

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Российская академия наук  
Отделение наук о Земле**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции  
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского  
(ГЕОХИ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт экспериментальной минералогии им. Д.С.Коржинского  
(ИЭМ РАН)

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**ВСЕРОССИЙСКОГО  
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА  
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ  
И ГЕОХИМИИ**

**(ВЕСЭМПГ-2026)**

**Москва, 14-15 апреля 2026 г.**



## Председатели семинара

дгмн Олег Александрович Луканин  
дгмн, проф. РАН  
Олег Геннадьевич Сафонов

(ГЕОХИ РАН)

(ИЭМ РАН, МГУ)

## Оргкомитет

дгмн, проф. Алексей Алексеевич Арискин  
дгмн, проф. Андрей Викторович Бобров  
дгмн Алексей Рэдович Котельников  
чл.-корр. Олег Львович Кусков  
дхн, проф. Евгений Григорьевич Осадчий  
чл.-корр. Юрий Николаевич Пальянов  
кхн Андрей Валентинович Плясунов  
чл.-корр. Юрий Борисович Шаповалов  
чл.-корр. Антон Фарисович Шацкий  
кгмн Олег Иванович Яковлев

(МГУ, ГЕОХИРАН)

(МГУ, ГЕОХИРАН, ИЭМРАН)

(ИЭМ РАН)

(ГЕОХИ РАН)

(ИЭМ РАН)

(ИГМ СО РАН)

(ГЕОХИ РАН)

(ИЭМ РАН)

(ГЕОХИ РАН)

(ГЕОХИ РАН)

## Секретари:

кхн Елена Владимировна Жаркова  
Екатерина Леонидовна Тихомирова

(ГЕОХИ РАН)

(ИЭМ РАН)

**О МЕТОДИКЕ СИНТЕЗА ГОМОГЕННЫХ СУЛЬФИДНЫХ СТАНДАРТОВ**

**Абрамова В.Д. (ИГЕМ), Бахадур А.М. (КазНУ, ЦВХМА),**

**Климов А.О., Кох К.А. (ИГМ СО РАН)**

[yabramova@igem.ru](mailto:yabramova@igem.ru); тел.: 8 (926) 337 00 12

*Работа выполнена при поддержке РФФ № 25-23-00155*

Основное внимание в работе уделено оценке микро-гомогенности образцов синтетических сульфидов методом ЛА-ИСП-МС в зависимости от двух факторов: проведения гомогенизирующего отжига и начальной концентрации примесей.

Установлено, что отжиг является критическим условием достижения приемлемой гомогенности независимо от концентрации примесей. В предыдущих исследованиях показано, что при высоких концентрациях (100 ppm) наблюдаются гетерогенные участки, обогащенные Pd, Sb, Os, Ir, Pt, Au, Pb и Bi, тогда как образец с концентрацией 50 ppm характеризуется более высокой гомогенностью состава. В данной работе дополнительно исследованы образцы с концентрацией примесей ~1 ppm. Разработанные стандарты апробированы на природных сульфидных образцах (пирротин, халькопирит, пирит).

МИКРОБНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ГЛУБИННЫХ ХРАНИЛИЩ РАО

**Абрамова Е.С. (ИФХЭ РАН), Сафонов А.В. (ГЕОХИ РАН)**

[gorchicta246@mail.ru](mailto:gorchicta246@mail.ru); тел.: 8 (977) 460 15 87

Для прогноза долговременной коэволюции инженерных и геологических барьерных систем в концепции глубинных захоронений радиоактивных отходов требуется учет многих факторов, одним из которых является микробиологический. В данной работе представлена комплексная оценка микробиологического преобразования горных пород с площадки будущего подземного хранилища радиоактивных отходов «Енисейский» (г. Железногорск Красноярского края). Был проведен анализ изменения минерального, элементного состава образцов кернов гранитоидного массива, отобранных с глубины 450 м, а также комплексная оценка состава микробных сообществ для выявления микроорганизмов, участвующих в этих процессах. В составе микробных сообществ выявлены микроорганизмы, способные вызывать процессы способные повлиять на целостность инженерных барьеров безопасности, включая коррозию стали, газообразование, деструкцию цементных материалов. Оценка стимулирования микробной активности водами горного массива, продуктами радиолиза воды, продуктами коррозии стали, компонентами выщелачивания цементов, глин и стекол показала, что микробные процессы могут заметно интенсифицироваться по мере физико-химической процессов деградации инженерных барьеров и играть важную роль в их дальнейших биогеохимических преобразованиях. Изучен вклад микробных процессов в поведение радионуклидов в контакте с горными породами.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МИКРОВОЛНОВОГО СПЕКАНИЯ НА ОБРАЗЦАХ ИМИТАТОРА  
ЛУННОГО ГРУНТА**

**Агапкин И.А., Сорокин Е.М., Рязанцев К.М., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)**

[agapkin@geokhi.ru](mailto:agapkin@geokhi.ru); тел: 8 (909) 994 98 23

*Работа выполнена по теме государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)*

Современная стратегия освоения Луны предполагает использование ресурсов на месте (In-Situ Resource Utilization, ISRU). В этом контексте особый интерес представляют аддитивные технологии, позволяющие создавать элементы лунной инфраструктуры непосредственно из лунного реголита. В число наиболее перспективных методов входит микроволновое спекание, основными достоинствами которого является формирование элементов инфраструктуры без использования сторонних связующих, относительно низкое энергопотребление и способность к объемному нагреву исходного материала.

В представленном исследовании изложены результаты первой фазы экспериментальной работы по микроволновому спеканию образцов, изготовленных из аналога лунного грунта VI-LH1. В качестве исходного материала был использован измельченный лабрадорит, чей химический и минералогический состав близок к районам лунных материков. Установлено, что 15 минут спекания в бытовой микроволновой печи при мощности 800 Ватт с использованием формы из керамического волокна со слоем SiC хватает, чтобы полностью расплавить 10 грамм аналога лунного реголита материкового состава. При этом 12 минут достаточно, чтобы достичь полного спекания образца.

ПРИМИТИВНЫЕ МАГМЫ МОНЧЕГОРСКОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА: ОЦЕНКИ ПО МЕТОДУ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Арискин А.А. Еремин Д.Д. (МГУ, ГЕОХИ РАН), Пшеницын И.В.,  
Соболев С.Н. (ГЕОХИ РАН)

[ariskin@rambler.ru](mailto:ariskin@rambler.ru); +7(495)939-49-69

*Выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 25-27-00475)*

В Мончегорском расслоенном плутоне (Мурманская область, Россия) и сопутствующих телах широко распространены дуниты, гарцбургиты, ортопироксениты и оливиновые габбронориты, геохимическое подобие и близкий возраст которых согласуются с мантийной природой исходных высокомагнезиальных магм на рубеже Неоархея и Палеопротерозоя. Для ультрамафитов, вскрытых структурно-разведочными скважинами М-1 и М-20, при помощи программы КОМАГМАТ-5.3 смоделирована равновесная кристаллизация до близких к солидусным температур. Расчеты проводились при  $P=1$  кбар, условиях буфера WM, с шагом 0.1%. Линии эволюции состава расплавов отвечают последовательности  $Sr+Ol \rightarrow Sr+Ol+Orx \rightarrow Sr+Ol+Orx \pm Pl \pm Crx \pm \text{сульфид}$ . Сравнение и поиск точек пересечения этих модельных траекторий показало, что в случае тела ультрамафитов из скв. М-1 сигнал высокотемпературных расплавов “записан” в составах нижних плагиогарцбургитов:  $\sim 1350^\circ\text{C}$ , около 15 мас.% MgO в расплаве,  $Sr+Ol(\sim Fo_{90.5})$ . Верхняя часть этого тела более дифференцирована – вплоть до прикровельных меланоноритов, кристаллизовавшихся из менее магнезиальной субстанции с температурой около  $1230^\circ\text{C}$ . Расчеты для пород из скв. М-20 указывают на более кремнекислотную магматическую систему высокой магнезиальности, причем, наиболее высокотемпературную магму можно предполагать для Дунитового блока, породы которого кристаллизовались из расплава, содержащего  $\sim 19$  мас.% MgO в равновесии с оливином  $Fo_{92}$  при температуре  $\sim 1435^\circ\text{C}$ . Тот факт, что средневзвешенный состав зоны переслаивания плагиогарцбургитов и ортопироксенитов (ниже линзы дунитов) попадает на ту же конноду “Расплав ( $1435^\circ\text{C}$ ) – оливин ( $Fo_{92}$ )”, можно рассматривать как свидетельство генетического родства всех ультрамафитов из скв. М-20, вероятно имеющих источником один и тот же магматический резервуар.

ЧИСЛЕННОЕ И ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ С  
МИКРОБНЫМИ МЕТАБОЛИТАМИ

**Артемьев Г.Д., Мироненко М.В., Сафонов А.В. (ГЕОХИ РАН)**

[artemyev@geokhi.ru](mailto:artemyev@geokhi.ru); тел.: +7 (985) 463 21 96

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Использование глин в качестве материала инженерных барьеров безопасности на предприятии ЯТЦ предполагает их контакт с загрязняющими компонентами, а также с микроорганизмами. Микробная активность способна приводить к значительным изменениям глинистых минералов вплоть до их разрушения. Этот процесс может происходить как за счет микробных процессов, так и в результате воздействия микробных метаболитов, способных разрушать структурную решетку глины за счет образования устойчивых в водном растворе комплексов с  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ .

Целью работы была экспериментальное и численное моделирование взаимодействия микробных метаболитов (оксалата, сукцината и формиата) с глинистыми материалами. Проведен эксперимент по контакту растворов щавелевой, янтарной и муравьиной кислот в концентрации 1 г/л с навесками глин в течении месяца. Осуществлен литературный поиск значений констант устойчивости комплексов  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  с анионами органических кислот, проведено равновесное и равновесно-кинетическое моделирование преобразования глин.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА РУДНЫХ КОМПОНЕНТОВ (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb) ВОДОЙ И ОБРАЗОВАНИЕ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

**Ахмеджанова Г.М., Котельников А.Р., Сук Н.И. (ИЭМ РАН)**

[kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru); тел. +7 (916) 206 60 16

*Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0003*

Проведено экспериментальное моделирование переноса Fe, Ni, Cu, Zn, Pb в воде и водных растворах  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{KCl}$  в термоградиентных условиях при температуре  $70 \pm 20^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ ) при атмосферном давлении. В качестве исходного материала использовали имитацию гранита (смесь Qz + Fsp) с добавлением рудных минералов: пентландита  $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ ; халькопирита  $\text{CuFeS}_2$ ; сфалерита  $\text{ZnS}$ ; галенита  $\text{PbS}$ . опыты проводили в стеклянных цилиндрах объемом 150 мл. В нижнюю часть цилиндра загружали гранитную смесь (масса ~ 10 г) с добавлением рудных минералов (масса ~ 3 г). В средней части располагали сетчатый контейнер с речным песком (10 г), в верхней части подвешивали полупогруженный контейнер с почвой (супесь) массой около 6 г. В цилиндр заливали воду (или 0.1M растворы  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{KCl}$ ). Нижнюю часть цилиндра разогревали на песчаной (или водяной) бане до  $70^\circ\text{C}$ . Продолжительность опытов составляла 40-45 суток. После опытов определяли состав растворов. Твердые продукты опытов (почву) промывали 200 мл дистиллированной воды и количественно анализировали состав фильтрата на содержание Na, K, Mg, Ca, Fe, Ni, Zn, Cu, Pb. Твердые продукты опытов анализировали микронзондовым и рентгеновским анализом. Показано образование вторичных ореолов рассеяния рудных элементов и их дифференциальная подвижность при термоградиентном переносе в водных растворах.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ТОНКОЗЕРНИСТОЙ БРЕКЧИИ МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА КАРЛА  
(ТАТАРСТАН)

**Бадюков Д.Д., Безаева Н.С. (ГЕОХИ), Кузина Д.М. (КФУ), Рязанцев К.М. (ГЕОХИ),  
Гатгачека Ж. (CEREGE)**

[badyukov@geokhi.ru](mailto:badyukov@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 939 70 53

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Ударно-взрывной кратер Карла близ г. Буинска, Татарстан, диаметром 10 км, образован в толще глинисто-карбонатных пород. Среди импактитов впервые обнаружены ранее не отмечавшиеся в кратерах импактиты, представленные тонкозернистой брекчией (ТЗБ) с матрицей, сложенной микрокристаллами кальцита. Геологическое положение ТЗБ указывает на ее образование в результате осаждение материала из ударно-взрывного плюма на стадии модификации кратера. Несмотря на присутствие в мишени доломитов, матрица ТЗБ сложена исключительно низкомагнезиальным кальцитом. Нами предлагаются три механизма образования матрицы. 1) Реакция дегазации известняков вследствие высоких остаточных температур и обратная реакция  $\text{CaO}$  с выделившимся  $\text{CO}_2$ . 2) Метастабильное плавление  $\text{CaCO}_3$  в волне разгрузки или после нее и разбрызгивание расплава из-за его частичной дегазации с последующей кристаллизацией микронных капелек. 3) Испарение  $\text{CaCO}_3$  при разгрузке и конденсация пара с образованием кристаллитов кальцита.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ВЕЩЕСТВА ГЕОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ

**Базилевский А.Т. (ГЕОХИ РАН), Хэд Д.У. (Университет Брауна, США)**

[atbas@geokhi.ru](mailto:atbas@geokhi.ru);

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

В нашей работе показано, что материал поверхности в местах посадки Венеры 8, 9, 10, 13, 14 и Веги 1 и 2 может представлять собой не вещество находящихся в этих местах геолого-морфологических подразделений, выявленных при анализе радарных изображений, а выбросы из ударных кратеров, находящиеся в других местах. Это может быть мелкозернистый, осажденный из атмосферы материал выбросов, образующий так называемые радиотёмные параболы. Последние, вероятно, образуются в связи со всеми ударными кратерами диаметром более 11 км. При планировании будущих миссий, имеющих целью измерение состава местных коренных пород, надо избегать посадки в пределах наблюдаемых и модельных радиотёмных парабол. В этом должна помочь представленная карта парабол, наложенная на геологическую карту. А для верности опробования местных коренных пород надо бурить на глубину нескольких метров.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ВОД НА ВОДОСБОРЕ ОЗ.  
ГУСИНОЕ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

**Баранов Д.Ю. (ГЕОХИ РАН)**

[mitya.baranov.90@bk.ru](mailto:mitya.baranov.90@bk.ru); тел.: 8 (963) 632 47 99

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

В статье представлены результаты геоэкологического мониторинга атмосферных осадков и почвенных растворов на территории фонового участка Валдайской возвышенности. Исследовано влияние крон деревьев и водно-температурного режима на формирование состава атмосферных осадков и типа элементарных ландшафтов на состав почвенных растворов. Определено основное направление поступления воздушных потоков и выявлен вклад трансграничного переноса в формирование микроэлементного состава атмосферных осадков. Проведена оценка влияния глинистых минералов подзолистых почв на активность миграции микроэлементов и их преобладающих форм в почвенных растворах с использованием программы PHREEQC. Для K, Mg, NH<sub>4</sub>, Al, Fe, Mn, Cu, Zn выявлены статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) рядов данных свободных осадков, подкороновых и почвенных вод согласно непараметрическому t-критерию Вилкоксона.

## ОБЪЯСНЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СОБЫТИЙ ПРОТЕРОЗОЯ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ

**Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН)**

[azary@mail.ru](mailto:azary@mail.ru); тел: 8(499) 135 54 67

С использованием галактической модели объяснен ряд важных геологических событий в начале и в конце протерозоя, получивших собственные названия. В начале протерозоя это: «Великое кислородное событие», состоящее в образовании на Земле кислородной атмосферы, «Событие Ломагунди-Ятули» – возникновение и быстрое вымирание франсвильской биоты, и первое глобальное оледенение – «Гуронская ледниковая эра». В конце протерозоя такими событиями являлись: аналогичная Гуронской эре «Африканская ледниковая эра», с которой связывают период «Snowball Earth» и возникновение в венде эдиакарской фауны. Тогда как в среднем протерозое геологическая активность Земли оставалась низка, и он получил название «Скучный миллиард» и «Великая ледниковая пауза». Галактическая модель показывает, что указанные события на границах протерозоя с археем и фанерозоем были вызваны мощными бомбардировками Земли галактическими кометами в спиральном рукаве Scut-Scutum. В эти времена кометы бомбардировали южную полусферу Земли, формируя здесь суперконтиненты, на которых возникали глобальные оледенения. С кометами на нашу планету также поступали большие количества воды и питательных веществ, способствовавшие развитию биоты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Ca,Mg,Fe-КАРБОНАТОВ С МЕТАНОВО-ВОДОРОДНЫМ ФЛЮИДОМ ПРИ МАНТИЙНЫХ P-T ПАРАМЕТРАХ

**Баталева Ю.В., Пальянов Ю.Н., Втюрин Т.Я., Новоселов И.Д. (ИГМ СО РАН)**

[bataleva@igm.nsc.ru](mailto:bataleva@igm.nsc.ru); тел.: +7 (913) 986 49 71

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00032,*

<https://rscf.ru/project/24-17-00032>

Экспериментальные исследования, направленные на моделирование кристаллизации алмаза при взаимодействиях Ca,Mg,Fe-карбонатов с метаново-водородным флюидом, реализующихся при субдукции окисленного слэба в восстановленную мантию, проведены в системах с магнезитом, доломитом, анкеритом и сидеритом на беспрессовом аппарате высокого давления «БАРС» (6,3 ГПа, 1500 °С, 40 ч.). Источником ультра-восстановленного флюида в экспериментах являлся антрацен ( $C_{14}H_{10} \rightarrow 12C + 2CH_4 + H_2$ ). Установлено, что в результате взаимодействия карбонатов с метаново-водородным флюидом происходит генерация водосодержащих карбонатных или карбонатно-оксидных расплавов, являющихся средой кристаллизации алмаза и метастабильного графита. На гранях {111} затравочных кристаллов алмаза преобладающими элементами рельефа являются треугольные слои роста или вицинали (толщина выросшего слоя 5-7 мкм), а на гранях {100} формируется ячеистая или шагренева поверхность (толщина выросшего слоя >20 мкм); наименьшая скорость роста алмаза зафиксирована в системе магнезит-антрацен, а наибольшая – в системе сидерит-антрацен. Таким образом, установлена принципиальная возможность кристаллизации алмаза и метастабильного графита в водосодержащих карбонатных расплавах, формирующихся при взаимодействии Ca,Mg,Fe-карбонатов с метаново-водородным флюидом, а также выявлены основные характеристики полученных углеродных фаз.

СИНТЕЗ ВОДОСОДЕРЖАЩЕГО КИАНИТА: ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ 3–6 ГПА

Бенделиани А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН),  
Лиу С., Бао С. (Пекинский университет)

[a.bendeliani@outlook.com](mailto:a.bendeliani@outlook.com);

*Работа выполнена по госбюджетной теме «Режимы петрогенеза внутренних геосфер Земли» геол. ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова*

Проведен синтез водосодержащего кианита с использованием установки высокого давления Large-Volume-Cubic-Туре в системе  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  при 3, 4, 5 и 6 ГПа и температуре 1400°C (выдержка – 48 часов). Фазовые ассоциации продуктов опытов представлены кианитом, корундом, флюидом и стеклом ( $87\pm 2$  мас.%  $SiO_2$ ,  $13\pm 2$  мас.%  $Al_2O_3$ ). Для определения концентраций  $H_2O$  в синтезированных кристаллах кианита, проведено исследование инфракрасных неполяризованных спектров поглощения при комнатных  $PT$  параметрах. ИК полосы зафиксированы в диапазоне 3660 и  $3370\text{ см}^{-1}$ . Выявлено увеличение концентраций  $H_2O$  в кианите с ростом давления: 3 ГПа –  $395\pm 58$ , 4 ГПа –  $518\pm 73$ , 5 ГПа –  $590\pm 69$ , 6 ГПа –  $657\pm 50$  ppm  $H_2O$ . Полученные результаты устанавливают верхние пределы содержания воды в кианите при заданных  $PT$  параметрах. Это позволяет рассматривать кианит в качестве минерала, способного наряду с гранатом (до 1735 ppm) и омфацитом (до 3020 ppm) отвечать за водный транспорт на мантийные глубины в зонах субдукции.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГМ МОНОГЕННОГО КОНУСА Г. ШЛАКОВОЙ (МАЛКО-ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ ЗОНА ПОПЕРЕЧНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ)

Бергаль-Кувикас О.В. (ИВУС ДВО РАН, КамГУ), Чугаев А.В., Ларионова Ю.О., Ковальчук Е.В. (ИГЕМ РАН), Окина О.И. (ГИН РАН)

[kuvikas@mail.ru](mailto:kuvikas@mail.ru); тел.: 8 (984) 165 78 16

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00049-П,*

<https://rscf.ru/project/21-17-00049-П/>

С целью изучения изотопно-геохимических характеристик материнских расплавов голоценового моногенного вулканизма Южной Камчатки исследованы продукты вулканической деятельности г. Шлаковая. Опробованы породы, принадлежащие к разным стадиям формирования шлакового конуса и лавовых потоков. Вулканисты ранней стадии обладают относительно низким содержанием MgO и высоким содержанием Sr, по сравнению с поздними. Распределение редких элементов указывают на разную степень частичного плавления источника в процессе генерации магм на разных стадиях. Изотопный состав Sr коррелирует с положением отбора проб и стадиями формирования моногенного конуса: ранние более дифференцированные магматические расплавы, сформировавшие шлаки, обладают  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.703285\text{--}0.703362$ , тогда как поздние более примитивные породы —  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.703200\text{--}0.703218$ . Полученные результаты указывают на сложную эволюцию исходных базальтовых магм на верхнекоровом уровне. Фракционная кристаллизация не объясняет особенности вариаций геохимического состава пород и их изотопных характеристик, что указывает на участие нескольких источников вещества в их петрогенезисе.

**ФАКТОРЫ СНИЖЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО АНАЛОГА МАЛАХИТА В СРАВНЕНИИ С ПРИРОДНЫМ МИНЕРАЛОМ**

**Бубликова Т.М., Сеткова Т.В., Некрасов А.Н., Балицкий В.С. (ИЭМ РАН)**

[tmb@iem.ac.ru](mailto:tmb@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 47

*Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН 2022-0002*

В результате многочисленных исследований синтетического малахита было показано, что по структуре и физико-химическим характеристикам он практически полностью соответствует природному минералу. Однако исследование показателей плотности методами гидростатического взвешивания и по методу Василенко, выявили значимое расхождение: плотность синтетического малахита на 7–16% меньше плотности природного минерала. Для определения причин пониженной плотности синтетического аналога проведено сравнительное рентгено-томографическое исследование образцов природного малахита и синтетического, полученного по методу ИЭМ РАН. Предварительно все образцы были охарактеризованы методами рентгенофазового и рентгеноспектрального микроанализа. Отобранные для изучения образцы не имели пустот и трещин размером более 50 мкм. В результате исследований установлено, что суммарный объем микропор в образцах синтетического малахита существенно превышает объем в образцах природного малахита. Таким образом, более высокая пористость является основным фактором пониженной плотности синтетического малахита в сравнении с природным минералом.

УСТОЙЧИВОСТЬ И РАСТВОРИМОСТЬ АТАКАМИТА  $[\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3]$  В АММИАЧНО-АММОНИЙНЫХ РАСТВОРАХ

Бубликова Т.М., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН)

[tmb@iem.ac.ru](mailto:tmb@iem.ac.ru); тел.: 8(496) 522 58 47

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН 2022-0002

Атакамит (Ata),  $[\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3]$  – характерный минерал зоны гипергенеза, широко распространенный в регионах с засушливым климатом. Как типичный минерал зоны окисления, образует парагенетические ассоциации с малахитом (Mlc) и азуритом (Azu) и, также как основные карбонаты меди, входит в число минералов, важных для промышленного получения меди. Для оптимизации состава растворов при выщелачивании медной руды, содержащей атакамит, методом термодинамического моделирования исследовано фазообразование в системе  $\text{CuO}-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_3-\text{NH}_4\text{Cl}$  и определены поля устойчивости Mlc, Azu, Ata. Параметры расчетов соответствовали условиям гидрометаллургических процессов аммиачного выщелачивания:  $T=25-100^\circ\text{C}$ ,  $P=0.1$  МПа. Для определения оптимальных составов выщелачивающих реагентов рассчитана концентрация меди при растворении атакамита в гидроокиси аммония и смешанных аммиачно-аммонийных растворах с разным соотношением  $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4\text{Cl}]$ . Установлено, что в стандартных условиях ( $T=25^\circ\text{C}$ ) максимальное содержание растворенной меди 0.5 моль/кг достигается при использовании водных растворов 3 т  $\text{NH}_3$  и смешанных растворов состава 1 т  $\text{NH}_4\text{Cl}+2$  т  $\text{NH}_3$ . Однако при повышении температуры до  $40-50^\circ\text{C}$ , необходимым для ускорения реакции растворения атакамита, наиболее эффективным реагентом остается водный раствор аммиака 3 т  $\text{NH}_3$ .

ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ НА ЭКОЛОГИЮ ПИТКЯРАНТСКОГО РАЙОНА (КАРЕЛИЯ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И РАВНОВЕСНО-КИНЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Бугаев И.А. (ГЕОХИ РАН), Конышев А.А. (КарНЦ РАН, ГЕОХИ РАН),  
Сидкина Е.С. (ГИН РАН), Черкасова Е.В. (ГЕОХИ РАН)**

[iliabougayev@gmail.com](mailto:iliabougayev@gmail.com); тел.: 8 (926) 123 89 70

*Исследование выполнено по госзаданию*

Горно-инженерные работы при добыче полезных ископаемых и строительстве неизменно влияют на экологию района. Такие работы неизбежно влекут за собой измельчение массивов пород что влияет на формирование химического состава природных вод. Траншея, проложенная в изучаемом районе засыпана породами пронизанными трещинами, выполненными сульфидами. На некоторых участках эта траншея пересекается ручьем, и воды, содержащие потенциально токсичные элементы, могут попасть в реку Ристиоя. Результаты, полученные после лабораторного эксперимента и расчетного моделирования, показали накопление потенциально токсичных химических элементов, среди которых наибольшую опасность представляет U, концентрации которого в значительной степени превышают ПДК. Изменения соотношения вода-порода, возникающие при техногенном воздействии, увеличивают нагрузку на природные воды, что проявляется накоплением в воде тяжелых металлов. Увеличение содержаний Cu в воде ограничивается образованием вторичных карбонатных минералов меди, а Zn, As, Ni и Pb накапливаются в воде линейно времени взаимодействия вода-порода. Содержание таких химических элементов как Cd, Sn, Ba, Cr, W в растворах после эксперимента не превышают значений ПДК для питьевых вод.

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИМИТАТОРА ЛУННОГО ГРУНТА И ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИЭФИРИМИДА

**Булкатов Д.П., Целуйкин М.В., Пхон Т.Ч. (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Уварова А.В., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН), Сторожук И.П. (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

В работе рассмотрена проблема создания композитных материалов для строительства защитных сооружений на Луне с минимизацией доставляемой с Земли массы грузов. В качестве перспективного подхода предложено использование высокотемпературного термопластичного связующего (полиэфиримида «Баумид-250») и имитатора лунного грунта «VI-75» (разработка ГЕОХИ РАН). Целью исследования являлась разработка технологических режимов получения композитов методом горячего прессования и анализ их физико-механических характеристик.

Установлены оптимальные режимы переработки: диапазон температур 320–350 °С, давление 2–5 МПа. Показано, что композиты с содержанием связующего 50 % масс. пригодны для литья под давлением и 3D-печати. Методами сканирующей электронной микроскопии подтверждено формирование непрерывной полимерной матрицы с качественной адгезией к частицам наполнителя без выраженных дефектов на границе раздела фаз.

Определены основные свойства полученных материалов: плотность (1,5–1,6 г/см<sup>3</sup>), твердость (65–80D по Шору), теплопроводность (0,616–0,730 Вт/м·К). Прочность при сжатии в зависимости от степени наполнения составила от 135 до 180 МПа, что сопоставимо с характеристиками тяжелых бетонов и превышает требования к микрометеоритной защите. Благодаря высокой морозостойкости и теплостойкости полиэфиримида композиты сохраняют стабильность свойств в диапазоне температур от –170 °С до +250 °С, перекрывающем условия лунной поверхности.

Сделан вывод о высокой технологичности, радиационной и термической стабильности разработанного композита, что обосновывает его перспективность для аддитивного производства или горячего формования строительных элементов для сооружения лунной инфраструктуры непосредственно на месте проведения работ.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАВЛЕНИЯ  
СИСТЕМЫ АПАТИТ-ТИТАНИТ

**Бурычкина М.О., Зайцев В.А., Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН)**

[burchkina14@inbox.ru](mailto:burchkina14@inbox.ru), тел.: 8 (904) 466 96 34

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Получены первые результаты по высокотемпературным равновесиям в системе апатит-титанит. Теоретический расчет эвтектики апатит-титанит по уравнению Шредера-Ле Шателье дал оценку температуры 1355°C.

Проведены эксперименты при атмосферном давлении и температурах 1300, 1375 и 1400°C. В качестве исходного материала использованы отборки апатита и титанита из сфенита, залегающего в верхней зоне апатитового месторождения Хибинского массива. При 1300°C, сохраняется исходная апатит-титанитовая ассоциация. В продуктах экспериментов при 1375 и 1400°C наблюдаются скелетные кристаллы титанита, новообразованный апатит, перовскит, оксид титана и стекло. Новообразованный апатит характеризуется повышенным содержанием кремния (до 0,1 ф.е.). По всей вероятности, титанит является закалочной фазой.

При температуре 1375°C и составе 10% апатита, 90% титанита (по массе) точка находится в поле равновесия апатит +  $TiO_2$  + расплав. Таким образом, обнаруживается небинарный характер этой системы. В исследованной системе установлено очень большое поле апатита по сравнению с титанитом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВХОЖДЕНИЯ ТИТАНА ВО ФТОРИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ГУМИТ ПРИ РТ УСЛОВИИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Бутвина В.Г. (ИЭМ РАН), Шацкий А.Ф., Шацкая Д.В., Степанов К.М., Овсянников Г.Н., Коваленко А.В. (ГЕОХИ РАН)

[valkil@yandex.ru](mailto:valkil@yandex.ru); тел.: 8 (496) 522 58 51

Поддержка: тема НИР ИЭМ РАН FMUF-2022-0001, гос.задание ГЕОХИ РАН

Основной механизм вхождения титана в структуру минералов группы гумита (норбергита, хондродита, гумита и клиногумита) является гетеровалентным изоморфизмом:  $Ti^{4+}$  замещает  $Mg^{2+}$  в октаэдрических позициях (Ribbe, 1979; Langer et al., 2002). Ключевой момент здесь — баланс зарядов. Когда четырехвалентный титан встает на место двухвалентного магния, появляется избыточный положительный заряд (+2). В "обычных" гидроксилсодержащих разностях этот избыток компенсируется за счет замещения двух одновалентных анионов ( $OH^-$  или  $F^-$ ) на двухвалентный кислород  $O^{2-}$ , по схеме:  $Mg^{2+} + 2(OH, F)^- \rightarrow Ti^{4+} + 2O^{2-}$ . В связи с чем возникает вопрос о вхождении титана во фтористые минералы группы гумита. Для решения данной задачи были проведены эксперименты в системе форстерит- $MgF_2$ - $TiO_2$  на многопуансонном прессе при 6 ГПа и  $1000^0$  С. В результате экспериментов было показано, что новообразованные фтористые норбергит, хондродит и клиногумит не содержат титан. Таким образом, в минералах группы гумита, не содержащих ОН-группу и являющихся чисто фтористыми, вхождение титана крайне затруднено и его содержание всегда будет оставаться либо на уровне следовых примесей, либо равно нулю.

СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО  
Cu-СОДЕРЖАЩЕГО ТУРМАЛИНА

**Верченко П.А. (ИЭМ РАН), Терешкина Е.П. (геол. ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова),  
Спивак А.В., Захарченко Е.С., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН)**

[yapoletta@mail.ru](mailto:yapoletta@mail.ru); тел.: 8 (496) 522 58 47

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 25-27-00194*

<https://rscf.ru/project/25-27-00194/>

Минералы супергруппы турмалина — кольцевые боросиликаты, с широким изоморфизмом, обладающие пьезо- и пироэлектрическими свойствами. Изучение спектроскопических характеристик данного класса соединений позволяют расширить знания об их кристаллохимических особенностях. Неоново-голубой Cu-содержащий турмалин был выращен на природном затравочном кристалле эльбаита гидротермальным методом (Т=600-650°C, Р= 150 МПа). Наросший слой, мощностью ~ 600 мкм характеризуется зональным распределением элементов с максимальным содержанием меди до 15 мас.% CuO (~ 1.8 ат.ф.). С зоны наросшего слоя с максимальным содержанием меди были сняты КР-спектры в диапазоне 150-4000 см<sup>-1</sup> в  $\bar{y}(zz)u$  и  $\bar{y}(xx)u$  геометриях и проведен сравнительный анализ со спектром природной эльбаитовой затравки.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФТОРВАВЕЛЛИТА (УЛЫТАУСКАЯ ОБЛАСТЬ, КАЗАХСТАН)

**Вигасина М.Ф.** (*геол. ф-т МГУ*), **Гриценко Ю.Д.** (*геол. ф-т МГУ*, *Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН*), **Вяткин С.В.**, **Ксенофонтов Д.А.** (*геол. ф-т МГУ*)  
[vigasina55@mail.ru](mailto:vigasina55@mail.ru); тел.: 8 (495) 939 13 49

Фторвавеллит  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_{2.1}(\text{OH})_{1.9}\text{F}_{0.8}\cdot 5.5\text{H}_2\text{O}$  (Улытауская область, Казахстан) исследован методами порошковой рентгенографии, ИК-, КР- и ЭПР-спектроскопии. Определены параметры элементарной ромбической ячейки:  $a=9.6210\text{\AA}$ ,  $b=17.3630\text{\AA}$ ,  $c=6.9940\text{\AA}$ ,  $V=1168.34\text{\AA}^3$ . В ИК-спектре в диапазоне  $700\text{--}1200\text{см}^{-1}$  проявлена интенсивная многокомпонентная полоса поглощения, соответствующая расщепленному трижды вырожденному симметричному валентному колебанию связей Р-О  $\text{PO}_4$ -тетраэдров. Компоненты широкой интенсивной полосы ( $3221$ ,  $3320$ ,  $3424\text{см}^{-1}$ ) соответствуют валентным колебаниям молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , занимающим разные кристаллографические позиции; наиболее интенсивная компонента при  $3525\text{см}^{-1}$  относится к валентным колебаниям гидроксильных групп, координирующих Al. Узкая интенсивная линия в КР-спектре ( $1023\text{см}^{-1}$ ) соответствует валентному симметричному колебанию ( $\nu_1$ )  $\text{PO}_4$ -тетраэдров, высокочастотная линия ( $1147$ ,  $1112\text{пл.см}^{-1}$ ) относится к их расщепленному валентному трижды вырожденному ( $\nu_3$ ) колебанию. Ниже  $370\text{см}^{-1}$  зарегистрированы линии рассеяния, отвечающие трансляционным колебаниям тетраэдров и катионов Al. Два набора по восемь линий в ЭПР спектре вавеллита обусловлены  $\text{VO}^{2+}$ -ионом в двух позициях Al. Согласно величинам интегральных интенсивностей линий этих наборов, соотношение заселенности позиций (а) и (б) ионами ванадила составляет 2:3, при этом позиций Al(1) в структуре в два раза меньше, чем Al(2).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИТИПОВ ВАРИСЦИТА

**Вигасина М.Ф.** (геол. ф-т МГУ), **Гриценко Ю.Д.** (геол. ф-т МГУ,  
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), **Ксенофонтов Д.А.** (геол. ф-т МГУ),  
**Калинюк Д.А.** (хим.ф-т МГУ)  
[vigasina55@mail.ru](mailto:vigasina55@mail.ru); тел.: 8 (495) 939 13 49

Проведено исследование двух политипов варисцита (Улытауская область, Казахстан). Методом порошковой рентгенографии определены параметры ромбической элементарной ячейки: для политипа варисцит1O «Lucin-type»  $a = 9.8218(17) \text{ \AA}$ ,  $b = 8.5612(10) \text{ \AA}$ ,  $c = 9.6278(18) \text{ \AA}$  и политипа варисцит2O «Messbach-type»:  $a = 9.8971(18) \text{ \AA}$ ,  $b = 9.664(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 17.184(4) \text{ \AA}$ . На основании результатов электронно-зондового микроанализа и термогравиметрии рассчитаны эмпирические формулы изученных политипов варисцита  $(\text{Al}_{0.96}\text{Fe}_{0.01})\text{P}_{1.01}\text{O}_{3.98} \cdot 2.05\text{H}_2\text{O}$  («Messbach-type») и  $\text{Al}_{0.98}\text{P}_{1.00}\text{Si}_{0.01}\text{O}_{3.99} \cdot 1.99\text{H}_2\text{O}$  («Lucin-type»), близкие к идеализированной формуле варисцита  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В ИК- и КР-спектрах изученных политипов варисцита в высокочастотных областях зарегистрированы группы полос поглощения и линий рассеяния, соответствующие валентным колебаниям молекул воды, занимающих различные кристаллографические позиции и образующих водородные связи различной прочности. Самые низкочастотные линии из этих групп соответствует молекулам  $\text{H}_2\text{O}$ , образующим наиболее сильные водородные связи. По литературным данным, соотношение заселённости позиций воды W1 и W2 в случае «Lucin-type» составляет 1:1, в то время как для «Messbach-type» это соотношение равно 3:1.

## УСТОЙЧИВОСТЬ CO<sub>2</sub>-ФЛЮИДА В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ

**Виноградова Ю.Г., Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН)**

[vinogradova@geokhi.ru](mailto:vinogradova@geokhi.ru)

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ГЕОХИ РАН.*

В докладе представлены новые экспериментальные данные по реакциям CO<sub>2</sub> с гранатами и клинопироксенами, полученные на многопуансонном прессовом аппарате при 3-6 ГПа. Для системы диопсид-жадеит-CO<sub>2</sub> показано, что взаимодействие с CO<sub>2</sub> вне поля стабильности диопсида приводит к образованию клинопироксена с Jd# 95-97, а также низкомагнезиального карбонатного расплава, содержащего умеренные концентрации натрия (~1-3 мол% Na<sub>2</sub>O). Для системы пироп-гроссуляр-CO<sub>2</sub> показано, что гранаты устойчивы только в поле устойчивости пироба и при валовом Са# <60. Для обеих систем установлено положение солидуса: частичное плавление наблюдается при 1200 °С на 4.5 ГПа, а на 6 ГПа при 1300 °С в клинопироксеновой системе и 1400 °С в гранатовой системе. В системе эклогит-CO<sub>2</sub> установлено существование поля частичной карбонатизации, в котором стабильна ассоциация Grt+Crx+CO<sub>2</sub>+Carb+Ку+Сое. Из-за ограниченного запаса CO<sub>2</sub> в мантии внутри этого поля CO<sub>2</sub> должен полностью расходоваться на частичную карбонатизацию эклогита, что делает его неустойчивым в P-T условиях образования литосферных алмазов при значении теплового потока 40 мВт/м<sup>2</sup> и ниже.

САМОРОДНЫЙ АЛЮМИНИЙ И МАГНИЙ: ПРИРОДНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИЛИ ИСКУССТВЕННОЕ?

**Воронин М.В., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)**

[voronin@iem.ac.ru](mailto:voronin@iem.ac.ru); тел. 8(49652)25849

*Работа выполнена в рамках госзадания ИЭМ РАН (FMUF-2022-0002)*

Самородный алюминий в различной геологической обстановке описан во многих работах (Олейников и др., 1978; Новгородова, 1979; Купенко, Осадчий, 1981; и мн. др.). Его природное образование доказывалось возможностью существования локальных ультравосстановительных условий. Альтернативная гипотеза основана на процессе высокотемпературной диссоциации газообразного  $AlCl_3$ , термодинамическое образование которого в природном процессе приведено в (Osadchii et al., 1986). Однако его нахождение на Никитовском ртутном месторождении в отсутствие явной связи с высокотемпературным магматическим процессом объяснить невозможно. В пользу его искусственного происхождения говорит использование в процессе добычи патронированного пламегасящего ВВ, в состав которого входит  $NaCl$  и алюминиевая пудра.

Самородный магний (Новгородова, 1996) наиболее редкий самородный металл, имеющий более высокое сродство к кислороду, чем  $Al$ . Авторы предполагают его нахождение в форме гидрида ( $MgH_2$ ). Первая находка природного гидрида ( $VH_2$ ) – минерала кишонита (Bindi et al. 2020) подтверждает обоснованность этого предположения. Альтернатива состоит в том, что  $MgH_2$  широко применяется в ракетном топливе и устойчив при температуре ниже 500К. Гидрид магния слабо взаимодействует с водой, имеет сильную ионную связь  $Mg-H$  и высокую энтальпию образования, порядка  $-75$  кДж·моль<sup>-1</sup>.

ОЛИВИНЫ КАК ПРОКСИ  $fO_2$  ДЛЯ БАЗАЛЬТОВ ЗЕМЛИ И ЛУНЫ  
(ОТДЕЛЬНЫЕ ТИПЫ)

**Воропаев С.А., Федулов В.С., Душенко Н.В., Кривенко А.П.,  
Жаркова Е.В. (ГЕОХИ РАН), Чистякова Н.И., Русаков В.С. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**  
[voropaev@geokhi.ru](mailto:voropaev@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 030 19 05

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00051,  
<https://rscf.ru/project/25-17-00051/>*

Для ряда образцов, представляющих отдельные типы базальтов земной верхней мантии (кимберлиты Якутии, трубка Удачная) и лунных морских базальтов (Apollo 12), были проведены измерения фугитивности кислорода ( $fO_2$ ) в оливинах. Определение собственной летучести кислорода проводилось методом двойной электрохимической ячейки в интервале температур от 800°C до 1100°C. В общем случае, зависимость  $fO_2$  от температуры в оливинах описывается с хорошей точностью ( $R^2 \sim 0.9$ ) выражением  $\log fO_2 = -A/T(K) + B$ . Получены значения регрессионных коэффициентов А, В для оливинов из некоторых земных/лунных образцов и проведено сравнение с известными минеральными буферами – WM, IW и другими. Формы вхождения летучих ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ) в структуру изучаемых минералов оценивались с помощью ИК и Раман спектроскопии. Для оливинов из земных образцов пропорции атомов железа в различных валентных состояниях  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  независимо проверялись методом мёссбауэровской спектроскопии.

РАМАН-ГЕОТЕРМОМЕТР ДЛЯ УГЛИСТЫХ И ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ

**Воропаев С.А., Федулов В.С., Душенко Н.В., Кривенко А.П. (ГЕОХИ РАН)**

[voropaev@geokhi.ru](mailto:voropaev@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 030 19 05

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Образцы метеорита Murchison (углистый хондрит, тип CM2) выдерживались изотермически в специально сконструированном приборе при температурах 200, 500 и 800°C. После остывания образцов в инертной атмосфере гелия снимались спектры комбинационного (Раман) рассеяния. Было обнаружено усиление интенсивности G- и D-линий графита в зависимости от величины нагрева. Показано, что по такому характерному параметру этих линий, как отношение площадей,  $S_D/S_G$ , можно построить геотермометр для определения максимальной температуры теплового метаморфизма родительских тел углистых хондритов. Проведено сравнение с известными данными для графитового включения из обыкновенного хондрита Челябинск.

## ЭПР-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИТИПОВ ВАРИСЦИТА

**Вяткин С.В.** (геол. ф-т МГУ), **Гриценко Ю.Д.** (геол. ф-т МГУ,  
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), **Ксенофонтов Д.А.** (геол. ф-т МГУ)  
[vyt\\_box@mail.ru](mailto:vyt_box@mail.ru); тел.: 8 (495) 939 13 49

Для варисцита из Улытауской области (Казахстан) методом порошковой рентгенографии установлены два поли типа и определены параметры элементарной ячейки: для поли типа варисцит1O «Lucin-type»  $a = 9.8218(17) \text{ \AA}$ ,  $b = 8.5612(10) \text{ \AA}$ ,  $c = 9.6278(18) \text{ \AA}$  и поли типа варисцит2O «Messbach-type»:  $a = 9.8971(18) \text{ \AA}$ ,  $b = 9.664(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 17.184(4) \text{ \AA}$ . эмпирические формулы изученных поли типов варисцита  $(\text{Al}_{0.96}\text{Fe}_{0.01})\text{P}_{1.01}\text{O}_{3.98} \cdot 2.05\text{H}_2\text{O}$  («Messbach-type») и  $\text{Al}_{0.98}\text{P}_{1.00}\text{Si}_{0.01}\text{O}_{3.99} \cdot 1.99\text{H}_2\text{O}$  («Lucin-type») близки к идеализированной формуле варисцита  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Спектры ЭПР поли типов варисцита резко различаются. Образцы «Messbach-type» имеют характерный для скрытокристаллических веществ суммарный ЭПР спектр, образованный большим количеством микрокристаллов в разных ориентировках, позволяющий только выявить присутствие в структуре ионов  $\text{V}^{4+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Спектр монокристалла варисцита «Lucin-type» демонстрирует расщепление отдельных линий октета, принадлежащих центру  $\text{VO}^{2+}$ , на пары триплетов, появление которых обусловлено взаимодействием неспаренного электрона парамагнитного центра  $\text{VO}^{2+}$  с тремя протонами молекулы воды и гидроксил-иона в позициях W1 и W2. Это, в свою очередь, подтверждает наличие двух водородных связей у  $\text{Al}^{3+}$ -октаэдров как в позиции W1, так и W2.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАЗ, ПОЛУЧЕННЫХ В СИСТЕМЕ Fe-Ni-P ПРИ 6 ГПа, МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОЙ ДИФРАКЦИИ

Геншпринг А.М., Коваленко А.В., Сидько Д.Е. (ГЕОХИ РАН, МГУ),  
Виноградова Ю.Г., Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН)

[genshpring@geokhi.ru](mailto:genshpring@geokhi.ru)

*Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 24-17-00253*

Фосфор является важным компонентом земной коры, ядер планет, железных метеоритов. Предшествующие исследования фазовых взаимоотношений в металл-фосфидных системах под давлением были ограничены изучением бинарных систем Fe-Fe<sub>2</sub>P и Ni-Ni<sub>2</sub>P. В результате был выявлен широкий спектр промежуточных соединений: Ni<sub>8</sub>P<sub>3</sub>, Ni<sub>5</sub>P<sub>2</sub>, Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub>, Ni<sub>2</sub>P, Fe<sub>2</sub>P-баррингерит, Ni<sub>3</sub>P и Fe<sub>3</sub>P-шрайберзит.

Согласно полученным экспериментальным данным при 6 ГПа и 1050–1100 °С в системе Fe-Fe<sub>2</sub>P-Ni<sub>2</sub>P-Ni методами EDS и EBSD обнаружены (Fe, Ni)<sub>3</sub>P, (Ni, Fe)<sub>2</sub>P, Ni<sub>8</sub>P<sub>3</sub> и Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub>. Ранее при 6 ГПа в системе Ni-P фаза Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> была зафиксирована только при 900 °С. В настоящем исследовании Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> обнаружен в ассоциации с Ni<sub>8</sub>P<sub>3</sub> при 1100 °С. Фаза (Ni, Fe)<sub>4</sub>P, соответствующая минералу меллинииту, представляет собой тонкие срастания Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> и Ni<sub>8</sub>P<sub>3</sub> в продуктах закалки расплава, ее область устойчивости в экспериментах не выявлена.

