газового давления с внутренним нагревом» в ИЭМ РАН при  $T = 1000^\circ C$ ,  $P = 200$  МПа

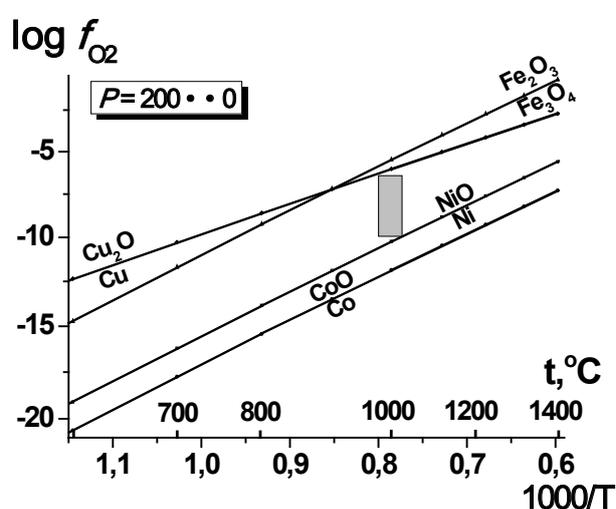


Рис. 1. Оценка величины фугитивности кислорода ( $f_{O_2}$ ) в экспериментах, проведенных на «газовой бомбе» в Pt ампулах при  $T = 1000^\circ C$ ,  $P = 200$  МПа и длительности 1 сутки.

и длительности 1 сутки в Pt заваренных ампулах [3]. Использовалась двухампульная методика: внутренняя ампула ( $5 \times 0.2 \times 24$ ) мм<sup>3</sup> вмещала ~ 500 мг буферной смеси и ~ 50 мг  $H_2O$ , внешняя ампула ( $7 \times 0.2 \times 29$ ) мм<sup>3</sup> содержала ~ 65 мг  $H_2O$ . Эксперименты проводились со следующими кислородными буферными парами: Co — CoO, Ni — NiO,  $Fe_3O_4 - Fe_2O_3$  и Cu —  $Cu_2O$ . Исходные буферные смеси были составлены в таких пропорциях: ~ 85 мас.% Co (Ni) и ~ 15 мас.% CoO (NiO); ~ 50 мас.%  $Fe_3O_4$  (Cu) и ~ 50 мас.%  $Fe_2O_3$  ( $Cu_2O$ ). После опытов был проведен рентгенофазовый анализ растертых в порошок буферных смесей.

Результаты приведены на рисунке 1. Как правило, после экспериментов в буферных смесях сохранялось только одно соединение из двух исходных. В опытах

с буферными парами Co – CoO и Ni – NiO сохранялись оксиды: CoO и NiO, а в опытах с Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Cu – Cu<sub>2</sub>O (закись меди) после опыта присутствовали более восстановленные фазы магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и чистая Cu. Уравнение  $\log(f_{O_2})_{P,T} = A/T + B + C(P-1)/T$  ( $f_{O_2}$  – в атм.,  $P$  – в бар.,  $T$  – в К) для расчета величин  $\log(f_{O_2})$  и данные по коэффициентам для использованных в экспериментах буферных пар были взяты из работы Чоу [5]. Рассчитанные величины  $\log(f_{O_2})_{P,T}$  для  $P$ - $T$  параметров наших экспериментов, составили: –11.86 для Co – CoO; –10.23 для Ni – NiO; –5.48 для Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и –6.02 для Cu – Cu<sub>2</sub>O. Таким образом, в экспериментах на «газовой бомбе» при  $P = 200$  МПа и  $T = 1000^\circ\text{C}$  величина  $\log(f_{O_2})$  находится в диапазоне  $\approx -10 \div -6$  или Ni-NiO +  $\approx 2-3$ .

Наши результаты совпадают с данными Дж. Берндта с соавторами [4], по данным которых в сосуде высокого газового давления (ИПВ) при  $P = 200$  и  $500$  МПа и  $T = 900-1200^\circ\text{C}$  и при использовании чистого Ag в качестве среды, передающей давления, собственный  $f_{O_2}$  в сосуде, измеренный с использованием твердотельного окислительно-восстановительного Ni-Pd датчика по Тейлору и др. [8] эквивалентен твердому кислородному буферу MnO – Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. При  $P = 200$  МПа и  $T = 1000^\circ\text{C}$  рассчитанный  $\log f_{O_2}$  составляет –6.67 по вышеприведенной формуле Чоу или  $\log f_{O_2} \approx \text{Ni-NiO} + 3.5$ .

Эксперименты по определению фугитивность кислорода ( $f_{O_2}$ ) при более высоком  $P = 500-600$  МПа

были проведены в нашем институте на установке высокого газового давления (УВД-10, «газовая бомба») при  $T = 800, 1000$  и  $1200^\circ\text{C}$  и длительности от 1 до 120 часов [1]. Использовались двухампульная и трехампульная методики: внутренняя ампула ( $3 \times 0.1\dots$ ) мм вмещала контрольную навеску из Ol + Q + Mt (30–40 мг) и H<sub>2</sub>O, во внешнюю ампулу ( $5 \times 0.2\dots$ ) мм помещали буферную смесь (300–600 мг) и H<sub>2</sub>O. В случае использования трехампульной методики, в третью внешнюю ампулу ( $7 \times 0.2\dots$ ) мм также помещали буферную смесь и H<sub>2</sub>O. Эксперименты проводились с тремя буферными смесями: NNO (более окислительные условия), QFM, IMt (более восстановительные условия). Автором этой работы Г.Я. Корольковым установлено, что из трех исследованных буферов, буферная пара NNO работает дольше и лучше двух других: при  $T = 800^\circ\text{C}$  она поддерживает фиксированное значение  $f_{O_2}$  более 24 часов (устойчива ассоциация Ni + NiO), а при  $T = 1000-1200^\circ\text{C}$  – не менее 5–6 часов. Особенностью работы буфера NNO является относительно медленное установление фиксированных значений  $f_{O_2}$ . Таким образом, при  $P = 500-600$  МПа и  $T = 800-1200^\circ\text{C}$  в экспериментах на «газовой бомбе» фугитивность кислорода близка к  $\log(f_{O_2})$  буфера Ni-NiO.

*Источник финансирования.*

*Работа выполнена в рамках темы  
НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0004.*

## Литература

1. Корольков Г.Я. Режим работы кислородных буферов в установках высокого газового давления. В кн.: Очерки физико-химической петрологии. Вып. 11. М.: Наука, 1983. С. 41–51.
2. Луканин О.А., Русаков В.С., Котельникова А.А., Кадик А.А. Экспериментальное исследование влияния давления на валентное и структурное состояния атомов железа в природных базальтовых расплавах. В кн.: Вторая международная конференция «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. 25–26 октября 1999. Тезисы докладов. Москва, 1999. С. 35–36.
3. Чевычелов В.Ю., Корнеева А.А. Оценка величины фугитивности кислорода ( $f_{O_2}$ ) в экспериментах на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (ИПВ). В кн.: Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Москва, 18–19 апреля 2018. М.: ГЕОХИ РАН, 2018. С. 456–457.
4. Berndt J., Koepke J., Holtz F. An experimental investigation of the influence of water and oxygen fugacity on differentiation of MORB at 200 MPa // J. Petrol. 2005. V. 46. No 1. P. 135–167.
5. Chou I-Ming Oxygen buffer and hydrogen sensor techniques at elevated pressures and temperatures. In: Hydrothermal experimental techniques. John Wiley & Sons, 1987. P. 61–99.
6. Eugster H.P. Heterogeneous reactions involving oxidation and reduction at high pressures and temperatures // J. Chem. Phys. 1957. V. 26. No 7. P. 1760–1761.
7. Eugster H.P., Wones D.R. Stability relations of the ferruginous biotite, annite // J. Petrol. 1962. V. 3. No 1. P. 81–124.
8. Taylor J.R., Wall V.J., Pownceby M.I. The calibration and application of accurate redox sensors // Am. Mineral. 1992. V. 77. P. 284–295.

## Фитотоксичность почв/грунтов на площадке снегонакопления г. Улан-Удэ

Т.В. ЧЕРЕДОВА<sup>1,2</sup>, Р.П. ФЕФЕЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [cheredova-tv@yandex.ru](mailto:cheredova-tv@yandex.ru)

<sup>2</sup>Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, [fefelov\\_dh@mail.ru](mailto:fefelov_dh@mail.ru)

С проблемой уборки снега в зимний период сталкивается большинство городов Российской Федерации. Нормативное регулирования площадок снегонакопления регламентировано санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.3684–21, согласно п. 34 которых площадки для накопления снега должны быть оборудованы водонепроницаемым покрытием и обустроены системой сбора ливневых стоков. На площадках снегонакопления, выявленных на территории города Улан-Удэ, такое обустройство отсутствует, что способствует проникновению талых снеговых вод в почвы/грунты. Результаты химического анализа снеговых вод, полученных путем таяния снега на данной территории, показали, что содержание основных макрокомпонентов в снеговых водах не превышает нормы ПДК [1]. Вместе с тем, анализ микрокомпонентного состава снеговой воды выявил значительные превышения рыбохозяйственных и санитарно-гигиенических норм ПДК в талых водах. В связи с этим, было решено провести оценку качества почв/грунтов на площадках снегонакопления в летний период.

Отбор проб был проведен в летний период 2024 года с учетом требований ГОСТ 17.4.4.02–2017 [2] на площадке складирования снега, расположенной на территории бывшей свалки коммунальных отходов п. Стеклозавод (Советский район, г. Улан-Удэ), которая не используется для захоронения коммунальных отходов с 2007 года. Отбор проб проводился на участке снегонакопления размерами 80×250 м. При отборе проб отбирали поверхностный слой грунта на глубину 0–20 см. Объединенную пробу составляли путем смешивания пяти точечных проб, взятых с одной пробной площадки. Количество пробных площадок составило 10 ед. В качестве фона была выбрана пробная площадка, расположенная на границе свалки на расстоянии 500 метров в северо-западном направлении от участка снегонакопления (рис. 1). Территория, выбранная для фоновой площадки,

свободна от загрязнения, покрыта травянистой растительностью, наблюдается гумусовый горизонт, тип почвы – серогумусовая типичная [3].

Для оценки токсичности почвы был использован метод проростков, основанный на реакции тест-культур высших растений. Согласно ГОСТ Р ИСО 22030–2009 для оценки фитотоксичности было использовано две тест-культуры: однодольное растение – овес посевной (*Avena sativa* L.) и двудольное растение – редис «Заря» (*Raphanus sativus*). Семена тест-культур тщательно отбирались перед посевом на предмет их порчи и схожего размера. Исследуемые почвы/грунты просеивались через сито диаметром 3–5 мм для исключения инородных механических включений. Навески почвы массой 200 г помещались в пластиковый контейнер, в который проводилась посадка семян тест-культур в количестве 10 шт. Проращивание семян проводилось при температуре 22–24 °С и влажности 79–84% в течение 7 суток. По истечении времени культивирования были оценены следующие показатели: всхожесть, длина проростков (надземная и подземная части), вес растений. По результатам замеров были рассчитаны показатели энергии прорастания, фитотоксичного эффекта и индекса токсичности (ИТФ). Для оценки токсичности исследуемой пробы была использована шкала токсичности по величине ИТФ: при ИТФ > 1,10 – VI класс токсичности (стимуляция); ИТФ = 0,91–1,10 – V класс токсичности (норма); ИТФ = 0,71–0,90 – IV класс токсичности (низкая токсичность); ИТФ = 0,50–0,70 – III класс токсичности (средняя токсичность); ИТФ < 0,50 – II класс токсичности (высокая токсичность); при гибели тест-объекта – I класс токсичности [4].

Результаты и обсуждение. Для семян редиса характерна более высокая всхожесть по сравнению с семенами овса посевного: всхожесть семян редиса на пробах фоновой участка достигла 100% уже к 4 дню эксперимента, тогда как для семян овса посевного – только к 7 дню культивирования,

что объясняется физиологическими особенностями растений. Для семян обеих тест-культур была выявлена более низкая всхожесть на почве/грунте, отобранном на площадке снегонакопления, по сравнению с фоновым участком: для семян редиса – на 35%, для семян овса – на 53%, что свидетельствует о повышенной фитотоксичности почв/грунтов на площадках снегонакопления. Результаты расчета фитотоксичного эффекта и индекса токсичности (табл. 1) показали, что фитотоксичный эффект почв/грунтов на площадках снегонакопления варьируется от 22,77% до 85,35% – для семян редиса и от 25,18% до 87,30% – для семян овса

посевого. Среднее значение индекса токсичности почв/грунтов для выбранных тест культур составило менее 0,5, что позволяет их отнести к II классу токсичности (высокая токсичность). Семена овса оказались более чувствительными к загрязнениям почв/грунтов на площадках снегонакопления, что отражается в их низкой всхожести и высоких значениях фитотоксичного эффекта по сравнению с семенами редиса. Вероятно, почвы/грунты на территории площадок для накопления снега, загрязнены нефтепродуктами, на содержание которых в почве овес реагирует сильнее, чем редис [5].

**Таблица 1. Фитотоксичный эффект (ФЭ) и ИТФ грунта на площадке снегонакопления**

Площадки отбора проб	Редис «Заря» ( <i>Raphanus sativus</i> )		Овес посевной ( <i>Avena sativa L.</i> )	
	ФЭ,%	ИТФ	ФЭ,%	ИТФ
1	75,14	0,25	55,17	0,45
2	50,04	0,36	87,30	0,13
3	70,37	0,30	85,06	0,15
4	72,04	0,28	73,85	0,26
5	50,54	0,38	68,78	0,42
6	44,20	0,60	60,50	0,43
7	60,05	0,40	74,52	0,25
8	22,77	0,77	55,42	0,45
9	85,35	0,15	85,06	0,15
10	30,76	0,69	25,18	0,75
Среднее значение	56,13	0,42	67,08	0,34

Таким образом, результаты проведенного анализа показали, почвы/грунты на площадке снегонакопления г. Улан-Удэ, расположенной в п. Стеклозавод, характеризуются высокой токсичностью по отношению к тест-культурам овса посевного (*Avena sativa L.*) и редиса (*Raphanus sativus*).

*Работа выполнена в рамках проекта «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока» (№ гос. рег. АААА-А21–121011890033–1).*

## Литература

1. Чередова, Т.В. Химический и минеральный состав снежного покрова на площадках снегонакопления города Улан-Удэ / Т.В. Чередова, О.Н. Чудинова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2025. – Т. 33, № 2. – С. 189–203.
2. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа ГОСТ 17.4.4.02–2017
3. Классификация и диагностика почв России / Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
4. Волкова И.Н. Экологическое почвоведение: Лабораторные занятия для студентов-экологов (бакалавров): Методические указания / Сост. И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова. – Ярославль: Яросл. гос. ун-т., 2002. – 35 с.
5. Влияние естественной загрязненности почв нефтью и нефтепродуктами на урожайность сельскохозяйственных культур / З.Б. Эльдиева, Р.Д. Арчакова, З.А. Шанхоева [и др.] // Colloquium-Journal. – 2019. – № 2–2(26). – С. 70–71.

## Наледь в долине р. Большая Шибирка как репрезентативный участок изучения наледных процессов в Селенгинском среднегорье

В.Н. ЧЕРНЫХ

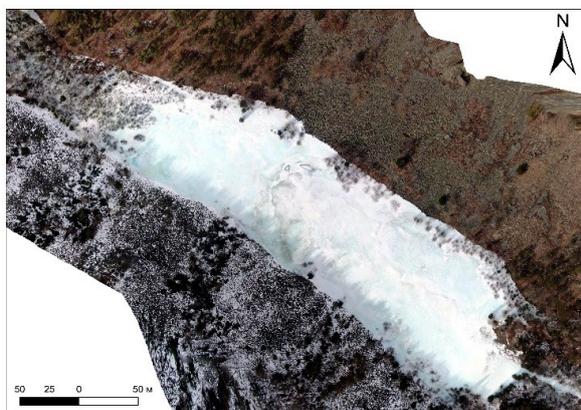
Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [geosibir@yandex.ru](mailto:geosibir@yandex.ru)

Наблюдения за динамикой наледей имеют важное фундаментальное и прикладное значение. В XX веке в СССР для изучения многолетней изменчивости площадей и объемов наледей использовались наледные полигоны [1]. На сегодняшний день такие непрерывные наблюдения практически не ведутся. Единственным действующим наледным полигоном, работы на котором усилиями ученых-энтузиастов возобновлены в настоящее время, является стационар «Анмангындинская наледь» в Магаданской области [2]. Это северная геофизиологическая зона, где многолетнемерзлые породы (ММП) имеют сплошное распространение. В южной геофизиологической зоне подобных мониторинговых участков по изучению наледей нет, но системные наблюдения за реакцией наледей на климатические изменения необходимы и здесь, так как наблюдаемое потепление имеет глобальный характер и сказывается на состоянии южной криолитозоны.