Таким образом, многообразие фосфидных фаз, установленных в тройной системе, совпадает с обнаруженными ранее в бинарных системах. Исключение составляет меллиниит (Ni, Fe)<sub>4</sub>P.

ЕДИНЫЙ ДЛЯ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ И БЕЗВОДНЫХ СИСТЕМ ОЛИВИНОВЫЙ  
ЛИКВИДУСНЫЙ КОМПОЗИТОМЕТР

**Гнучев Я.Ю., Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ)**

[gnuchevyy@my.msu.ru](mailto:gnuchevyy@my.msu.ru); тел: 8 (918) 851 23 36

*Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова*

На основании предоставленной А.В. Гирнисом базы данных MELT сформирована выборка водонасыщенных, водосодержащих и номинально безводных экспериментов, воспроизводящих равновесие оливин-расплав, содержащая результаты 1934 закалочных опытов, характеризующих силикатные системы в широком диапазоне интенсивных параметров.

В результате оптимизации получен оливиновый композитометр, (система уравнений) воспроизводящий содержание главных миналов с точностью не хуже, чем  $\pm 0.7$  мол. % на 95% уровне доверия для всех экспериментов как в сухих, так и в водосодержащих системах. Композитометр верифицирован путем сравнения рассчитанных и экспериментальных давлений и температур ликвидуса оливина. Ширина доверительного интервала оценки температуры с вероятностью 95% не превышает  $\pm 3.1$  °С, а давления  $\pm 0.06$  кбар. Средние отклонения расчётных концентраций миналов от экспериментальных не превышают 0.05 мас. %, что свидетельствует о несмещённости оценки.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЙОДА В ВОДАХ КРЫМА И СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

**Головин М.Л., Колмыкова Л.И. (ГЕОХИ РАН)**

[golovin@geokhi.ru](mailto:golovin@geokhi.ru); тел.: 8 (915) 232 33 91

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Исследованы особенности химического состава природных вод (в т.ч. слабо- и маломинерализованных), отобранных из различных поверхностных и подземных источников на территории Крыма и Северного Кавказа. Определено содержание йода –эссенциального микроэлемента, критически важного для нормального функционирования щитовидной железы. Для большей части рассмотренных питьевых пресных вод характерна низкая обеспеченность йодом (Me 3 мкг/л, IQR 2,6-4,8), с возрастанием концентраций к побережью Черного моря (до 23 мкг/л). В пробах минеральных питьевых вод концентрация микроэлемента была значительно выше и находилась в пределах от 105 до 667 мкг/л, что в первую очередь может быть обусловлено близким расположением к океану-основному природному депо йода и геологическими характеристиками месторождений. Полученные данные имеют ключевое значение для оценки рисков здоровью населения, поскольку дисбаланс этих элементов (как дефицит, так и избыток) ассоциирован с широким спектром эндокринных, метаболических и других нарушений. Систематизация данных об особенностях химического состава питьевых вод и пространственном распределении эссенциальных микроэлементов позволяет прогнозировать риски развития различных заболеваний и обосновывает необходимость региональных программ профилактики, что подтверждает высокую медико-экологическую значимость проведенной работы.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СУЛЬФИДНОГО И БАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВОВ:  
КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИФФУЗИИ Cu И Ni В РАСПЛАВАХ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ  
И ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ)**

**Горбачев Н.С., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Новиков М.П., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**  
[gor@iem.ac.ru](mailto:gor@iem.ac.ru), [nastya@iem.ac.ru](mailto:nastya@iem.ac.ru)

*Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН FMUF-2022-0001*

В системе базальтовый расплава – Fe-сульфидный расплав при  $T=1250^{\circ}\text{C}$ ,  $P=0$ , 1 ГПа,  $f\text{O}_2$  задаваемой  $\text{BaCO}_3+\text{BaO}+\text{C}$  буфером экспериментально изучена кинетика мобилизации Cu и Ni сульфидным расплавом из базальтового расплава. Определены коэффициенты диффузии Ni и Cu в сосуществующих расплавах при взаимодействии. Обсуждается роль диффузии в геохимии магматического сульфидного оруденения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАМИНАЦИИ  
СУЛЬФАТОНОСНЫМИ МЕРГЕЛЯМИ БАЗАЛЬТОВ МОКУЛАЕВСКОЙ СВИТЫ  
(НОРИЛЬСК)

**Горбачев П.Н., Некрасов А.Н., Горбачев Н.С. (ИЭМ РАН)**

[p\\_gor@mail.ru](mailto:p_gor@mail.ru); тел.: 8 (496) 522 31 43

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 25-47-00051*

В работе представлены результаты экспериментального изучения взаимодействия базальтовых расплавов мокулаевской свиты (Норильск) с вмещающими породами (сульфатоносными мергелями) платформенного чехла Сибирской платформы. Эксперименты проводились при  $P = 1$  атм,  $T = 1250^{\circ}\text{C}$  в алундовых тиглях с использованием экспериментального ансамбля «тигель-в-тигле» (ТТ) с порошковым ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) затвором. Результаты экспериментов показали, что в некоторых опытах наблюдается аномальное поведение меди: а) более низкие коэффициенты распределения содержания меди в сульфидном расплаве относительно ее содержания в силикатной фазе; б) содержание меди в силикатном расплаве выше, чем в сульфидном расплаве.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОНДРИТОВОЙ СТРУКТУРЫ УГЛИСТЫХ МЕТЕОРИТОВ ПРИ  
T=1050°C, P=1 Кбар В ПРИСУТСТВИИ ОБОГАЩЕННОГО H<sub>2</sub> ФЛЮИДА

**Горбачев П.Н., Безмен Н.И. (ИЭМ РАН)**

[p\\_gor@mail.ru](mailto:p_gor@mail.ru); тел.: 8 (496) 522 31 43

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

Хондриты – разновидность каменных метеоритов, характеризующаяся наличием хондр – круглой или овальной формы раскристаллизованных силикатных выделений в сульфидно-металлической матрице. Углистые хондриты, составляющие ультраосновную группу хондритов, богатых Mg, Ca и щелочными металлами, представляют особый интерес. Условия образования хондр в этих метеоритах до сих пор являются предметом дискуссий. Проведенные эксперименты продолжают моделирование хондритовой структуры с использованием установки высокого газового давления (УВГД) с водородной ячейкой при T=1050°C и давлении 1 Кбар, в присутствии обогащенного H<sub>2</sub> флюида состава C-O-H-S и с использованием модельного состава, отвечающему по составу углистым хондритам.

СОСТАВ СЛЮД КАК ОТРАЖЕНИЕ УЧАСТИЯ КОРОВОГО СУБСТРАТА В ПРОЦЕССАХ  
МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА

Горнова Е.С. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН),

Бенделиани А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН),

Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Спивак А.В. (ИЭМ РАН)

[a.bendeliani@outlook.com](mailto:a.bendeliani@outlook.com)

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-77-00031*

При 7 ГПа и 900-1200°C проведены эксперименты в системах перидотит-базальт- $K_2CO_3$ - $H_2O$ , моделирующих ультраосновную алмазообразующую ассоциацию с различной долей участия корового материала в верхнемантийных условиях. Продемонстрирована возможность использования состава слюд в качестве индикатора степени вовлечённости корового материала в метасоматические преобразования на начальных этапах генерации кимберлитовых расплавов. Кристаллизация триоктаэдрической слюды возможна в субстрате, содержащем до 40 мас. % базальтовой (коровой) составляющей. При увеличении доли базальта в стартовой системе ( $\geq 50\%$ ) происходит рост отношения  $^{VI}Al/^{IV}Al$  и содержания  $SiO_2$  в минерале, что может приводить к образованию ди-триоктаэдрических разностей слюд. Значительное уменьшение отношения  $Mg/(Al+Ti)$  в мантийном веществе за счёт поступления корового материала ( $\geq 80\%$  базальта) препятствует образованию флогопита, вместо которого появляется Ti-содержащая диоктаэдрическая слюда. Рост отношения  $Ti/Cr$  до 1 и более может указывать на высокую степень вовлечённости ( $> 40\%$ ) корового материала в процессы мантийного метасоматоза. В связи с проблемой переходных ди-триоктаэдрических разностей слюд, произведены синтез и изучение слюды со стехиометрией  $KMg_{2.5}Si_4O_{10}(OH)_2$ . Показаны особенности заполнения октаэдрических слоев в структуре.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКТОРНОГО И КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ  
ОБРАБОТКИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ О СОДЕРЖАНИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В  
РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТАХ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Григорьева М.Л., Гришанцева Е.С., Воробьев С.А. (геол. ф-т МГУ)**

[Margo.leonidovna@bk.ru](mailto:Margo.leonidovna@bk.ru); тел: 8 (903) 288 97 80

*Работа выполнена в рамках Государственного задания МГУ 121071200143-2*

Иваньковское водохранилище - основной источник питьевого водоснабжения города Москвы, что определяет высокие требования к его экологическому состоянию. Многолетние исследования гидрохимического режима имеют обширный, но разрозненный материал. Цель настоящей работы - обобщение геохимических данных и выявление общих закономерностей распределения микроэлементов в водной экосистеме. В ходе работы была создана комплексная база данных, отражающая многолетнюю динамику в период с 1992 по 2024 год. Полученная база данных объединила информацию о содержании микроэлементов как в абиогенных компонентах: воде, донных отложениях, почвах, снеговом покрове, так и в биогенных компонентах: наземной травянистой и высшей водной растительности, а также в двустворчатых моллюсках и рыбах, которые являются организмами-биоиндикаторами. Статистическая обработка выполнялась в программе «GOLD-геохимик», разработанной на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, с использованием корреляционного и факторного анализов. Данное исследование позволило выявить скрытые закономерности, оценить вклад природных и антропогенных факторов. Результаты создали научную основу для мониторинга и управления качеством воды.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПАРАКОКИМБИТА  $\text{Fe}^{3+}_4[\text{SO}_4]_6(\text{H}_2\text{O})_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
(ПУСТЫНЯ АТАКАМА, ЧИЛИ)

Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф.,  
Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ), Дедушенко С.К. (НИТУ МИСИС)  
Ксенофонов Д.А. (геол. ф-т МГУ), Калинин Д.А. (хим. ф-т МГУ)  
[ygritsenko@rumbler.ru](mailto:ygritsenko@rumbler.ru); тел.: 8 (495) 939 13 49

Физико-химическое исследование водных сульфатов железа имеет практическую значимость в связи с их существенной ролью при выветривании горных пород, содержащих значительное количество сульфидных минералов (кислотный дренаж). Паракокимбит  $\text{Fe}^{3+}_4[\text{SO}_4]_6(\text{H}_2\text{O})_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (рудник Алькапарроса, Сьерра-Горда, провинция Антофагаста, пустыня Атакама, Чили) изучен методами порошковой рентгенографии, электронно-зондового микроанализа, термогравиметрии, ИК-, КР- и мёссбауэровской спектроскопии. Определены параметры тригональной элементарной ячейки:  $a=10.9345(4)\text{Å}$ ,  $c=51.3120(3)\text{Å}$ ,  $V=5312.7(9)\text{Å}^3$ . Мёссбауэровский спектр описан одиночной уширенной лоренцевой линией с параметрами:  $^{RT}IS_{\alpha\text{-Fe}}=0.45(1)\text{мм}\cdot\text{с}^{-1}$ ,  $FWHM=0.63(2)\text{мм}\cdot\text{с}^{-1}$ ,  $\chi^2=1.2$ . Измеренный изомерный сдвиг соответствует интервалу значений для октаэдрических кислородных полиэдров трехвалентного железа  $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_6]^{9-}$ . Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве определена энтальпия образования из элементов паракокимбита ( $-10664\pm 34$  кДж/моль). Оценено значение его стандартной энтропии и рассчитана величина энергии Гиббса образования ( $1298$  Дж/(моль·К) и  $-8976\pm 34$  кДж/моль соответственно). Термодинамическое моделирование процессов в системе вода – порода может, способствовать решению проблем, связанных с загрязнением окружающей среды в процессе кислотного дренажа пород и тем самым способствовать решению экологических задач по рациональному природопользованию.

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ИЗВЕСТКОВЫХ СКАРНОВ КОНТАКТОВЫХ  
ОРЕОЛОВ АРЫЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА, НОРИЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН

Гриценко Ю.Д. (*геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН*)

[ygritsenko@rambler.ru](mailto:ygritsenko@rambler.ru); тел.: 8 (495) 939 49 64

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 25-47-00051*

В Норильском районе помимо рудоносных интрузивов (Норильск-1, Талнахский, Хараелахский) известны минерализованные и безрудные интрузивы. Арылахский массив лейкогаббро залегает в породах туфолавовой толщи моронговской и надежденской свит. Контактные ореолы изучены по разрезу скважины ПА17. В состав ореола входят гранат-эпидотовые, гранат-хлоритовые, существенно пироксеновые скарны и постскарновые гидротермальные образования. Гранаты представлены промежуточными членами серии андрадит-гроссуляр, обладают секториальностью и сложной осцилляционной зональностью, выражающуюся в вариации содержания Al и Fe. Центральные части кристаллов в большей степени обогащены железом, краевые – алюминием. Отдельные зоны железистого гроссуляра обогащены титаном (до 5 мас.%  $TiO_2$ ). Довольно высокие для скарновых гранатов содержания титана и концентрирование его преимущественно в более глиноземистых членах ряда, вероятно, отражают относительно высокие температуры образования данных парагенезисов. Характерно обилие титанита, содержащего 1.5–3 мас.% FeO и  $Al_2O_3$ . Пирит образует сложнзональные кристаллы, обогащен никелем и кобальтом до 2 и 6 мас.% соответственно. Фтор-апатит образует довольно крупные кристаллы, содержит примеси REE, Sr, Fe, Si (обычно 0.5–1.5 мас.%).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОРОН ВЕНЕРЫ

**Гусева Е.Н., Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН)**

[guseva-evgeniya@ya.ru](mailto:guseva-evgeniya@ya.ru)

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Мы проанализировали морфометрические особенности корон Венеры с целью определить, как меняется их характеристики в зависимости от стадии эволюции и возраста обрамления. Нами выявлено, что большинство (~64%) – древние до-рифтовые короны, которые в процессе эволюции становятся более узкими, мало глубинными и постепенно сглаживаются в рельефе. Примерно треть (~36%) составляют рифтовые и подтопленные короны, а также короны переходного типа. Рифтовые короны (~17%) – молодые, развиты в областях с утолщенной литосферой и эволюционируют, в основном, из относительно узких и высоких сводовых поднятий в более широкие и мало глубинные депрессии. Около половины рифтовых корон вулканически активна, что, вероятно, объясняется большей проницаемостью литосферы в рифтовых областях. Подтопленные короны (~12%) – наиболее сглаженные в рельефе. В процессе эволюции они становятся более широкими и мало глубинными, возможно именно из-за лавовых подтоплений. Переходные короны (~7%), состоящие из древних поясов борозд, деформированных молодыми рифтами, наиболее морфологически развиты и тектонически переработаны. В процессе эволюции они становятся более узкими и мало глубинными и постепенно сглаживаются в рельефе.

ОЦЕНКА ДАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КСЕНОКРИСТОВ ОЛИВИНА  
ПИРОКЛАСТИКИ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ

Девятова В.Н., Симакин А.Г., Некрасов А.Н., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)

[dev@iem.ac.ru](mailto:dev@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 52

Госзадание FMUF-2022-0004

Исследованы образцы пирокластики базальт-андезитобазальтового состава, предположительно связанные с голоценовым извержением 7600 <sup>14</sup>C л.н., обнаруженные в русле р.Байдарная к ЮЗ от в-н Шивелуч (Чурикова и др., 2010). В ксенокристаллах оливина ~Fo<sub>86-88</sub> изучены включения: твердофазное включение амфибола (*Amp*) и частично раскристаллизованные расплавные включения с газовыми пузырями ( $L+Amp+Di+Spl+V(?)$ ), ( $L\pm Spl+V$ ).