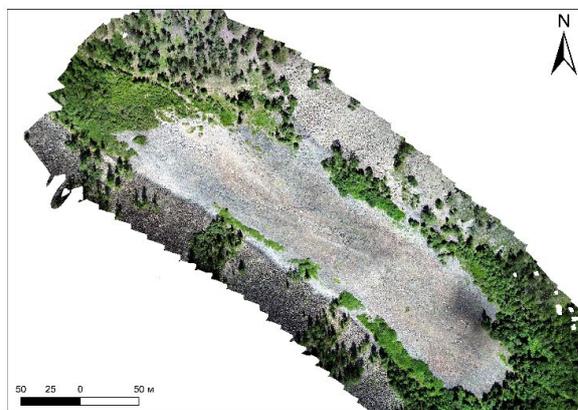
Цель работы – определить репрезентативные участки для организации многолетних наблюдений за интенсивностью развития наледей на территории Селенгинского среднегорья. Комплекс задач включает определение наледных участков речных долин, в пределах которых в течение продолжительного времени можно получать сведения о площадях, объемах,

особенностях формирования и разрушения наледей, выбор методологических и технических подходов к организации мониторинга, оценка достоверности результатов и возможностей их интерпретации на значительную по площади территорию. Сложность выполнения задач заключается в том, что большинство наледей Селенгинского среднегорья относятся к южному типу [3], т.е. они мигрируют вдоль русел водотоков, а их площади и объемы из года в год сильно различаются. В связи с этим для долговременного мониторинга нужны участки, где наледи образуются ежегодно, а их конфигурация позволяет с высокой точностью оценить основные морфометрические характеристики. В настоящее время в качестве такого участка определена наледь в долине р. Бол. Шибирка в отрогах хр. Улан-Бургасы.

Наледь обнаружена в 2022 г. при изучении космической съемки Landsat. Впервые обследована в январе 2023 г. Она формируется на днище V-образной долины р. Бол. Шибирка в ее среднем течении (рис. 1, а). Наледная поляна сложена глыбовыми отложениями неясного генезиса, имеет относительно ровную поверхность с превышениями менее 1 м в разных частях, практически лишена древесно-кустарниковой растительности (рис. 1, б).



а



б

Рисунок 1 – Ортофотопланы участка исследования: а – наледь в долине Бол. Шибирка (2 апреля 2023 г.), б – наледная поляна.

Среднее многолетнее значение площади наледи под данным космической съемки Landsat за период с 1990 по 2022 г. и съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) за период с 2023 по 2025 г. составляет 37 тыс. м<sup>2</sup> и варьирует в пределах 1–1,5 тыс. м<sup>2</sup>. Максимальная мощность (за период наблюдений с 2023 г. по н.в.) составляет 3 м, средняя 2,1 м. Косвенные признаки (сломы и повреждения на деревьях и кустарниках) свидетельствуют о том, что мощность наледи может достигать 4 м.

С января 2023 г. на участке долины организованы ежегодные непрерывные мониторинговые исследования. В течении теплого сезона года с использованием автоматических регистраторов НОВО RG3-M производится сбор данных по количеству осадков в бассейне р. Бол. Шибирка. В сентябре выполняются промеры расходов воды в реке с использованием гидрометрической вертушки на гидростворе, расположенном выше наледной поляны. В январе и в конце марта проводятся ледемерные съемки для расчета объема наледи. При этом используются как традиционные методы (вешки, отметки на

деревьях), так и современные подходы. Определение мощности наледи производится с использованием БПЛА. Для этого составлена высокоточная локальная цифровая модель рельефа (ЦМР) наледной поляны. После съемки наледи производится сравнение высотных отметок ЦМР наледной поляны и поверхности наледи, по результатам которого рассчитываются объемы. Также, в течение сезона (с 1 сентября по 30 июня) с использованием датчиков НОВО UA-002-08 проводятся наблюдения за температурой воздуха, в период от начала формирования до окончания таяния, ведется ежедневная съемка наледи с использованием автоматической фотоловушки (рис. 2).

За время проведения наблюдений (с 2023 г. по н.в.) получены результаты, позволяющие говорить о том, что наледные процессы на данном участке долины р. Бол. Шибирка отражают интенсивность наледообразования, характерную для значительной части Селенгинского среднегорья. Основные характеристики условий наледообразования на мониторинговом участке, полученные за период наблюдений, представлены в таблице 1.

Табл. 1 Основные характеристики условий наледообразования в долине р. Бол. Шибирка

Сезон	Кол-во осадков теплого сезона года, предшествующего наледообразованию, мм	Сумма отрицательных температур, °С	Минимальная температура воздуха, °С	Дата начала наледных процессов	Объем наледи, тыс. м <sup>3</sup>
2023–2024 гг.	239	2379	-36,1	15.12.23	60
2024–2025 гг.	390	2278	-28,9	02.01.25	43,4

Так, в сезон 2023–2024 гг. в Селенгинском среднегорье наблюдалась высокая активность наледных процессов. За период с 10.11.2023 г. по 10.03.2024 г. на территории Республики Бурятия зафиксировано 30 случаев подтоплений наледными водами объектов гражданского строительства. В сезон 2024–2025 гг. таких случаев было 12, а общая интенсивность наледных процессов ниже, чем в предыдущий сезон. Межгодовая изменчивость объемов рассматриваемой наледи, приведенная в таблице 1, тождественна динамике объемов других изученных наледей, что подтверждают экспедиционные обследования более чем 30 объектов, расположенных в разных частях территории.

## Литература

1. Алексеев В.Р., Макарьева О.М., Шихов А.Н., Нестерова Н.В., Осташов А.А., Землянскова А.А. Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-востока России. Новосибирск: Ин-т мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, 2022. — 302 с.
2. Землянскова А.А., Макарьева О.М., Шихов А.Н., Нестерова Н.В., Осташов А.А., Алексеев В.Р. Научный полигон Анмангындинская наледь: комплексный подход изучения процессов водообмена. Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2023. с. 286–292.
3. Романовский Н.Н. О геологической деятельности наледей. Мерзлотные исследования. Выпуск XIII. — Изд-во МГУ, 1973. — С. 66–89.

## Макро- и микроэлементный состав потоков аэрозолей в районе содовых озер Верхнее и Нижнее Белое (Западное Забайкалье)

Р.С. ЧЕРНИГОВСКИЙ, А.М. ПЛЮСНИН

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [tchernigovsky.roman@yandex.ru](mailto:tchernigovsky.roman@yandex.ru)

Озера Верхнее и Нижнее Белое расположены на юге Западного Забайкалья в Боргойской впадине мезозойского возраста. Впадина выполнена мощными толщами эффузивно-осадочных пород, переслаивающихся между собой. В районе озер на поверхность выходят покровы шошонитовой серии лав (трахиандезиты) мощностью 120 м. Развитие Боргойского магматического очага привело к формированию во впадине щелочно-известковых основных пород ряда кринанит-гленмуирит-куямит, слагающих тела типа лакколлитов, силлов, даек. Минералогический состав кринанитов следующий: оливин, моноклинный пироксен, плагиоклаз, щелочной полевой шпат, анальцим, натролит, биотит, боулинцит, раскристаллизованное стекло, апатит и рудные минералы [1].

На территории впадины распространены воды с преобладанием гидрокарбонатного иона и гидрокарбонатно-сульфатные и гидрокарбонатно-хлоридные воды. В обрамлении озер развито содовое засоление.

Координаты озера Верхнее Белое – N50°37.986', E105°44.544', высота над уровнем моря 606 м. Площадь водного зеркала составляет по разным оценкам от 3 до 4.5 км<sup>2</sup>, средняя глубина 0.85 м, максимальная – 2.7 м. Озерный бассейн не имеет стока и характеризуется смешанным типом водно-минерального питания, которое происходит как за счет атмосферных осадков, вымывающих соли из почв и горных пород водосбора, так и за счет родников и ручья Холой, впадающего в него с севера. Воды озера относятся к соленным, их минерализация, варьирует от 16 г/л летом до 22 г/л зимой, значения pH изменяются от 9.6 до 9.8 соответственно [2]. Озеро Нижнее Белое расположено на 2 км южнее озера Верхнее Белое. Глубина озера составляет 1.5–2 м. Минерализация воды 4,57 г/дм<sup>3</sup>, pH – 9,6. Вода прозрачная, видимость составляет до 1.5 м [3].

Всего было отобрано 44 пробы конденсационных вод, 7 проб поверхностных вод и 3 пробы подземных вод (рис. 1).



Рисунок 1 – Спутниковый снимок с местами отробования в районе озер В. и Н. Белое. Черными линиями выделены разломы

Отбор проб конденсационных вод проводился при помощи конденсатора паров воды над пористыми породами. Для отбора проб грунтовых вод бурились скважины с помощью передвижной буровой установки. Одновременно с отбором проб производился замер pH при помощи электронного цифрового микропроцессорного pH-метра. Анализ микроэлементного состава конденсационных, поверхностных и подземных вод выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 в Лимнологическом институте СО РАН.

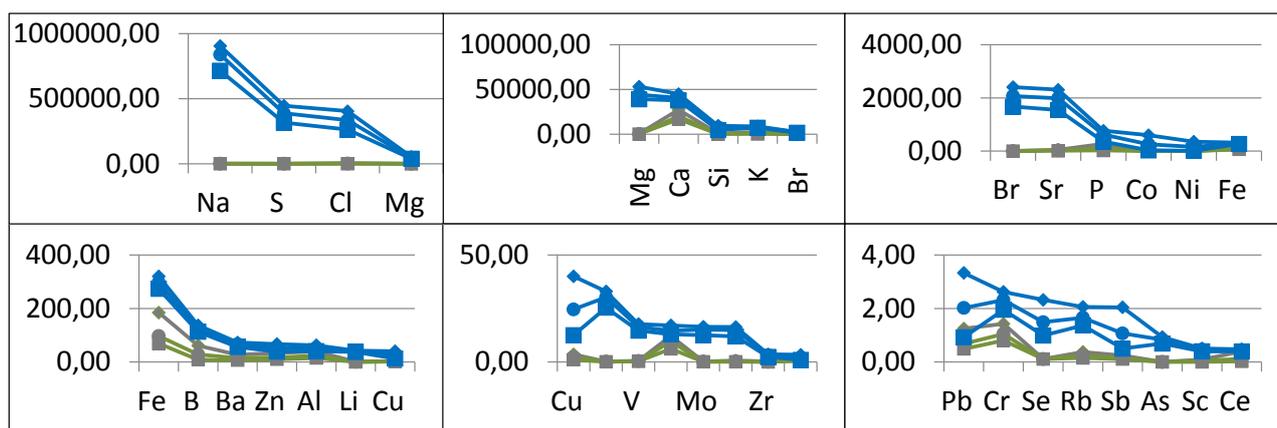


Рисунок 2 – Содержание микроэлементов в пробах конденсата в районе оз. Н. Белое, мкг/л.

Примечание: синим цветом выделены пробы, отобранные в зоне разломов; зеленым – за пределами разломов.

По результатам анализа проб конденсата установлено, что концентрация, практически, всех элементов в конденсационных водах, отобранных в пределах разлома значительно выше чем за пределами разлома (рис. 2).

Это может быть связано с разгрузкой трещинно-жильных вод по разломам привносящих в своем составе химические элементы. В районе оз. Н. Белое в катионном составе преобладает Na<sup>+</sup>. В районе озера В. Белое в конденсационных водах преобладает Ca<sup>+</sup>. Выявленные различия связаны с тем, что водосборная территория сложена разными геологическими образованиями. В озеро В. Белое разгружается ручей формирующий ресурсы в западной части Боргойской впадины. Здесь на химический состав

воды оказывают влияние кринаниты, в минералогическом составе которых содержится плагиоклаз. При гидролизе плагиоклаза в растворе накапливается кальций. В озеро Н. Белое разгружается река Боргой формирующая ресурсы в северной части впадины, где распространены трахиандезиты. В минералогическом составе трахиандезитов содержится нефелин. При гидролизе нефелина в растворе накапливается натрий.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».*

## Литература

1. Белов И.В. – Трахибазальтовая формация Прибайкалья. Моногр. Под. Ред. В.С. Соболева. ИЗК СО АН СССР. М., 1963.
2. Солотчина Э.П. и др. Реконструкция климата голоцена на основе карбонатной осадочной летописи малого соленого озера Верхнее Белое (Западное Забайкалье). Геология и геофизика. - 2012. - Т. 53, № 12. - С. 1756-1775.
3. Черниговский Р.С., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Газовый и микроэлементный состав потоков аэрозолей на содовом озере Нижнее Белое (Западное Забайкалье) // Подземная гидросфера: материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXIV Совещание по подземным водам востока Сибири и Дальнего Востока с международным участием). Екатеринбург, 2024. – С. 184-188.

## Современное состояние углекислых минеральных источников Витимского плоскогорья

ЧЕРНЯВСКИЙ М.К., ПЛЮСНИН А.М., УКРАИНЦЕВ А.В., ЧЕРЕДОВА Т.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н.Л. Дубрецова Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия, [mitchel@ginst.ru](mailto:mitchel@ginst.ru), [plyusnin@ginst.ru](mailto:plyusnin@ginst.ru), [ukraintsev@ginst.ru](mailto:ukraintsev@ginst.ru), [cheredova-tv@yandex.ru](mailto:cheredova-tv@yandex.ru)

Одной из наиболее интересных областей Бурятии с большим количеством минеральных источников является Витимское плоскогорье, включающее Еравнинскую котловину, которая занимает приподнятую (более чем на 900 м над ур. моря) часть крайнего юго-запада Витимского плоскогорья и расположена в области водораздела рек Витим (бассейн р. Лены) и Уда (бассейн оз. Байкал). В геологическом плане плоскогорье сложено породами фундамента, в основном гранитоидами, кристаллическими сланцами, гнейсами, карбонатами, эффузивами и кластическими горными породами; осадочный чехол представлен преимущественно терригенными и вулканогенно-терригенными отложениями с многочисленными внедрениями интрузивных тел. Среди генетических типов отложений верхних (четвертичных) горизонтов осадочной толщи, выполняющей котловину, доминирующими являются аллювиальные и озерно-аллювиальные осадки. [1]. Тектонический план территории формирует система разломов северо-восточного и северо-западного направлений [2]. Эти тектонические нарушения способствуют подъему на поверхность подземных вод различной минерализации, химического и газового состава. Согласно схеме районирования минеральных вод Бурятии данная территория относится к Даурской области холодных углекислых и радоновых воды вод [3].

Среди большого разнообразия природных лечебных холодных вод наиболее популярными и имеющими большое бальнеологическое значение являются углекислые трещинно-жильные воды, которые повсеместно используются людьми для внутреннего и наружного применения. К углекислым водам, применяемым в бальнеологических целях относятся воды с содержанием растворенной углекислоты не менее 0,5 г/л.

Углекислые минеральные воды используются при лечении заболеваний печени, почек, желудочно-кишечного тракта и др. Ванны из углекислой воды помогают при лечении неврологических

расстройств, проблем с костно-мышечной системой. В Бурятии углекислые источники встречаются на Витимском плоскогорье (Еравнинский и Баунтовский р-ны РБ) и в Восточном Саяне (Окинский, Тункинский р-ны РБ). Выходы углекислых вод связаны с открытыми глубинными разломами и вулканической деятельностью в недавнем геологическом прошлом, с выходами базальтовых лав. Углекислый газ может поступать из мантии по глубинным разломам, появляться при метаморфизме карбонатов и окислительном разложении веществ органического происхождения.