Присутствие амфибола свидетельствует о водном характере магмы. Количество гидроксильных групп оценивается  $[OH]^- = 2 - Ti^{4+} - Fe^{3+} - Cl^-, F^- = 1.2 \pm 0.4$  а.е.

По данным геобарометра (Симакин, Шапошникова, 2017) амфиболы частично раскристаллизованного и твердофазного включений формировались при давлении  $5.9 \pm 1.2$  кбар.

По данным электронной микроскопии расплавные включения с газовыми пузырями обычно обрамляют внутренние ядра крупных кристаллов оливина (*ol* по удлинению до ~500 мкм) или локализованы в центральной части более мелких оливинов (~200 мкм). Микрорамановская спектроскопия выявила в газовой фазе пузырей малоплотный углекислотный флюид. Расчетная плотность CO<sub>2</sub> по модели DeVitro et al. 2021 ~0.08–0.11 гр/см<sup>3</sup>. Для изученной геометрии включений и некоторых допущениях (первичная гомогенность, содержания CO<sub>2</sub> в остаточном расплаве 0–30%, кристаллизация на стенках оливина ~5–10 об.%) в первично захваченном расплаве расчетное содержание CO<sub>2</sub> соответствует ~2000–5000 ppm. Для маловодного до 4 мас.% H<sub>2</sub>O андезитобазальтового расплава полученные содержания CO<sub>2</sub> достигаются при  $P_{fl} \sim 3-7$  кбар.

**ВЕСЭПМГ 2026 – 040**

**МАТЕРИКОВЫЕ ПОРОДЫ МАГНЕЗИАЛЬНОЙ СЕРИИ В ОБРАЗЦЕ  
РЕГОЛИТА «ЛУНЫ-16»**

**Демидова С.И., Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН), Лахманова Л.А. (МГУ, ГЕОХИ РАН)**

[demidova@geokhi.ru](mailto:demidova@geokhi.ru); тел. 8 (495) 939 02 05

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания ГЕОХИ РАН*

В образце реголита «Луны-16», в котором преобладают морские базальты и их производные, были обнаружены несколько фрагментов материковых пород. Их минеральный состав свидетельствует о связи с первичными материковыми породами магнезиальной серии. В докладе будут рассмотрены основные характеристики этого типа магматизма и вероятный источник такого материала в районе отбора пробы «Луны-16».

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОДЕРЖАНИИ ФТОРА В СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦАХ ПОЧВ И ГОРНЫХ ПОРОД

Денисова А. С., Петренко Д. Б. (*ГИН РАН*), Тумурова Л.В. (*ГИН РАН, хим. ф-т МГУ*)  
[CheprasovaAS@yandex.ru](mailto:CheprasovaAS@yandex.ru); тел.: 8 (916) 029 36 67

Определение фтора в почвах и горных породах необходимо для расшифровки эволюции магматических и гидротермальных комплексов, а также биогеохимических процессов. Определение фтора является сложной аналитической задачей, поскольку для него характерна способность к образованию летучих соединений, прочных полифторидных комплексов и труднорастворимых осадков с сопутствующими элементами, а также сложность возбуждения атома фтора, что осложняет использование спектральных и физических методов анализа. Авторами настоящей работы сконструирована установка для извлечения фторид-иона из горных пород методом пирогидролиза, подобраны условия пробоподготовки обеспечивающие полноту извлечения фтора из образцов с различным матричным составом в целях его дальнейшего определения методами ионометрии и капиллярного электрофореза. Получен комплекс новых аналитических данных по содержанию фтора в десяти отечественных и международных стандартных образцах почв и горных пород, охватывающих диапазон концентраций фтора 250-3000 мг/кг.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО  
ВЕЩЕСТВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИНСОЛЯЦИИ

Дроздова О.Ю., Лапицкий С.А. (геол. ф-т МГУ)

[drozdova@geol.msu.ru](mailto:drozdova@geol.msu.ru); тел.: 8 (495) 939 29 61

Были проведены эксперименты по изучению влияния солнечного света на изменение оптических характеристик различных фракций растворенного органического вещества (РОВ). В работе были использованы три фракции РОВ (<0,22 мкм, <10 кДа и <1 кДа), полученные методом каскадной фильтрации болотных и речных вод. Полученные данные показали, что содержание РОВ и значения показателя  $SUVA_{254}$  снижается под влиянием инсоляции для всех фракций, что согласуется с тем, что фотодеградация преимущественно удаляет ароматическое высокомолекулярное органическое вещество. Значения наклона спектра  $S_{275-295}$  увеличивались, в то время как значения  $S_{350-400}$  оставались неизменными или снижались. Такие результаты связаны как с уменьшением содержания РОВ с высокой молекулярной массой терригенного происхождения, так и с параллельным процессом образования высокомолекулярных РОВ из низкомолекулярных автохтонных соединений. Увеличение  $S_R$ , в основном, обусловлено увеличением  $S_{275-295}$ , который, вероятно, более чувствителен к изменениям РОВ, чем  $S_{300-700}$ . Динамика изменения данного показателя согласуется с изменениями молекулярных масс для каждой из фракций.

ВЛИЯНИЕ ИНСОЛЯЦИИ НА ПОВЕДЕНИЕ КОМЕТНЫХ ЯДЕР В ПОСТПЕРИГЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Дудченко В.А., Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН)

[dudchenko.va@phystech.su](mailto:dudchenko.va@phystech.su); тел.: 8 (926) 388 29 99

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Данные наблюдений показали, что в постперигельный период газовыделение кометных ядер заметно увеличивается, а в ряде случаев наблюдается даже их разрушение. Предполагается, что это связано с нетривиальным распространением получаемого от Солнца тепла в ядре кометы главным образом из-за особенностей строения ядра. Главная из них – это высокая пористость, а следовательно, низкая теплопроводность материала ядра. Вторая особенность – наличие на поверхности кометного ядра более плотного темного слоя (кора) из богатого углеродом материала, образовавшегося под воздействием высокоэнергетических космических лучей. В постперигельный период кора может частично или полностью разрушаться, что существенно меняет состав кометных ком.

Для оценки влияния инсоляции на поведение кометных ядер построена двуслойная модель (кора+ядро). Для температуры  $T(t, z)$  решается одномерное на полупрямой уравнение теплопроводности для двух слоёв с нелинейными граничными условиями из теплового баланса поверхности с учётом бондовского альбеда, излучения по закону Стефана-Больцмана, расстояния от тела до Солнца в а.е., а также усредняющего инсоляцию фактора, возникающего вследствие хаотичного и быстрого вращения тела кометы вокруг себя. В качестве примера использования программы была выбрана вторая межзвездная комета 3I/ATLAS, для объяснения наблюдаемых особенностей ее газовыделения.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ТИТАНА И ДРУГИХ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Дунаева А.Н., Кусков О.Л., Кронрод В.А. (ГЕОХИ РАН)

[dunaeva.an@gmail.com](mailto:dunaeva.an@gmail.com); 8 (916) 705 64 05

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Современные геохимические и астрономические данные свидетельствуют о возможной генетической связи между различными объектами Солнечной системы: кометами, астероидами, хондритами, ледяными спутниками планет-гигантов и каменно-ледяными транснептуновыми объектами. Исследование взаимосвязи между этими космическими телами важно для понимания формирования и эволюции вещества Солнечной системы, включая его перемешивание и формирование резервуаров, распределенных по всему протопланетному диску. В настоящей работе проведены оценки ключевых характеристик компонентного состава Титана: валового содержания  $H_2O$  и органического материала (ОМ) в хондритовых (CI/CM- и L/LL-подобных) породах спутника, соотношения масс тугоплавкой органо-силикатной фракции и льда (R/W), отношения углерода к кремнию в хондритовом веществе спутника (C/Si). Проведен сравнительный анализ полученных оценок содержания  $H_2O$  и ОМ, а также параметров R/W и C/Si в Титане с таковыми для ряда других объектов Солнечной системы.

ГЕОБАРОМЕТРИЯ УЛЬТРАМАФИТОВ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ МОДЕЛЕЙ С  
МАШИНЫМ ОБУЧЕНИЕМ

Еремин Д.Д., Аriskин А.А. (МГУ, ГЕОХИ РАН)

[eremindd17@gmail.com](mailto:eremindd17@gmail.com); тел.: +7 (495) 939 49 69

*Выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 25-27-00475)*

Проведен сравнительный анализ и оценен потенциал практического использования четырех “Срх-only” геобарометров, разработанных на принципах машинного обучения (Petrelli et al., 2020; Higgins et al., 2022; Jorgenson et al., 2022; Chicchi et al., 2023). Результаты тестирования этих моделей на данных опытов в высокомагнезиальных системах показали, что экспериментальные значения  $P$  с наименьшими отклонениями воспроизводят геобарометры (Petrelli et al., 2020; Higgins et al., 2022; Chicchi et al., 2023), что предполагает возможность барометрических расчетов с точностью.  $\sim 1,5$ -2 кбар. Это сравнимо с точностью “Срх-only” геобарометра (Nimis, 1995), рекомендованного в (Еремин и др., 2026). Эти модели использованы при оценке условий кристаллизации клинопироксена из 18 образцов плагиогарцбургитов и ортопироксенитов Мончегорского интрузивного комплекса в Мурманской области (Россия). Изученные объекты включали: (1) ультрамафиты, вскрытые структурной скважиной М-1, (2) породы, подстилающие Дунитовую линзу Мончеплутона (скв. М-20), и (3) мафит-ультрамафитовую ассоциацию пород из шахты № 5 на г. Травяной. Установлено, что для пород из скв. М-1 и М-20 наиболее согласованные с геобарометром (Nimis, 1995) значения  $1.5 \leq P \leq 2$  кбар дает модель (Petrelli et al., 2020), тогда как расчеты по (Higgins et al., 2022; Chicchi et al., 2023) дают завышенные давления – в среднем от  $\sim 3$  до  $\sim 4.5$  кбар. Для пород г. Травяной все модели указывают на максимальные давления – примерно от 4.5 (Higgins et al., 2022) до 6.5 кбар (Chicchi et al., 2023). Это на 1.5-3 кбар превышает оценки по (Nimis, 1995). Независимо от типа геобарометра, подтверждается вывод о более значительных глубинах кристаллизации пород в северной субкамере Мончеплутона. В качестве наиболее реалистичного геобарометра мы по-прежнему рекомендуем модель (Nimis, 1995).

## ОЦЕНКА КОЛЛОИДНОГО ПЕРЕНОСА АКТИНИДОВ НА УЧАСТКЕ ЕНИСЕЙСКИЙ

**Жариков А.В., Мальковский В.И. (ИГЕМ РАН)**

[vil@igem.ru](mailto:vil@igem.ru); тел.: 8 (499) 230 84 21

Основной механизм распространения радиоактивного загрязнения из хранилища ВАО – перенос подземными водами, куда радионуклиды поступают в результате растворения консервирующей матрицы. Причем наиболее опасной полагалась коллоидная форма переноса радионуклидов. Ранее проведенные опыты показали, что при выщелачивании (растворении) состаренных Na-Al-P-стекло с имитаторами долгоживущих актинидов более 90% поступает в водную фазу в коллоидной форме. Распределение этих частиц по размерам было определено путем последовательной фильтрации выщелачивающего раствора через мембраны с последовательно уменьшающимся диаметром пор. Ранее на основании приближения Козени-Кармана была разработана теория, позволяющая оценить распределение поровых каналов в породах по размерам на основании измерения проницаемости образцов пород для газа при различных давлениях. Такие измерения были проведены на образцах из участка Енисейский, отобранных из kernового материала в ближнем поле хранилища (скважина P12, глубина отбора – 496 м). На основании сопоставления распределений коллоидных частиц по размерам и диаметров поровых каналов в образцах было показано, что 99.5% коллоидных частиц будет задерживаться механически в породах участка.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ КАРБИДОВ В СИСТЕМЕ Ni-Cr-C ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 4 и 6 ГПа И ТЕМПЕРАТУРЕ 1600 °С

**Жимулев Е.И., Чепуров А.А., Грязнов И.А., Барабаш Е.О. (ИГМ СО РАН)**

[ezhimulev@igm.nsc.ru](mailto:ezhimulev@igm.nsc.ru) тел: 8(383) 333 23 41

*Работа выполнена при финансовой поддержке: грант РФФ № 25-23-00045*

Развитие НРНТ технологии изготовления сверхтвердого инструмента из импактных алмазов Попигайской астроблемы требует экспериментального подбора и всестороннего изучения «рабочего» сплава – металла-связки кристаллов алмаза. В сообщении представлены данные изучения системы Ni-Cr(20)-C при давлениях 4 и 6 ГПа и температуре 1600 °С. Были зафиксированы следующие фазы: сплав Ni-Cr; карбид, графит, алмаз. Металлическая фаза в образцах заполняет интерстиции между кристаллами алмаза Попигайской астроблемы, которые сохранили свою макроморфологию. На поверхности кристаллов алмаза появились микроструктуры со сложным рельефом. В экспериментах при 4 ГПа обнаружена кристаллизация графита в виде отдельных микрокристаллов. Кристаллы карбида хрома имеют футляровидную форму, присутствуют кристаллы карбида хрома в виде веероподобных образований, промежутки между которыми заполнены Ni-Cr-C сплавом. Морфология кристаллов карбида, полученных в образцах при 4 и 6 ГПа не имеет существенных различий. Исследован состав карбида хрома: содержание углерода 14.2 – 15.7 масс.%, никеля 2.8 – 4.1 масс.%, хрома 80.1 – 82.5 масс.%. Полученные новые данные будут использованы в разработке сверхтвердого композитного инструмента.

ЯВЛЕНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ НА ОТДЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В ГРАДИЕНТНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ НА ПРИМЕРЕ СМЕСИ ЧАСТИЦ СТИРОЛА И ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

**Зуев Б.К., Зайцева А.Е. (ГЕОХИ РАН)**

[mihneva.1999@yandex.ru](mailto:mihneva.1999@yandex.ru); тел.: +7 (903) 206 23 75

В процессе разработки окситермографического метода изучения термоокислительной деструкции полимеров, было обнаружено новое явление перемещения вещества в градиентном температурном поле. Это явление позволило разделить смесь частиц стирола и диоксида кремния. Смесь помещали в лодочку и медленно со скоростью нагрева 10 С<sup>0</sup>/мин вводили в высокотемпературный реактор. На входе реактора имеется градиент температур, через который проходит лодочка со смесью. Органический компонент смеси (стирол), при попадании в зону градиента температур претерпевает фазовый переход из твердого в жидкое состояние. Образовавшаяся жидкая фаза удерживается на поверхности кварцевого держателя (лодочки) в виде капли и остается в определенной градиентной температурной зоне при входе в реактор, одновременно с тем лодочка перемещается в высокотемпературную часть реактора. Разделение смеси происходит за счет того, что неорганический компонент смеси (диоксида кремния) остается в лодочки, а органический компонент смеси (стирол) остается на поверхности держателя лодочки в виде капли, прилипшей к поверхности держателя.

**ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ В ГРУНТЕ NOACHIS TERRA НА МАРСЕ: ВОЗМОЖНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ**

**Иванов М.А., Е.С. Чоловская (ГЕОХИ РАН)**

[mikhail\\_ivanov@brown.edu](mailto:mikhail_ivanov@brown.edu); тел.: 8 (495) 137 49 95

Грант РФФ 25-27-00348

Наличие глинистых минералов в грунте Марса - точно установленный факт. Для формирования глин необходимы, помимо источника первичного вещества, обилие воды, близнейтральная рН-обстановка и температура, существенно выше, чем на современном Марсе. Одним из основных вопросов, связанных с происхождением глин на Марсе, является их геологическая и стратиграфическая позиция. В нашем исследовании мы анализировали методами фотогеологии скопления глинистых минералов в области Ноахийской Земли между плато Тавмасия и долиной Узбой к северу от бассейна Аргир. Глинистые минералы в этой области относятся к классу Fe-Mg филлосиликатов и имеют специфическую морфологию, резко отличающуюся от окружающей местности. В результате анализа нами было установлено, что одно из скоплений глин представляет собой залежь протяженностью около 120 км и мощностью около 500 м, которая полностью расположена в пределах древнейших пород ноахийского возраста. Такое значительное по объему тело требует, чтобы условия, благоприятные для формирования глин, носили региональный характер. Такие условия могли бы быть установлены либо при отложении выбросов из ударного бассейна Аргир, либо были связаны с подходящими климатическими условиями, либо с тем и другим. В настоящее время мы проводим оценку вероятности этих условий.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛИЗА И ОКИСЛЕНИЯ  
ЖЕЛЕЗА(II/III) ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФЕРРИГИДРИТА

**Иванова А.Н., Москаленко И.В.** (*Университет ИТМО, Санкт-Петербург*)

[compasserika@gmail.com](mailto:compasserika@gmail.com); тел.: 8 (906) 220 79 85

<http://ckp.nrcki.ru/>

Хром(VI) (канцероген) и цинк(II) (токсичный металл) — приоритетные загрязнители подземных вод. Методами DFT (ORCA, PBE0/def2-TZVP, CPCM) выполнены расчёты гидролиза аквакомплексов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . Для Fe(III) установлены энергии депротонирования, определяющие рКа активных центров. Депротонирование Fe(II) требует большей энергии, что объясняет осаждение Fe(III) при более низких pH. Рассчитана энергия окисления  $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ , подтверждающая движущую силу формирования сорбционного барьера (закачка Fe(II) с окислением в пласте). На моделях центров  $Fe-OH_2^+$  и  $Fe-O^-$  будут вычислены энергии связывания  $CrO_4^{2-}$  и  $Zn^{2+}$ . Практическая значимость: данные позволят прогнозировать оптимальные pH-режимы для одновременного удаления Cr(VI) и Zn(II) и обосновать эффективность проницаемых геохимических барьеров на основе гидролиза Fe(III). Работа была выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса» НИЦ «Курчатовский институт».

ОБМЕН ВЫБРОШЕННЫМ МАТЕРИАЛОМ МЕЖДУ ПЛАНЕТАМИ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ И ЛУНОЙ

**Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)**

[ipatov@geokhi.ru](mailto:ipatov@geokhi.ru); тел.: 8 (926) 379 28 10

*Исследования проводились в рамках гранта РФФ 25-17-00051 (обмен материалом с Луной) и госзадания ГЕОХИ им. Вернадского РАН (остальные исследования)*

Ссылки на публикации по обмену выброшенным материалом между планетами земной группы и Луной приведены в разделе 15 книги [1]. В частности, обмен материалом между Землей и Луной рассматривался в [2], а выброс тел с Земли - в [3]. Вероятности столкновений тел с планетами и Луной зависят от скорости и направления выброса, а также от точки выброса. Характерные вероятности столкновений с Луной для тел, выброшенных с Земли, Марса, Венеры и Меркурия, составляют около 0.01, 0.005, 0.003 и 0.002. Вероятности столкновений тел, выброшенных с Луны, с планетами примерно в 20-30 раз меньше, чем для тел, выброшенных с Земли. [1] Ипатов С.И. Формирование и эволюция планетных систем. 2025. 132 с. <https://dx.doi.org/10.17513/np.649>. [2] Ipatov S.I. Proceedings of the International Astronomical Union, v.20, 2026. pp. 9-13. <https://doi.org/10.1017/S1743921324001911>. [3] Ipatov S.I. Icarus, 2025, v.425, id. 116341. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116341>.

КРИОЛИТ КАК ИНДИКАТОР РЕДКОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ С ПОЗИЦИИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ С ФТОРОМ

**Казакова А.А. (ГЕОХИ РАН), Щекина Т.И. (геол. ф-т МГУ)**

[rusak@geokhi.ru](mailto:rusak@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 939 70 75

*Работа выполнена в рамках задания ГЕОХИ РАН и МГУ имени М.В. Ломоносова*

Проведено изучение водно-силикатно-солевой гранитной системы при  $T = 500 - 700^{\circ}\text{C}$  и  $P = 1$  кбар в условиях насыщения фтором и с участием редких элементов. Эксперименты проводились в модельной гранитной системе на установке высокого газового давления в ИЭМ РАН. В качестве стартовых составов использовалась силикатно-солевая смесь из следующих реактивов: высушенный гель  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{LiF}$ ,  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Соотношения были подобраны таким образом, чтобы ожидаемый в продуктах опытов состав силикатного расплава был близок к составам криолитсодержащих гранитов. Опыты проводились по следующей схеме: силикатно-солевая смесь нагревалась до температуры  $800^{\circ}\text{C}$  при 1 кбар при 10 мас.%  $\text{H}_2\text{O}$ , выдерживалась в течение 3 суток, затем медленно охлаждалась до заданной температуры 500, 600 или  $700^{\circ}\text{C}$  и выдерживалась в течение 3 суток. При  $800^{\circ}\text{C}$  в опытах происходило расслоение расплава на 2 жидкости – силикатную и солевую. Во всех проведенных экспериментах воспроизводились следующие фазы:  $L+LF+CrI+FP+Fl$  ( $700^{\circ}\text{C}$ );  $L+LF+Qz+CrI+Pln+FP+Fl$  ( $500-600^{\circ}\text{C}$ ), где  $L$  – силикатный расплав,  $LF$  – солевой расплав,  $Qz$  – кварц,  $CrI$  – криолит,  $Pln$  – полилитионит,  $FP$  – закалочные фторсодержащие фазы,  $Fl$  – водный флюид. Во все эксперименты был добавлен весь ряд REE ( $\text{Ln}$ ,  $\text{Sc}$ ,  $\text{Y}$ ). Фтор играет ключевую роль в кислотно-основных процессах, происходящих в системе, выступая как сильный окислитель и образуя устойчивые комплексы с щелочными элементами ( $\text{Li}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) и  $\text{Al}$ , из которых формируется солевой расплав, а при снижении температуры кристаллизуются криолит ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) и криолитионит ( $\text{Na}_3\text{Al}_2(\text{LiF}_4)_3$ ). При понижении температуры от 700 до  $600-500^{\circ}\text{C}$  на контакте солевого расплава с алюмосиликатным образуется кайма  $\text{LiF}$ -слюды (полилитионита). Редкоземельные элементы распределялись преимущественно в пользу солевой по валовому содержанию криолитоподобной фазы и образовали при понижении температуры от 700 до  $500^{\circ}\text{C}$  свои собственные минеральные фазы в виде  $\text{LnF}_3$  комплексов. Таким образом, в нашей системе накопителем фтора (элемента-минерализатора) является криолит, в меньшей степени слюда, в парагенезисе с которыми часто кристаллизуются фториды REE, подобно тому, что наблюдается на редкометальных месторождениях. Таким образом, экспериментальные результаты обосновывают утверждение, принятое на основании геологических наблюдений, что присутствие криолита в гранитах следует считать индикатором редкометально-редкоземельной минерализации.

ФОСФОРСОДЕРЖАЩИЙ ОЛИВИН В МЕТЕОРИТЕ VACA MUERTA: ПЕРВАЯ  
НАХОДКА В МЕЗОСИДЕРИТАХ

**Камашева С.К., Рязанцев К.М., Лоренц К.А. (ГЕОХИ РАН)**

[skk2001@mail.ru](mailto:skk2001@mail.ru); тел.: 8 (968) 096 01 76

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Мезосидериты - железокаменные метеориты, состоящие из ксенолитов горных пород (габброиды, пироксениты и дуниты), и около 50 об.% никелистого железа.

В ходе изучения крупной ультраосновной брекчии в мезосидерите Vaca Muerta, были обнаружены обломки перидотитовой брекчии, содержащие фосфористый оливин. В краевых частях оливина на контакте с пироксен-троилитовым цементом брекчии часто выделяется зона с повышенными содержаниями фосфора (до 0.65 мас. %  $P_2O_5$ ). Наиболее высокие концентрации фосфора были обнаружены в оливиновых ксеноморфных зернах (размером до 200 мкм), находящихся непосредственно в цементе брекчии (до 1 мас. %  $P_2O_5$ ). Иногда в этих зернах наблюдается осцилляторная и секториальная зональность разной степени выраженности.

Упоминаний о наличии фосфористых оливинов в мезосидеритах ранее встречено не было. Такие оливины известны в лунных и марсианских породах, в обыкновенных и углистых хондритах, а также в палласитах. В земных породах они наблюдаются в коматиитах, базальтах, андезитах и дацитах. Осцилляторная и секториальная зональность по фосфору обычно указывает на быструю скорость кристаллизации. Обнаруженный фосфорсодержащий оливин может дать новую информацию об истории ультраосновных пород мезосидеритов.

СОСОЖДЕНИЕ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ (Zn, Sr) ПРИ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ  
ФЕРРИГИДРИТА

**Карасева О.Н. (ИЭМ РАН), Ханин Д.А. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ),  
Лакштанов Л.З. (ИЭМ РАН)**

[olga@iem.ac.ru](mailto:olga@iem.ac.ru), тел.: 8 (496) 522 58 54

*Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Экспериментальное и теоретическое моделирование растворимости и форм переноса компонентов во флюидно-магматических и гидротермальных системах (FMUF-2022-0003)*

Исследованы сорбционные свойства ферригидрита как эффективного природного сорбента для иммобилизации тяжелых металлов и радионуклидов (на примере цинка и стронция). Одна из важнейших сорбционных характеристик - удельная поверхность ферригидрита, состаренного в течение от 2 час до 10 суток, была рассчитана на основании данных кислотно-основных титрований, т. е. по адсорбции протона. Изучено влияние температуры и времени перекристаллизации на эффективность сорбции. Установлено принципиальное различие в механизмах взаимодействия катионов с твердой фазой: снижение концентрации Sr в растворе обусловлено преимущественно адсорбцией, тогда как для Zn определяющим процессом является инкорпорирование в объем твердой фазы. Повышение температуры (до 75°C) благоприятствует как адсорбции Sr, так и инкорпорированию Zn. Результаты исследования могут быть важны для прогнозирования миграции токсичных элементов в местах захоронения промышленных и радиоактивных отходов.

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЁХ- И ЧЕТЫРЁХКОМПОНЕНТНЫХ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ СИСТЕМЫ Al–Cu–Fe–Co–Ni КАК ФАЗ ЮМ-РОЗЕРИ

**Клюева М.В., Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН)**

[klyueva@geokhi.ru](mailto:klyueva@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 638 45 28

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Поскольку квазикристаллы являются фазами Юм-Розери (Qiang, J.-В. *et al.* 2001), а системы Al–переходный металл содержат несколько комбинаций аперидических фаз, то логично использовать расчёты числа валентных электронов на атом для предсказания стехиометрии квазикристаллов Al–Cu–Fe–Co–Ni. Исследуемая система содержит как икосаэдрические, так и декагональные фазы, для некоторых из которых построены приблизительные фазовые диаграммы (Grushko 2007, Tsai 1989). Особую сложность при определении границ существования квазикристаллических фаз, составляет большое количество параметров, таких как комбинации стехиометрических соотношений трёх и четырёхкомпонентных составов и различные температуры существования этих фаз.

В данной работе методом медленного охлаждения расплава была выращена серия огранённых декагональных Al–Ni–Co, Al–Co–Cu–Fe и Al–Co–Cu, а также икосаэдрических Al–Cu–Fe и Al–Cu–Fe–Ni монокристаллов. Температура, до которой происходил медленный рост составляла 600° С для всех экспериментов. Полученные кристаллы имели размеры от 100 до 1000 мкм. Химический состав был определён методом энергодисперсионной спектроскопии с использованием аналитической приставки U-Max 100 от Oxford Instruments.

Расчёт числа валентных электронов на атом был произведён для 12 различных составов монокристаллических квазикристаллов, в подавляющем большинстве соотношение  $e/a$  было близко к 2, что косвенно указывает на квазикристалличность исследуемых объектов. Для выборочного числа образцов были методом просвечивающей электронной микроскопии сняты дифракционные картины, показывающие симметрию 10-го и 5-го порядков.

СИСТЕМЫ  $\text{CaSiO}_3\text{-CaF}_2$ ,  $\text{Ca}_{0,5}\text{Mg}_{0,5}\text{SiO}_3\text{-CaF}_2$  ПРИ 6 ГПа

**Коваленко А.В., Виноградова Ю.Г., Шацкая Д.В., Шевчук А.С., Степанов К.М., Геншпринг А.М., Овсянников Г.Н., Никитин М.А., Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН)**

[kovalenko@geokhi.ru](mailto:kovalenko@geokhi.ru)

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ГЕОХИ РАН*

Недавнее исследование включений в алмазах из россыпей в северо-восточной части Сибирского кратона и находки фторидов кальция и алюминия, флюорита и его высокобарической полиморфной модификации, в качестве сингенетичных включений в алмазах привели к предположению о возможном присутствии фторидных расплавов в мантии. В связи с этим настоящая работа посвящена экспериментальному изучению фазовых взаимоотношений в системах  $\text{CaSiO}_3\text{-CaF}_2$  и  $\text{Ca}_{0,5}\text{Mg}_{0,5}\text{SiO}_3\text{-CaF}_2$  при мантийном давлении. Эксперименты проведены при 6 ГПа на многопуансонном прессе в графитовых капсулах. Обе системы имеют эвтектический тип фазовых диаграмм. Эвтектика брейит-флюорит установлена при 1200 °С и 37 мол%  $\text{CaF}_2$  (14 мас% F). Эвтектика диопсид-флюорит расположена при 1300 °С и 58 мол%  $\text{CaF}_2$  (23 мас% F). Учитывая температуру плавления брейита, 1750 °С, и диопсида, 1940 °С, присутствие  $\text{CaF}_2$  понижает солидус силикатов на 550-640 °С и приводит к образованию богатых фторид-силикатных расплавов при температурах, отвечающих значениям поверхностного теплового потока 37-39 мВт/м<sup>2</sup> на глубине 180 км.