В пределах Витимского плоскогорья и Еравнинской котловины разгружается ряд низкодебитных углекислых источников: Погроминский, Хульский, Хурэтинский (Витлаус), Романовский, Шербахта. Это холодные минеральные источники с температурой 1,6–9°C, с сильногазированной водой с высоким содержанием углекислоты, гидрокарбонатные, с pH от 5 до 6,5. Источники находятся в труднодоступных местах и используются крайне ограничено только местными жителями. Все источники относятся к Еравнинско-Витимской гидроминеральной линии Витимского округа [4].

Описание и характеристики источников даны на основе полевых наблюдений и измерений в процессе полевых работ Гидрогеологического отряда ГИН СО РАН в 2017 и 2025 г.

Погроминский источник находится в 2 км севернее с. Комсомольское на надпойменной террасе р. Погромка (приток р. Уда). Погроминский источник представляет собой небольшой выход в заболоченных рыхлых отложениях. Родниковая воронка глубиной до 70 см, но в маловодные годы ее уровень может понижаться до 10–15 см; присутствуют нерегулярные выходы газа. Вода сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-натриевая. Температура воды 4,7–6,7°C, pH 6,0–6,1. Источник не каптирован, хотя и обнесен забором. Активно используется местными жителями для лечения желудочных заболеваний.

Хульский. Находится в северном отроге центральной части Худанского хребта на правом берегу ручья Барун-Хул. Основной выход с водой был каптирован срубом. Сейчас вода есть только в трех бессточных воронках (диаметром 30–40 см). Вода на вкус газированная, выходов газа нет. Температура в 1.6°C, pH 5,7. По сравнению с предыдущим обследованием в 2017 г. зафиксировано уменьшение дебита источника.

Хурэтинский (Витлаус). Находится между паадьми Хурэта и Безымянная в 6,5 км севернее оз. Витлаус на границе Еравнинского и Баунтовского районов. В настоящее время представляет собой небольшое озеро (яма диаметром 10–12 м) с минеральной очень мутной водой и колодец каптированный срубом. Есть несколько ванн, в которых раньше грели воду. Еще несколько лет назад в колодце (глубина около 2 м) и озерце активно выходил углекислый газ, вода и минеральная грязь источника активно использовалась местным населением для лечения. Бывали годы, когда в родниковой воронке не было воды, а наблюдалось выделение сухого газа. Температура в колодце 8,8°C, pH 5,04. В озерце 19,1°C, pH 5,6. Сейчас источник заброшен, выходов газа нет, дорога заброшена.

Источники, которые не смотря на наличие координат в GPS и известное местонахождение, не удалось обнаружить в августе 2025 г.

Шербахта. Был опробован в 2006 г. Приурочен к Кондо-Шербахтинскому слабоактивному разлому [5]. Был обнаружен один основной и несколько мелких выходов в каменистом русле ручья, редкие выходы газа, при высоком уровне затапливался. Температура 2°C, pH 7,6. В настоящее время выхода

вод на поверхность нет. Родниковая воронка сухая. Ручей в сухом русле отсутствует.

Романовский. Был опробован в 2017 г. Приурочен к слабоактивному разлому широтного простирания. Многочисленные мелкие выходы в заболоченной долине на правом берегу ручья Аршан, на участке около 200 м. Температура 10°C, pH 6,4. В 2025 г. из-за разлива ручья источник затопило, выходы не обнаружены. Хотя религиозная символика на деревьях (вязочки) являются верным признаком наличия источника в данной местности.

Закключение. Холодные минеральные источники Даурской гидроминеральной области могут использоваться как для лечения широкого круга заболеваний, так и для бутилированного разлива воды, но из-за своей труднодоступности и низкого дебита в настоящее время на территории Бурятии они практически не используются. В отличие от аналогичных источников Забайкальского края, где на базе источников существуют курорты, санатории и осуществляется розлив воды для нужд населения.

В отличие от термальных источников, где дебит и температуры практически не меняются, холодные минеральные источники более подвержены изменениям, что проявляется как в изменении дебита, так и в уменьшении потока углекислого газа контактирующего с водой.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».*

## Литература

1. Аутигенное карбонатообразование в озерах Еравнинской группы (Западное Забайкалье): Отклик на изменения климата голоцена // Э. П. Солотчина, Е. В. Скляров, П. А. Солотчин, Л. В. Замана, И. В. Даниленко, О. А. Склярова, П. Г. Татьков. Геология и геофизика, 2017, т. 58, № 11, с. 1749–1763
2. Плюсин А. М., Перязева Е. Г. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Еравнинской котловины // География и природные ресурсы, 2012, № 2, с. 67–74.
3. Борисенко И. М., Замана Л. В. Минеральные воды Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1978. – 162 с.
4. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Том 1. Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение. Под ред. Ткачук В. Г., Толстихина Н. И. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. – 346 с.
5. Лунина О. В. Разломы и сейсмически индуцированные геологические процессы на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях. Монография. Издательство СО РАН, Новосибирск, Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. – 226 с.

## Способ использования титаноносных габброидных интрузивов как комплексного железо-титано-ванадиево-алюминиевого сырья на примере Харловского массива в Алтайском крае

Л.И. ШАБАЛИН

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС). Россия, Новосибирск, [shabalinli@rambler.ru](mailto:shabalinli@rambler.ru)

Способ относится к технологии использования полезных ископаемых и в данном случае титаноносных габброидных интрузивов, содержащих в качестве полезных компонентов главные рудосодержащие минералы — ванадий и титаносодержащий титаномагнетит с тончайшими ильменитовыми вростками, свободный ильменит и высокоглиноземистый породообразующий плагиоклаз в суммарном количестве около 60–70% их объема и являющиеся поэтому в целом комплексным железо-титано-ванадиево-алюминиевым сырьем. Сущность технологии заключается в проведении процесса шихтования, т.е. перемешивания ископаемого сырья разных сортов или с разным содержанием ценного компонента для придания смеси определенных технологических свойств, благоприятствующих извлечению из них полностью всех полезных компонентов. В данном случае технологически осуществляется подшихтовка к титаномагнетиту, извлекаемому из габброидных интрузивов ильменита из россыпных титано-циркониевых месторождений с целью повышения титанистости этой шихты для последующего электро-металлургического передела с извлечением высокотитанистых шлаков для высокоэффективного получения титановых продуктов, ванадия и железа, а также подшихтовка плагиооклазового концентрата из титаноносных габброидных интрузивов к нефелиновым рудам при производстве глинозема из них с целью поддержания глиноземного производства на достаточно высокорентабельном уровне даже из некондиционных нефелиновых руд. При этом возможна также шихтовка титаномагнетитовых концентратов Харловского месторождения в Алтайском крае с магнетитовыми концентратами недалеко расположенных от него скарново-магнетитовых месторождений — Инского и Белорецкого с получением

при металлургическом переделе природно легированных ванадием сталей.

Причиной заинтересованности титаноносными габброидными интрузивами являются наличие в них огромных ресурсов вкрапленных рудных минералов, присутствие некоторых из них сравнительно недалеко от промышленных предприятий, которые могут их потреблять, истощение ресурсов сырья, на которых эти предприятия работают и поэтому необходимости привлечения новых видов сырья, которые делают производство рентабельным. Конкретно автором, предлагается обеспечить их железо-титано-ванадиево-алюминиевым сырьем заводы черной металлургии г. Новокузнецка и Ачинский глиноземный комбинат.

Крупнейшим титаноносным габброидным массивом, располагающимся сравнительно недалеко от этих комбинатов является Харловский массив с одноименным месторождением в Алтайском крае, представляющим собой расслоенное тело с чашеобразной внутренней структурой площадью 3 x 3 км объемом более 15 млрд т. рудной массы до глубины 500, что позволяет его считать потенциальным крупнейшим источником сырья более чем на столетие добычи. Почти третью часть его объема составляют бедновкрапленные собственно титаномагнетитовые руды. Его главными рудными минералами являются вкрапленные титан- и ванадийсодержащий титаномагнетит и свободный ильменит, а также основной высокоглиноземистый битовнитового состава плагиоклаз, входящий в состав массива и составляющий 25–45% его объема. Рудная вкрапленность постоянно встречается и за пределами рудных тел, хотя и в меньшем количестве. К подобному же типу относится не менее крупный Патынский габброидный титаноносный массив в Горной Шории. Поэтому за счет них сибирские металлургические заводы могут

быть обеспечены железо-титано-ванадиево-алюминиевым сырьем на длительную перспективу.

Ачинский глиноземный комбинат, перерабатывающий нефелиновые руды Кия-Шалтырского месторождения сейчас уже почти выработал все руды и только осталось в отвалах большое количество некондиционных нефелиновых руд, которые являются не рентабельными для переработки ввиду низкого содержания в них нефелинового сырья. Планируется для обеспечения комбината рудой введение в разработку Горячегогорского нефелинового месторождения. Но оно является более бедным по содержанию нефелина, чем кия-шалтырские руды, и здесь требуется обогащение нефелиновых руд, что существенно снизит экономические показатели по их использованию. Ачинский комбинат является единственным в Сибири производителем глинозема и единственным в мире предприятием, которое занимается комплексной переработкой нефелиновой руды.

Поэтому для решения этих проблем на действующих предприятиях мной предлагается способ использования титаноносных габброидных интрузивов, в данном случае Харловского, в качестве комплексного железо-титано-ванадиево-алюминиевого сырья. Этот способ может быть использован и на других предприятиях, где имеются соответствующие типы руд и условия для переработки.

Как показано на примере технологических проб и лабораторных исследований, из руд Харловского массива простой электро-магнитной сепарацией можно получать отдельно титаномагнетитовый концентрат, ильменитовый концентрат и плагиоклазовый концентрат и в отходах остаются только темноцветные силикатные минералы – оливин и клинопироксен, которые также можно использовать в качестве огнеупорного материала или в дорожном строительстве, так что сырье получается практически безотходным. Мной предлагается способ использования этих концентратов путем их шихтовки с концентратами других близлежащих месторождений.

Плагиоклазовый концентрат можно использовать на Ачинском глиноземном комбинате путем его шихтовки с нефелиновыми концентратами Кия-Шалтырского и Горячегогорского месторождений в определенной пропорции с ними для рентабельного производства глинозема. Положительным фактором его является наличие в нем большего на 6% чем в кия-шалтырских рудах количества глинозема, а также на 15% окиси кальция, необходимого в технологической переработке шихты, который в нее обычно добавляется в виде известняка, специально добываемого для этой цели. Может быть возможна самостоятельная переработка плагиоклазового концентрата, что доказано на примере успешных экспериментов с плагиоклазами анортозитовых массивов, в которых, однако, содержание глинозема меньше, чем в плагиоклазах титаноносных габброидов.

Титаномагнетитовый и ильменитовый концентраты харловских руд можно использовать путем селективного разделения их по отдельности или в коллективном концентрате. Ильменитовый концентрат пригоден непосредственно для получения как металлического титана, так и пигментного диоксида титана, так как является высокотитанистым и содержит минимальное количество вредных хромофорных примесей для получения высококачественного продукта. Титаномагнетитовый концентрат, хотя и содержит повышенное количество титана, но недостаточное для эффективной его переработки электрометаллургическим методом и не пригодно для доменного передела. Поэтому мной предлагается для повышения в нем содержания титана шихтовать его с ильменитовыми концентратами россыпных титано-циркониевых месторождений Западной Сибири, содержащих большое количество хромофорных примесей. В этом случае количество титана в них можно довести до таких содержаний, при которых возможна их рентабельная переработка в электрометаллургических печах, при которой производятся весьма высокотитанистые шлаки для получения из них металлического титана или его качественного диоксида, а также чугуна с извлечением из него ванадия.

## Новые находки палеогерпетофауны в местонахождении Засухино Прибайкальского района РБ

ЩЕПИНА Н.А.

Геологический институт им. Н.Л.Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия [natschepina@rambler.ru](mailto:natschepina@rambler.ru)

В долине р. Итанца в Прибайкальском районе И.Н.Резановым в 1966 г. было открыто местонахождение Засухино. Здесь у подножия хребта Улан-Бургасы прослеживаются разновозрастные образования конусов выноса и предгорных шлейфов. В результате подмыва основания конуса выноса, на этом участке реки образовалась своеобразная излучина-амфитеатр, уступ борта которой составляет 25–30 м. Иридий Николаевич описал в районе дер. Ключнево и Засухино новые разрезы и собрал большое количество ископаемых остатков фауны, в числе которых были зубы широколобого лося, лесного слона и саньмэньской лошади – типичных представителей эоплейстоценовой фауны.

Данное местонахождение в дальнейшем изучалось Д.Д.Базаровым, Э.А.Вангенгейм, М.А.Ербаевой, Н.П.Калмыковым, М.И.Дергаусовой, М.В.Сотниковой и др.

В 1968–1970 гг. была сделана палеонтологическая расчистка с целью сбора ископаемых остатков млекопитающих и выяснения строения нижних присклоновых горизонтов Засухинского разреза [1]. В 1969 и 1970 гг. авторами были произведены дополнительные исследования и сборы остатков фауны. Все это позволило выделить и описать в Итанцинской впадине новый опорный разрез.

Отложения поздне-плиоценового возраста в Западном Забайкалье достаточно хорошо изучены в Итанцинском опорном разрезе, представленном

серией частных разрезов: Ключнево I, Ключнево II, Засухино ископаемая фауна в этих отложениях, была выделена Э.А.Вангенгейм [2] в итанцинский фаунистический комплекс.

Геологический возраст комплекса был определен как эоплейстоцен [3].

В 2016 г. на разрезе Засухино сотрудниками лаборатории геологии кайнозоя ГИН СО РАН М.А.Ербаевой и О.Д.-Ц. Намзаловой был собран ископаемый материал по мелким млекопитающим и земноводным.

Костные остатки амфибий были переданы мне для определения. Всего проанализировано 132 костных остатка, определены мною, как *Stauchbufo raddei*.

В Западном Забайкалье выявлено доминирование монгольской жабы, типичными биотопами которой являются различные виды лугов, лесостепи, степи с песчаными каменистыми и аллювиальными почвами в Забайкалье и Монголии.

Местонахождение Засухино – политипный памятник, сочетающий признаки палеонтологического и стратиграфического типа. Относится к охраняемым памятникам Турунтаевской администрации. Утвержден решением Совета Министров Бурятской АССР № 378 от 2 декабря 1981 г. [4].

*Выражаю свою признательность и благодарность за предоставленные мне материалы главному научному сотруднику Геологического института СО РАН, д.б.н. М.А.Ербаевой, м.н.с. О.Д.-Ц. Намзаловой.*

### Литература

1. Базаров Д.Б., Ербаева М.А., Резанов И.Н. Геология и фауна опорных разрезов антропогена Западного Забайкалья. Москва: Изд-во «Наука», 1976 г. 148 с.
2. Равский Э.И., Александрова Л.П., Вангенгейм Э.А. и др. Антропогеновые отложения юга Восточной Сибири // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 105. М.: Наука, 1964. 278 с.
3. Алексеева Н.В. Эволюция природной среды Западного Забайкалья в позднем кайнозое (по данным фауны мелких млекопитающих). Москва: ГЕОС, 2005. 141 с.
4. [nature.i-bur.ru/»fauna-buryatia/zasukhinskij-razrez](http://nature.i-bur.ru/»fauna-buryatia/zasukhinskij-razrez).

## Типоморфизм жильного кварца как основа методологии прогноза месторождений определённых рудных формаций, оценки их масштабов и эрозионного среза

ЮРГЕНСОН Г. А.

ИПРЭК СО РАН, г. Чита, Россия, [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

Одной из важнейших проблем в изучении рудных месторождений было и остается разработка методов прогноза, поисков, оценки возможных масштабов оруденения, а также критериев их вертикальной зональности, так как она является основой для оценки уровня их эрозионного среза и, соответственно, прогноза оруденения на глубину. Одной из главных трудностей этого познания, зачастую является отсутствие фактического материала об изменчивости минерального состава и важнейших свойств минералов с глубиной.

Решение этой многоаспектной задачи, как показал многолетний опыт изучения жильного кварца рудных месторождений вполне возможно на основе изучения его типоморфизма.

К настоящему времени явление типоморфизма минералов, изучению которого посвящено множество работ, начиная с первых результатов изучения граната и других минералов метаморфических толщ в Альпах Ф. Бекке в 1903 г., пегматов А. Е. Ферсманом, золота Н. В. Петровской, общих вопросов типоморфизма минералов Н. П. Юшкиным и типоморфизма жильного кварца автором, разработано его самое общее определение. Оно сводится к тому, что типоморфизм — это *отражение пределов вариаций физико-химических характеристик минералообразующих систем в пределах вариаций характеристик состава, строения и других свойств соответствующих им минеральных тел.*

Для метрируемых признаков определение уточняется — это отражение пределов вариаций численных значений физико-химических характеристик минералообразующих систем в пределах вариаций численных значений характеристик состава, структуры и других

свойств соответствующих им минералов:

$$\lim V_{ТПМ} = f(\lim V_{ТРХмс}),$$

где  $V_{ТПМ}$  — вариация численных значений типоморфного признака минерального тела,

$V_{ТРХмс}$  — вариация численных значений температуры, давления, концентрации вещества и других

признаков минералообразующей системы. В конкретном случае предел вариации признака будет определяться не только пределами вариаций абсолютных значений Т, Р, Х, но и скоростями их изменения:

$$\lim V_{ТПМ} = f(\lim \Delta V_{ТРХмс}),$$

где:  $\Delta V_{ТРХмс}$  — скорость изменения физико-химических характеристик.

Явление типоморфизма можно использовать при изучении не только минеральных индивидов, но и их сообществ различных уровней организации.

Основой явления типоморфизма, как показал в 1977 г. Н. П. Юшкин, является минералогенетическая информация, поступающая в минерал, как в процессе его образования, так и последующего его существования. Но при отнесении его к определённому процессу возникает неопределённость. Поэтому необходимо среди *типичных* для данного процесса признаков (их может быть много) выделять и *отличительные*, которые отличаются данное явление (данный индивид минерального вида или совокупность таких индивидов) от всех других.

Существенными свойствами индивидов кварца, составляющих жильный кварц (ЖК), являются: объем элементарной ячейки, степень СКС; содержание и соотношение содержаний воды и углекислоты; структурные примеси (Fe, Al, Ge, Ga, Ti, Mn, W, Ta, Sn, P), компенсаторы зарядов при гетеровалентном изоморфизме (Na, Li, H, Au, Ag, Си и др.), неструктурные примеси (включения твёрдые и газожидкие, включения в дефект-каналах); теплоты и температуры  $\alpha \rightarrow \beta$  переходов; термлюминесцентные и электрические свойства, оптические спектры поглощения и пропускания (в том числе в ИК области), окраска, неоднородности строения индивидов. Но изучение индивидов кварца, особенно их химического состава, затруднено практически невозможностью получения чистых монофракций, а обычный микронзондовый анализ характеризуется определенными достаточно высокими пределами их

количественного определения, использование высокочувствительного метода лазерной абляции трудно использовать при решении производственных задач. Поэтому для решения задач рудноформационного анализа, прогноза и поисков месторождений, связанных с кварцем целесообразно использовать ЖК. Существенными свойствами его являются: размеры индивидов в агрегате, структуры и текстуры, характер ограничений индивидов в них и их ориентировка, тип субструктуры, соотношение концентраций воды и углекислоты, степень совершенства кристаллического строения (СКС), электрические и пьезоэлектрические свойства, содержания воды, азота, углекислоты и температуры максимумов их выхода при нагревании в вакууме.

Программа изучения жильного кварца с целью выявления его типоморфизма, включающего его типохимические и типифизические свойства для использования их в качестве признаков рудоносного кварца и критериев его принадлежности к определённым рудным формациям, а также прогноза вероятности связи с ним оруденения, оценки уровня эрозионного среза и масштабов прогнозируемых месторождений, была разработана ранее. Затем она по мере получения новых количественных данных о составе и свойствах ЖК месторождений важнейших рудных формаций, закономерностях их изменений, как в процессе формирования кварцевых жил, так и в их пространстве, совершенствовалась и к настоящему времени легла в основу методологии его познания и использования для научно-прикладных задач. В основу использования типоморфизма для решения научно-прикладных задач, связанных с типоморфизмом ЖК, положена концепция, заключающаяся в том, что рудоносный ЖК представляет собою продукт эволюции высококонцентрированных водо-силикатных растворов-расплавов, обогащенных летучими, щелочными и рудными элементами. Существенно кварцевые жильные тела образуются, в процессе эволюционной самоорганизации геохимически специализированной порции такой субстанции. Ритмично-слоистые жилы есть следствие возвратно-поступательной смены равновесий при прерывистом снижении температуры в МС вследствие квантованного выделения энергии.

Среди типоморфных признаков ЖК выделяются три группы: строения, состава (типохимизм) и физических свойств. Они определяются на разных уровнях организации ЖК – минеральных агрегатов и их структурированных сообществ (слои и зоны в кварцевых жилах, кварцевые жилы и иной формы кварцевые тела), минеральных индивидов (молекулярный уровень), элементарных ячеек (атомный уровень) и электронно-дырочных центров (ЭДЦ, электронный уровень). Группы признаков выделяются и рассматриваются с позиций: рудноформационной принадлежности кварцевых жил и тел; отношения внутри каждой формации к рудоносным или безрудным телам; изменчивости по вертикали с целью использования для оценки уровня эрозионного среза. Для этого используются данные о зональности минерального состава, химизма минералов, степени СКС, величин соотношений  $H_2O/CO_2$ . Величина степени СКС закономерно возрастает от ранних генераций к поздним, а также с глубиной в пределах отдельных жил, месторождений и рядов рудных формаций. Пределы вариации этой величины являются количественными критериями структурно-текстурных особенностей жильного кварца, глубины его образования и градиентов РТХ-характеристик МС. Соотношение концентраций воды и углекислоты в кварце связано гиперболической зависимостью с давлением в минералообразующих системах и является фундаментальным типоморфным признаком меры их открытости МС и глубины формирования кварцевых жил. Устойчивые пределы вариаций характеристик состава, структуры и физических свойств ЖК являются типоморфными признаками условий образования, зональности и рудоносности кварцевых жил.

Масштабы прогнозируемых месторождений оцениваются на основе использования индекса близости к эталону по формуле

$$I_{Бэ} = \frac{1}{m} \cdot \sum \left[ \frac{\bar{x}_o - \bar{x}_э}{\sigma_э} \right]^2$$

В ней  $I_{Бэ}$  – индекс близости к эталону;  $m$  – число учтённых признаков;  $\bar{x}_o$  и  $\bar{x}_э$  – среднее значение типоморфного признака оцениваемого объекта и эталона;  $\sigma_э$  – среднеквадратичное отклонение эталона.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Карбонатиты в железорудных месторождениях ангаро-илимского типа (Сибирская платформа)</b> А.А. Амиржанов .....	8
<b>Радиогеохимическая характеристика апосерпентинитового и аподоломитового нефрита</b> Антонов Н.Ю., Татьков И.Г.....	10
<b>Использование стабильных изотопов хлора (<math>\delta^{37}\text{Cl}</math>) и брома (<math>\delta^{81}\text{Br}</math>) при изучении засоления природных вод юго-востока Забайкалья</b> Борзенко С.В., Дребот В.В.....	12
<b>Предварительные результаты геолого-палеонтологических исследований четвертичных отложений, Окино-Ключевское угольное месторождение</b> Р.Ц. Будаев, Б.Д.-Ц. Намзалова, О.Д.-Ц. Намзалова, Н.А. Щепина .....	14
<b>Согласование палеогеодинамической, геохронологической и комплексной компьютерной моделей золотого оруденения на Таинском месторождении (Восточный Саян)</b> В.И. Васильев, Б.Б. Дамдинов, Е.В. Васильева .....	15
<b>Предварительный расчёт состава равновесного флюида в бериллиевых рудах Ермаковского месторождения</b> В.И. Васильев, Е.В. Васильева .....	18
<b>О рекультивации нарушенных земель на примере Республики Бурятия</b> Н.Г. Дмитриева .....	20
<b>О геосистеме территории разгрузки рудничных вод сульфидно-вольфрамового месторождения (Западное Забайкалье)</b> Дорошкевич С.Г., Бардамова И.В., Чередова Т.В.....	22
<b>Новые данные по биостратиграфии и природной среде позднего кайнозоя Западного Забайкалья (по мелким млекопитающим)</b> М.А.Ербаева, А.А. Щетников, И.А. Филинов, Н.В. Алексеева, Ф.И. Хензыхенова, О.Д.-Ц. Намзалова .....	24
<b>Свидетельства глубинного импактогенеза в ультраосновных щелочных лампрофирах карбонатитовых комплексов Белая зима и Томтор</b> С.М. Жмодик, Е.В. Айриянц, И.В. Ащепков, Д.К. Белянин, О.Н. Киселева, Е.В. Лазарева .....	26
<b>Гидрохимия карьера Ермаковского флюорит-бериллиевого месторождения</b> Л.В. Замана, В.А. Абрамова, Чечель Л.П. ....	28
<b>Методика нейросетевого картирования металлотектов по комплексу геофизических данных на базе априорного физико-геологического моделирования</b> Карамышев А.В.....	31
<b>Апосерпентинитовый нефрит Оспинского месторождения</b> Е.В. Кислов .....	34
<b>Применение методики фракционирования форм элементов из донных отложений озера Хилганта (Восточное Забайкалье)</b> И.А. Комогорцева, С.В. Борзенко .....	36
<b>Экспериментальное моделирование рудных парагенезисов на примере Озерного полиметаллического месторождения</b> А.Р. Котельников, Н.И. Сук, Б.Б. Дамдинов, Л.Б. Дамдинова.....	38
<b>Флюорит-бастнезитовые карбонатиты Улан-Удэнского редкоземельного проявления (Западное Забайкалье)</b> Е.И. Ласточкин, М.О. Рампилов, М.В. Рампилова .....	40
<b>Минералого-геохимические особенности пород рудовмещающих малосульфидный тип Pt-Pd-Cu-Ni оруденения мафит-ультрамафитового массива Дюкали (Хабаровский край)</b> Б.Б. Левочкин, Т.Ю. Якич, В.Е. Кириллов.....	42

<b>Мезопротерозойский пикрит-пикробазальтовый вулканизм Енисейского кряжа</b> Лиханов И.И., Козлов П.С., Ножкин А.Д., Ронкин Ю.Л. ....	44
<b>Формы миграции и накопления скандия и иттрия в реке, подверженной воздействию кислых изливов угольных шахт</b> ..... Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик, О.А. Березина, А.Д. Деменев, А.А. Мизёв5.....	46
<b>Новый взгляд на процессы нефритобразования</b> А.С. Мехоношин, В.А. Шутов, Т.Б. Колотилина .....	48
<b>Техногенез и процессы самоочищения подземных вод (на примере Нижнекамской нефтеперерабатывающей промзоны)</b> Р.Х. Мусин .....	50
<b>Новое местонахождение ископаемой фауны Вознесеновка</b> Б.Д.-Ц. Намзалова, О.Д.-Ц. Намзалова .....	52
<b>Палеоэкологическая характеристика позднеплейстоцен-голоценовых сообществ мелких млекопитающих местонахождения Колобки (Западное Забайкалье)</b> О.Д.-Ц. Намзалова .....	53
<b>Характер кристаллизации редкоземельной минерализации месторождения Южный Иргиз (Центральный Казахстан)</b> А.Н. Николаева .....	54
<b>Редкоземельные элементы в раннеархейских гнейсах в южной части Енисейского кряжа</b> А.Ю. Озерский .....	56
<b>Проявление «Никелевый ручей» Волчьетундровской габбро-анортозитовой интрузии (главный хребет, Кольский полуостров)</b> Д.А Орсоев, Т.А. Веливецкая, Е.А. Хромова, В.В. Чашин, С.В. Высоцкий.....	58
<b>Применение эколого-геохимических методов в исследовании динамики экзогенных процессов</b> Пеллинен В.А., Черкашина Т.Ю., Светлаков А.А., Рюмин М.Б.....	60
<b>Предпосылки подтопления восточного побережья Байкала</b> А.М. Плюснин, А.Д. Базаров, А.В. Украинцев, М.К. Чернявский, Р.С. Черниговский, Е.Г. Перязева.....	62
<b>Органические соединения в углекислых минеральных водах Шмаковки (Приморский край)</b> В.А. Потурай.....	64
<b>Ископаемые клетки водорослей как показатель гидрологического режима озерной экосистемы в прошлом</b> Решетова С.А., Матюгина Е.Б.....	66
<b>Об извлечении ценных компонентов из отходов переработки вольфрамовых руд водной экстракцией</b> С. С. Санжанова, Д. И. Жамбалова, А. М. Плюснин .....	68
<b>Экспериментальное исследование растворимости вольфрамита в алюмосиликатных расплавах</b> Н.И. Сук, А.Р. Котельников .....	70
<b>Экспериментальное исследование растворимости сфалерита в алюмосиликатных расплавах</b> Н.И. Сук, А.Р. Котельников .....	72
<b>Особенности применения приемников при картировании подземных коммуникаций малоглубинными геофизическими методами в условиях городской застройки</b> .....	74
<b>Структурно-геофизическое строение Окино-Ключевской мезозой-кайнозойской впадины</b> .....	75
<b>Петрохимический состав пород Кивельевского концентрически-зонального ультрамафит-мафитового массива, Северное Прибайкалье</b> А.В. Трофимов., Е.В. Кислов, Вантеев В.В.....	77
<b>Оценка сейсмической опасности территории Бурятии методами инженерной сейсмологии</b> Ц.А. Тубанов, Е.И. Герман, П.А. Предеин, Д.П.-Д. Санжиева .....	79

<b>Fe-Ti оксиды как показатель условий формирования пород Ошурковского массива (Западное Забайкалье)</b> В.А. Тюгашев, М.О. Рампилов, Е.А. Хромова.....	80
<b>Химический состав и растворенное органическое вещество минеральных вод курорта Ямаровка</b> А.В. Украинцев, М.К. Чернявский .....	82
<b>Новые данные о составе органического вещества минерального озера Барун-Шивертуй (Восточное Забайкалье)</b> И.А. Фёдоров, С.В. Борзенко .....	84
<b>Экологические риски загрязнения донных отложений р. Модонкуль, юго-западное Забайкалье</b> З. И. Хажеева .....	86
<b>Environmental risks of pollution of bottom sediments of the Modonkul river, Transbaikalia</b> Z. I. Khazheeva .....	86
<b>Новые данные по микротериофауне разреза Игетей (Предбайкалье)</b> Хензыхенова Ф.И., Намзалова О. Д.-Ц., Щетников А.А., Филинов И.А. ....	88
<b>Распределение фтора и хлора в системе биотит – расплав редкометального гранита; экспериментальные исследования</b> В.Ю. Чевычелов, А.А. Вирюс .....	89
<b>О фугитивности кислорода (fo<sub>2</sub>) в экспериментах на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (газовая бомба, IHPV) в водонасыщенных условиях</b> В.Ю. Чевычелов .....	91
<b>Фитотоксичность почв/грунтов на площадке снегонакопления г. Улан-Удэ</b> Т.В. Чередова, Р.П. Фелелов .....	93
<b>Наледь в долине р. Большая Шибирка как репрезентативный участок изучения наледных процессов в Селенгинском среднегорье</b> В.Н. Черных .....	96
<b>Макро- и микроэлементный состав потоков аэрозолей в районе содовых озер Верхнее и Нижнее Белое (Западное Забайкалье)</b> Р.С. Черниговский, А.М. Плюснин .....	98
<b>Современное состояние углекислых минеральных источников Витимского плоскогорья</b> Чернявский М.К., Плюснин А.М., Украинцев А.В., Чередова Т.В. ....	100
<b>Способ использования титаноносных габброидных интрузивов как комплексного железо-титано-ванадиево-алюминиевого сырья на примере Харловского массива в Алтайском крае</b> Л.И. Шабалин.....	102
<b>Новые находки палеогерпетофауны в местонахождении Засухино Прибайкальского района РБ</b> Щепина Н.А. ....	104
<b>Типоморфизм жильного кварца как основа методологии прогноза месторождений определённых рудных формаций, оценки их масштабов и эрозионного среза</b> Юргенсон Г.А. ....	105

# **ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Материалы Всероссийской научно-практической конференции,  
посвященной юбилеям директоров ГИН СО РАН  
Э.Г. Конникова и А.Г. Миронова