СИНТЕЗ ЦИРКОНОСИЛИКАТОВ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ЩЕЛОЧНОСТИ

**Ковальская Т.Н., Ковальский Г.А. (ИЭМ РАН), Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН, ГЕОХИ РАН), Чуканов Н.В. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), Ермолаев Д.Н., Варламов Д.А., Чайчук К.Д. (ИЭМ РАН), Пеков И.В. (МГУ), Бехелев Д.Б. (ИЭМ РАН)**  
[tatiana76@iem.ac.ru](mailto:tatiana76@iem.ac.ru)

Щелочные цирконосиликаты являются характерными минералами ряда высокощелочных пород, в которых они выступают в качестве главных концентраторов циркония. С целью изучения влияния флюида на состав образующихся фаз проведены опыты по синтезу цирконосиликатов при температурах 550 – 600°C и давлении 2 кбар в течение 10 суток в условиях различной щелочности минералообразующего флюида (в средах растворов 1 М NaCl, 1 М NaF, 1 М NaCl + 6% NaOH, 1 М NaCl + 11.5% NaOH, 1 М NaCl + 46% NaOH, 1 М NaF + 5% NaOH, 1 М NaF + 10% NaOH, 1 М NaF + 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, а также 10%, 20% и 30% NaOH). Опыты проводились из стехиометрических смесей Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrOCl<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> с соотношениями Na:Ca:Fe:Zr:Si, находящимися в пределах поля составов минералов группы эвдиалита, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MnCO<sub>3</sub>, FeO, ZrOCl<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> ловенитового состава Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO, ZrOCl<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> цирсиналитового состава. Установлено, что при увеличении щелочности раствора цирсиналит не образуется, но наблюдается рост паракелдышита, который при данных условиях опытов выступил индикатором повышенной щелочности минералообразующей среды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ОЛОВА(II) В СУЛЬФИДНЫХ РАСТВОРАХ

**Колоколова А.В., Тагиров Б.Р. (ИГЕМ РАН)**

[perehod.07@mail.ru](mailto:perehod.07@mail.ru); тел.: 8 (916) 643 82 02

*Исследования выполнены в рамках проекта Минобрнауки № 075-15-2024-641*

На ряде месторождений олова (напр., существенно оловянного, полиметалльно-оловянного типа) главный рудный минерал – касситерит  $\text{SnO}_2$  – сосуществует с сульфидами (арсенопирит, пирит, халькопирит и др.). Хотя сульфиды образовались на поздних по отношению к касситериту стадиях, представляется важным определить роль сульфидной серы в переносе и переотложении олова. Для решения этой задачи проведен ряд опытов по растворимости синтетического  $\text{SnS}_{(к)}$  в сульфидных растворах при  $200\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{нас.}}$ . Стационарные значения растворимости были достигнуты за 20 дней. Таким образом, несмотря на неравновесный характер твёрдой фазы  $\text{SnS}_{(к)}$ , концентрация растворённого Sn отвечает равновесию водный раствор -  $\text{SnS}_{(к)}$ . Обработка экспериментальных данных показала наличие трёх областей pH с разным составом (гидро)сульфидных комплексов. В кислой области преобладает  $\text{Sn}(\text{HS})_{2(p-p)}$ ; комплекс  $\text{Sn}(\text{HS})_4^{2-}$  является основным в области от слабокислых до слабощелочных. В щелочных растворах главным становится комплекс  $\text{SnS}(\text{HS})_2^{2-}$ . Полученные данные дают возможность ожидать концентраций Sn в виде гидросульфидных комплексов до  $10^2$  ppm в области близонейтральных pH при концентрациях сульфидной серы около 0.1 т.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ (ЦИРКОН) ПРИЗНАКИ ИМПАКТНОГО СОБЫТИЯ В РАЙОНЕ ДЕР. ГРИДИНО

**Конилов А.Н., Докукина К.А. (ГИН РАН)**

[chalma@bk.ru](mailto:chalma@bk.ru)

*Исследования проведены по гос. заданию ГИН РАН (FMMG-2023-0007)*

Эклогитовая ассоциация Гридино находится в составе активной окраины Кольского палеоконтинента на побережье и прилегающих островах Белого моря. Здесь широко распространены эклогитизированные дайки габбро и габброноритов, секущие эклогит-содержащий мигматизированный архейский меланж, в котором неравномерно распределены многочисленные будины и линзы разнообразного состава и размера. Непосредственно в Гридино в приливной зоне Белого моря обнажаются кальцифиры и эгирин-содержащие гнейсы, в которых при геохимических и геохронологических исследованиях обнаружены цирконы с признаками их трансформации при метеоритном импакте (Докукина и др., 2024). Однако геологические признаки события отсутствуют. На острове Избная Луда в 5-6 км от Гридино в гнейсогранитах выделяется три структурных домена – в Центральном домене проявлены брекчии, блоки которых цементируются расплавами, их гнейсовидность дискордантна текстурам в гнейсах. В этом же домене проявлены тонкие прожилки метапсевдотахилитов. Описание геологии Избной Луды содержится в нескольких публикациях, в том числе в путеводителе 13th International Eclogite Conference. Petrozavodsk, Russia. June 24–27th, 2019, но привлекается тектоническая модель формирования брекчий. В цирконах из метаморфизованных расплавов Центрального домена обнаруживаются гетерогенные ядра с везикулярными текстурами, аналогичными описанными нами ранее (Докукина и др., 2024).

РАСТВОРИМОСТЬ ГАФНОНА В АЛЮМОСИЛИКАТНОМ РАСПЛАВЕ ПРИ  
ТЕМПЕРАТУРАХ 800°С, 1000°С И ДАВЛЕНИИ 400 МПа

**Коржинская В.С., Сук Н.И., Котельников А.Р., Новиков М.П.,**

**Ван К.В., (ИЭМ РАН), Черноголовка**

[vkor@iem.ac.ru](mailto:vkor@iem.ac.ru); тел.: +7 (496) 522 58 61

[sukni@iem.ac.ru](mailto:sukni@iem.ac.ru); тел. : +7 (496) 522 58 65

*Работа выполнена при поддержке программы FMUF – 2022-0004*

Продолжены исследования растворимости минерала гафнона ( $\text{HfSiO}_4$ ) в алюмосиликатном расплаве при температурах 1000°С и 800°С, давлении 400 МПа в присутствии воды. Длительность экспериментов составляла 5 суток для 1000°С и 12 суток для 800°С. В опытах использовали синтезированный нами в гидротермальных условиях гафнон и гранит (месторождение Орловка, скв. 42), который предварительно плавил при атмосферном давлении и  $T = 980^\circ\text{C}$ . Были подготовлены предварительно наплавленные алюмосиликатные стекла с различным  $Kagr = (\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$ : от 0.80 до 2.5. Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа. Проведен сравнительный анализ влияния агпаитности, температуры и давления на растворимость гафнона в алюмосиликатном расплаве.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ РАСТВОРИМОСТИ  $Nb_2O_5$ , ПИРОХЛОРА И КОЛУМБИТА В РАСТВОРАХ HF И KF

**Коржинская В.С., Котова Н.П. (ИЭМ РАН, Черноголовка)**

[ykor@iem.ac.ru](mailto:ykor@iem.ac.ru); тел. +7(496)5225861

[kotova@iem.ac.ru](mailto:kotova@iem.ac.ru); тел. +7(496)5225861

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

Изучена концентрационная зависимость растворимости  $Nb_2O_5$  и природных минералов колумбита, пирохлора в растворах HF и KF в широком диапазоне концентраций 0.01-2 m при  $T = 550^\circ C$ ,  $P = 100 MPa$  и низкой фугитивности кислорода (буфер Co-CoO). Проведенные эксперименты показали, что во всем изученном диапазоне концентраций HF и KF, пирохлор растворяется инконгруэнтно с образованием новых фаз. Для колумбита наблюдается конгруэнтная растворимость в HF и инконгруэнтная – в KF растворах. Для оксида ниобия в области низких концентраций HF наблюдается конгруэнтная растворимость, а в 1m и 2m HF образуются оксифториды ниобия. Установлено, что в растворах HF и KF наблюдается положительная концентрационная зависимость содержания ниобия, как для природных минералов колумбита, пирохлора, так и для  $Nb_2O_5$ .

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЯ НА СТРУКТУРУ БОРОСИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ПО ДАННЫМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

**Королева О.Н. (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН), Ширибазарова Э.Б. (ГЕОХИ РАН)**

[olgankoroleva@gmail.com](mailto:olgankoroleva@gmail.com);

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20015,*

<https://rscf.ru/project/25-17-20015/>

Исследование посвящено анализу влияния введения алюминия в матрицу боросиликатных стекол на их структуру и свойства. Алюминий может выступать как сеткообразователь, формируя тетраэдрические единицы  $[AlO_4]^-$ , заряд которых компенсируется щелочными катионами. С другой стороны, он может стать модификатором, что приводит к существенным изменениям степени полимеризации сети, распределения немостиковых атомов кислорода и координационного числа бора. Спектроскопия комбинационного рассеяния света (Raman spectroscopy) является одним из наиболее информативных методов исследования структуры расплавов и стекол, позволяя анализировать локальные структурные единицы, их распределение и степень полимеризации. В боросиликатных системах такие изменения, как координационного числа атома бора ( $BO_3 \leftrightarrow BO_4$ ), а также к перераспределению силикатных  $Q^n$ -структур, были определены методом спектроскопии КР. Кроме того, изучены влияние алюминия на взаимосвязь между боратной и силикатной подсетями, а также механизмы перераспределения структурных единиц при варьировании состава.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕКОЛ С ТРЕМЯ КАТИОНАМИ СТЕКЛООБРАЗОВАТЕЛЯМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КАТИОНА МОДИФИКАТОРА МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

**Королева О.Н. (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН),**

**Коробатова Н.М. (ГЕОХИ РАН, Институт минералогии)**

[olgankoroleva@gmail.com](mailto:olgankoroleva@gmail.com);

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20015,*

<https://rscf.ru/project/25-17-20015/>

Работа посвящена изучению структуры многокомпонентных стекол систем  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{GeO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{GeO}_2$ . Стекла были получены методом плавления в муфельной печи при температуре до  $1400^\circ\text{C}$ . Методом спектроскопии комбинационного рассеяния были исследованы структурные преобразования сетки стекла в зависимости от типа катиона модификатора. В ходе анализа полученных спектров комбинационного рассеяния установлено, что замещение натрия на кальций в составе стекла приводит к преобразованию германатной и боратной подсетки. Проведено сопоставление изменения структуры стекол с их свойствами.

СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЯ КРС ГЕРМАНАТОВ ИЗОМОРФНОГО РЯДА  $K_4Ge_9O_{20}$ - $Na_4Ge_9O_{20}$

**Королева О.Н., Волкова Е.А., Неволлина Л.А. (ГЕОХИ РАН)**

[olgankoroleva@gmail.com](mailto:olgankoroleva@gmail.com)

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

В работе представлены результаты детального структурного исследования кристаллических германатов с общей формулой  $A_4Ge_9O_{20}$ . Представлены детали синтеза стекол соответствующего состава путем плавления шихты, которые впоследствии были измельчены, и повторно сплавлялись, и охлаждались в интервале температур 1100-700 °С, с пошаговой выдержкой температуры с интервалом в 50 °С. Для обеспечения стабилизации системы образцы были выдержаны при 700 °С в течение 24 часов. Полученные кристаллические соединения были охарактеризованы с помощью порошковой рентгеновской дифракции, дифференциальной сканирующей калориметрии и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Na-содержащая система успешно демонстрирует целевую фазу  $Na_4Ge_9O_{20}$ , но проявляет сильную тенденцию к образованию стекла при охлаждении. В K-системе преимущественно образуется предположительно метастабильная фаза  $K_2Ge_4O_9$  со значительным содержанием аморфного вещества, что подчеркивает кинетические ограничения. Были зарегистрированы спектры КРС всех продуктов кристаллизации, проведено сопоставление с литературными данными.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ  
ГРАФИТСОДЕРЖАЩЕГО СЛАНЦА ПРИ 1.0-1.5 ГПА И 900°C

**Косова С. А., Ходоревская Л.И., Сафонов О.Г., Некрасов А.Н., Спивак А.В. (ИЭМ РАН)**  
[khodorevskaya@mail.ru](mailto:khodorevskaya@mail.ru); тел.: 8 (916) 651 25 53

В работе приведены результаты экспериментов по частичному плавлению гранат-двуслюдяного сланца с графитом при 900°C и 1.0-1.5 ГПа. Целью работы явилось исследование влияния давления на возможность генерации CO<sub>2</sub> за счет графитсодержащих метапелитов в условиях нижней коры. Продукты экспериментов включают исходные кварц, гранат, апатит и ильменит, и новообразованные продукты реакций перитектического плавления: высокоглиноземистый щелочно-известковый расплав, калиевый полевой шпат, рутил, кианит. КР-спектроскопия закаленных расплавов, полученных в экспериментах, показала только наличие графита и отсутствие таких углеродсодержащих компонентов, как CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>2</sub>. Таким образом, эксперименты показали, что при 900°C, давлениях 1.0 – 1.5 ГПа роль графитсодержащих метапелитов в качестве внутренних источников CO<sub>2</sub> незначительна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЛЮИДА НА МЕТАЛЛ-СУЛЬФИДНОЕ РАССЛОЕНИЕ FeS-Fe-C РАСПЛАВА В СИСТЕМЕ БАЗАЛЬТ-ПЕСЧАНИК ПРИ 1250°C, 300 МПа

**Костюк А.В., Горбачев Н.С., Новиков М.П., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**

[nastya@iem.ac.ru](mailto:nastya@iem.ac.ru), [gor@iem.ac.ru](mailto:gor@iem.ac.ru)

*Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН FMUF-2022-0001*

В системе базальт-песчаник опыты при 1250°C, 300 МПа проведены в сухих и нефтегазонасыщенных условиях. Все эксперименты проводили в платиновых ампулах с использованием графитовых контейнеров на УВГД в ИЭМ РАН. В качестве исходных веществ использовали порошки перетертых пород мокулаевского базальта и пирит-содержащего песчаника Норильского района. Серосодержащую нефть использовали как источник С-О-Н-S флюида. После опытов наблюдалось изменение фазового состава образцов с различной степенью плавления и соотношения сосуществующих жидкостей. Фазовый состав и концентрации микроэлементов в сульфидном, металлическом и силикатном расплавах свидетельствуют о важной роли флюида в генезисе сульфидно-металлического оруденения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕЗИСА ЩЕЛОЧНЫХ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ СИЛИКАТ-КАРБОНАТ ПРИ 800-1000°C, 200МПа

**Костюк А.В. (ИЭМ РАН), Васюкова О.В. (McGill University), Сердюк А.А. (ИЭМ РАН),  
Э.Уильям-Джонс (McGill University)**

[nastya@iem.ac.ru](mailto:nastya@iem.ac.ru), [olga.vasyukova@mcgill.ca](mailto:olga.vasyukova@mcgill.ca)

*Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН FMUF-2022-0001*

Карбонатитовые комплексы являются источником крупнейших месторождений важных полезных ископаемых, особенно редких элементов (ниобий, тантал, редкоземельные элементы), а также других ценных минералов, таких как цирконий, фосфор (апатит) и железо. Карбонатиты обычно ассоциируются со щелочными силикатными и ультраосновными породами. Современный взгляд на происхождение карбонатитовых комплексов подразумевает, что щелочные силикатные породы в них являются продуктами фракционирования карбонатизированной щелочно-ультраосновной магмы, щелочных силикатных пород и, в конечном итоге, карбонатитов. Однако, существуют альтернативные гипотезы, которые указывают на то, что карбонатитовые магмы, обладая очень низкой вязкостью могут просачиваться сквозь вмещающие породы, взаимодействовать с ними и менять их метасоматически. Для моделирования этого сценария была проведена серия экспериментов по изучению взаимодействия силикатного стекла с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-содержащей доломитовой жидкостью при температуре 800–1000°C и давлении 2 кбар на УВГД в ИЭМ РАН.

ГЕНЕЗИС ПИРОХЛОРА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБОНАТИТОВОЙ МАГМЫ С ГНЕЙСАМИ

**Костюк А.В., Сердюк А.А. (ИЭМ РАН), Васюкова О.В.,**

**Э.Уильям-Джонс (McGill University)**

[nastya@iem.ac.ru](mailto:nastya@iem.ac.ru), [olga.vasyukova@mcgill.ca](mailto:olga.vasyukova@mcgill.ca)

*Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН FMUF-2022-0001*

Проведена серия экспериментов по взаимодействию силикатного стекла (кварц-полевошпатового гнейса) с натрийсодержащим доломитовым расплавом при температуре 800–1100 °С и давлении 2–4 кбар. В результате на стекле образуется кайма, состоящая из четырех зон: 1) фонолитовый силикатный расплав; 2) ийолит; 3) пироксенит и биотитит (эта зона отсутствует при температуре >900 °С); 4) кальцитовый карбонатит, содержащий биотит и оливин. При добавлении ниобия (Nb) в карбонатную жидкость (и при отсутствии зоны 3) пирохлор кристаллизовался либо в зоне 4, либо на контакте зон 2 и 4. Мы предполагаем, что щелочные силикатные породы в карбонатитовых комплексах возникают в результате взаимодействия карбонатитовых магм с вмещающими гнейсами. Это взаимодействие является «фабрикой» по производству пирохлора, контролируемой карбонатитовой магмой. Причины этого могут заключаться в том, что растворимость Nb в силикатных магмах гораздо ниже, чем в карбонатитовых, поэтому ниобий, переходящий в силикатную магму в процессе её генерации, кристаллизуется в виде пирохлора, а также поглощение Ca, Mg и Na при формировании силикатной магмы приводит к насыщению карбонатитовой магмы пирохлором.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ВОЛЬФРАМА ВОДНО-СОЛЕВЫМИ ФЛЮИДАМИ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ РТ-ПАРАМЕТРАХ

**Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Сук Н.И. (ИЭМ РАН)**

[kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru); тел. +7(916) 206 60 16

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

Проведено экспериментальное моделирование переноса вольфрама постмагматическими гидротермальными растворами в термоградиентных условиях. Проведены две серии опытов для растворов Na- и K-специфики. 1) P=4.5 кбар, T<sub>низ</sub>= 680°C, T<sub>верх</sub>= 640°C. В качестве исходного материала использовали имитацию гранита (смесь Qz + Fsp) с добавлением кристаллов Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>\*2H<sub>2</sub>O. В верхней части ампулы помещали смесь (Qz + FeO + MnO + Sid). В этих опытах моделировали синтез вольфрамита на геохимическом «барьере» - при взаимодействии вольфрамата натрия с железосодержащим субстратом. 2) P=3.5 кбар, T<sub>низ</sub>=680°C, T<sub>верх</sub>=620°C. В качестве исходного материала использовали имитацию гранита (смесь Qz + Fsp) с добавлением кристаллов вольфрамита (Fe<sub>0.16</sub>Mn<sub>0.84</sub>)WO<sub>4</sub>. В верхней части ампулы помещали смесь (Qz + Fsp). Перенос вещества в верхнюю часть ампулы наблюдался как в Na- растворах, так и в K- растворах. Можно заключить, что вольфрамит достаточно хорошо транспортируется (Na, K)-растворами щелочной спецификации.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность концентрирования и накопления вольфрама в постмагматическом процессе с образованием жильных и штокверковых грейзеновых руд.

**ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ФЛЮИДЫ, ПЕРЕНОС И НАКОПЛЕНИЕ РУДНЫХ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Котельников А.Р., Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН),  
Дамдинов Б.Б. (ЦНИГРИ), Дамдинова Л.Б. (ГИН СО РАН),  
Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН)**

[kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru); тел. +7 (916) 206 60 16

*Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0003*

На основе литературных данных и оригинальных данных определены ТРХ- параметры рудообразующих флюидов в земной коре. Показано, что они характеризуются сложным составом, относительно высокой концентрацией (до 35 мас%) и относятся к водным растворам солей I и II-го типов. Данный факт подразумевает наличие гетерофазных состояний гидротермальных растворов. Проведены опыты в термоградиентных условиях при  $T = 500-680^{\circ}\text{C}$  и  $P=3-5\text{кбар}$  с целью оценки влияния РТХ-параметров флюидов на транспорт рудных компонентов. Экспериментально изучен перенос различных элементов (редких – Nb, Ta, W; рудных – Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) и образование различных рудных минералов в парагенезисах с силикатными минералами, моделирующих природные рудные ассоциации.

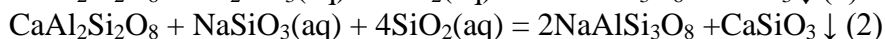
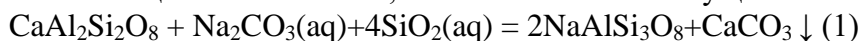
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АЛЬБИТИЗАЦИИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

**Котельников А.Р., Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН),  
Криночкина О.К. (МГСТУ), Дрожжина Н.А., Ван К.В. (ИЭМ РАН)**

[kotelnik1950@yandex.ru](mailto:kotelnik1950@yandex.ru); тел. +7 (916) 206-60-16

*Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0003*

Экспериментальное изучение альбитизации проводили в гидротермальных растворах при температуре 400-680°C и давлении 1-5 кбар. В качестве стартовых материалов использовали стекла базальтового состава и стекла плагиоклазов (An<sub>80</sub> и An<sub>60</sub>). В стартовую смесь добавляли порошок синтетического кварца. Применяли растворы (смесь солей NaCl+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>Cl) концентрации ~30 мас% с добавлением некоторого количества 5% раствора NaOH. Таким образом, исходный раствор был щелочным. Выдержка в режиме опытов составляла от 12 до 40 суток, в зависимости от температуры. Показано, что альбитизация как базальтов, так и плагиоклазов осуществляется по следующим реакциям:



Кроме того, в продуктах опытов встречены такие минералы как клинопироксены, карбонаты, кварц. Если в исходных материалах присутствовали сульфиды, то они образовывали типичные рудные парагенезисы в альбититах: Ab+Qz+Crх+Cb+MeS. Можно заключить что процессы альбитизации протекают под воздействием флюидов щелочной специфики при метаморфических процессах постмагматического характера.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> В РАСТВОРАХ HCl  
ПРИ 550°C, 50–500 МПа

**Котова Н.П. (ИЭМ РАН)**

[kotova@iem.ac.ru](mailto:kotova@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 61

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФНИ государственных Академий Наук  
FMUF-2022-0003*

Получены экспериментальные данные по растворимости оксида ниобия в растворах HCl с концентрацией 0,1 и 1m при T = 550°C и P = 50, 100, 200 и 500 МПа. Установлено, что, при повышении давления от 50 до 100 МПа содержание Nb в растворах 0,1m HCl практически не изменяется, оставаясь на уровне 10<sup>-5</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O. При дальнейшем повышении давления от 100 до 500 МПа содержание ниобия уменьшается и составляет 10<sup>-6</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O. В растворах 1 m HCl при изменении давления от 50 до 100 МПа содержание Nb увеличивается с 10<sup>-5</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O до 10<sup>-4</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O и остается на этом уровне при дальнейшем росте давления до 500 МПа. Сравнение результатов экспериментов по растворимости оксида ниобия в растворах HCl показало, что при T = 550°C тренды зависимости растворимости оксида ниобия от концентрации Cl<sup>-</sup> иона и давления флюида идентичны.

ОЦЕНКА ФАКТОРА СМЕШЕНИЯ МЕСТНОГО И ПРИВНЕСЁННОГО ВЕЩЕСТВА В  
ВЫБРОСАХ КРАТЕРА ЛАНГРЕН, КАВАЛЬЕРИ И ТЕОФИЛ

**Красильников А.С., Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН)**

[krasilnikov\\_as@geokhi.ru](mailto:krasilnikov_as@geokhi.ru)

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Смешение вещества при отложении выбросов кратеров является важным фактором в процессе их образования. Существующие модели сильно различаются, поэтому фактор смешения требует более подробного изучения. Для его уточнения проведено исследование с использованием данных о содержании оксида железа и оливина в лунном реголите.

Объектами исследования стали лучи кратеров Лангрен, Кавальери и Теофил поскольку:

(1) кратеры расположены на границе моря и материка, и выбросили материковое вещество, хорошо выраженное на морской поверхности;

(2) возраст кратеров Лангрен и Кавальери, близок к возрасту прилегающих морей, что минимизирует различие в степени старения реголита.

Полученные оценки содержания FeO и OI формируют тенденции увеличения их содержания по мере увеличения расстояния от центра кратера, которые наилучшим образом описываются степенными функциями.

Увеличение содержания оксида железа и оливина интерпретировалось как результат смешения двух конечных членов, морского вещества с максимальными значениями содержания и материкового материала, с усреднёнными значениями на дне кратера. Полученные зависимости позволили получить формулы для оценки доли инородного вещества.

**РАЗРАБОТКА КАЛИБРОВОЧНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ  
РАСТВОРЕННОЙ ВОДЫ В БАЗАЛЬТОВЫХ СТЕКЛАХ МЕТОДОМ КР-  
СПЕКТРОСКОПИИ**

**Крашенинников С.П., Чугунов А.В., Шишкина Т.А., Кривенко А.П. (ГЕОХИ РАН)**

[krasheninnikov@geokhi.ru](mailto:krasheninnikov@geokhi.ru); 8 (916) 648 03 96

*Работа выполнена в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН*

На основе обработки спектроскопических данных, полученных с использованием КР-спектрометра Renishaw InVia (ГЕОХИ РАН), было выведено калибровочное уравнение, позволяющее оценивать содержание H<sub>2</sub>O в силикатных стеклах основного состава. Для получения надежного результата многократно анализировались эталонные базальтовые стёкла с известным содержанием воды. Полученные в течение полугода данные показали устойчивую воспроизводимость калибровочных зависимостей между аналитическими сессиями. Итоговое калибровочное уравнение построено на основе анализа 33 опубликованных ранее экспериментальных базальтовых стёкол, синтезированных из одного стартового состава толеитового базальта Мутновского вулкана (Камчатка). Составы исследованных базальтовых стёкол характеризуются широким диапазоном содержаний воды - от 0,64 до 6,75 мас. % H<sub>2</sub>O. Полученное калибровочное уравнение может применяться для оценки содержаний H<sub>2</sub>O в природных вулканических стёклах и в продуктах экспериментальных исследований.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПРИ СУБЛИМАЦИИ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ БЛИЗКИХ К ЛУННЫМ

**Кривенко А.П., Севастьянов В.С., Воропаев С.А. (ГЕОХИ РАН)**

[krivenko.ap@yandex.ru](mailto:krivenko.ap@yandex.ru)

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00051,*

<https://rscf.ru/project/25-17-00051/>

Представлено описание экспериментальной установки, разработанной для изучения особенностей фракционирования изотопов водорода (дейтерия и протия, D/H) в ходе сублимации водного льда. Установка обеспечивает моделирование ключевых параметров окружающей среды, наблюдаемых на поверхности Луны.

В работе представлена методика надёжных измерений изотопных эффектов при сублимации водного льда — в т.ч. для моделирования процессов, происходящих на поверхности Луны.

Установлена линейная зависимость изотопного состава от площади аналитического сигнала пробы при проведении анализа на масс-спектрометре изотопных отношений, соединённом с экспериментальной установкой. Показано, что искажения изотопного состава вызваны адсорбцией молекул воды на стенках вакуумных коммуникаций: молекулы, обогащенные дейтерием, задерживаются сильнее, что приводит к смещению изотопного состава при малых объёмах пробы.

Разработанная методика повышает достоверность измерений и может быть применена для изучения уникальных изотопных процессов в лунных условиях.

## ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ КР-СПЕКТРОСКОПИИ

**Кривенко А.П. (ГЕОХИ РАН)**

[krivenko.ap@yandex.ru](mailto:krivenko.ap@yandex.ru)

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

В докладе рассматриваются ключевые возможности и ограничения метода комбинационного рассеяния (КР-спектроскопии) как аналитического инструмента в научных исследованиях.

Метод комбинационного рассеяния обладает рядом существенных преимуществ для геологических исследований. Он отличается необходимостью минимальной пробоподготовки, позволяя изучать минеральные образцы, горные породы и флюидные включения без разрушения. Высокая специфичность спектров обеспечивает идентификацию минералов, включая полиморфные модификации и микроразмерные фазы. Метод даёт возможность анализировать флюидные включения для определения состава и фазового состояния захваченных жидкостей и газов, а также оценки P-T-условий минералообразования, позволяет исследовать вулканические стёкла и магматические расплавы с оценкой содержания летучих компонентов и реконструкцией эволюции магм. Кроме того, метод комплементарен традиционным подходам в минералогии и петрографии, а также ИК-спектроскопии, что расширяет спектр получаемых данных.

Проанализированы существенные ограничения метода, такие как слабый сигнал КР, требующий высокочувствительного оборудования, флуоресцентные помехи, маскирующие полезный сигнал; риск фотодеструкции образцов, из-за интенсивного лазерного излучения, сложность интерпретации спектральных данных, предполагающая наличие квалифицированных специалистов и специализированного программного обеспечения.

**РАСПЛАВНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В МИНЕРАЛАХ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД:  
К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ**

**Криволицкая Н.А. (ГЕОХИ РАН)**

[nakriv@mail.ru](mailto:nakriv@mail.ru); тел.: +7 (926) 543 47 87

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

При изучении расплавных включений в породообразующих минералах (оливинах, пироксенах, хромшпинелидах) интрузивных пород часто возникают сложности при проведении экспериментов, искажающие реальные составы. Это связано с расхождениями между процессом реального охлаждения породы и включений в минералах в природе и условиями эксперимента, при котором воспроизводится состав захваченного расплава. Обычно при этом используются те же самые параметры, что и при гомогенизации включений в минералах эффузивных пород, характеризующихся быстрой закалкой на воздухе – скорость нагревания, длительность выдержки и др. Между тем, в интрузивных породах ярко выражены такие особенности как медленное остывание включения, сопровождающееся обменом ряда компонентов между включением и минералом, а также минералом и расплавом. В результате в породах при комнатной температуре, при которой происходит первичное исследование включения, состав расплава совершенно не соответствует захваченному. Быстрое же нагревание не позволяет воспроизвести полностью процесс остывания, поэтому части в нем кристаллизуются фазы, которые не должны появляться на ликвидусе в родоначальном расплаве. Чтобы получить адекватные составы включений необходим длительный подход к температуре гомогенизации, составляющий обычно 4-5 часов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ КОРЕ ЛУНЫ: СРАВНЕНИЕ ЗОНАЛЬНОЙ И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛЕЙ УПЛОТНЕНИЯ

**Кронрод Е.В., Кронрод В.А., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН)**

[e.kronrod@gmail.com](mailto:e.kronrod@gmail.com); тел. +7 (915) 355 80 90

*Работа выполнена в рамках госзадания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН*

На основе моделей строения мегареголита и данных GRAIL о распределении пористости с глубиной предложена пятислойная зональная модель лунной коры (реголит, двухфазный мегареголит, структурно нарушенная, трещиноватая и монолитная кора). Выполнено сопоставление этой модели с экспоненциальным законом уменьшения пористости с глубиной. Показано, что основная часть ударно-индуцированной пористости (12–20%) сосредоточена в верхних 5–10 км. Средняя пористость коры уменьшается с глубиной осреднения: от ~12–15% в верхних 5–10 км до 5–10% при осреднении по всей 40-км толще. Наилучшее согласие с гравитационными данными достигается при параметрах: поверхностная пористость 20–25%, давление закрытия пор 200–250 МПа, плотность зерна ~2900 кг/м<sup>3</sup>. Зональная модель даёт интегральные характеристики, близкие к экспоненциальной, но более корректно описывает неоднородность верхних 5 км коры.

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ В СТРОЕНИИ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЫ  
АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ ПО ДАННЫМ ГСЗ

**Кузин А.М. (ИПНГ РАН)**

[amkouzin@ya.ru](mailto:amkouzin@ya.ru); тел.:8 (916) 907 53 14

Проведен анализ сейсмических разрезов ГСЗ в алмазоносных и перспективных на алмазоносность районах Восточно-Европейской платформы. На разрезах были выделены домены (сейсмические блоки) с низкими значениями скорости продольных волн ( $V_p$ ), а также проведено ранжирование по значениям  $V_p/V_s$ . Сопоставление с проекцией на профили месторождений и перспективных объектов алмазоносности позволило установить следующие общие закономерности: 1 – пониженные значения  $V_p/V_s$  характерны для всех кратонов и срединных массивов; 2 – образование кратонов и «устойчивость» в тектонических процессах кратонов объясняется повышенным содержанием газовой фазы флюида; 3 – все перспективные объекты и месторождения находятся на доменах с относительно пониженными значениями  $V_p/V_s$ ; 4 – под всеми перспективными объектами и месторождениями в консолидированной коре на разной глубине фиксируются волноводы; 5 – все месторождения и алмазопроявления приурочены к контактам разноскоростных блоков на границе Мохоровичича. Установлено подобие картин распределения  $V_p$  и  $V_p/V_s$  для Зимнебережного района (кимберлитовый магматизм) и Кумдыкольского месторождения (метасоматические эклогиты) в Северном Казахстане. Предложен общий подход к образованию алмазов.

**О ПРИРОДЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕПЕСТКОВЫХ СТРУКТУР  
КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЫ**

**Кузин А.М. (ИПНГ РАН)**

[amkouzin@ya.ru](mailto:amkouzin@ya.ru); тел.:8 (916) 907 53 14

Образование листрических и наклонных разрывных нарушений объясняется в общем случае неоднородностью геосреды. Под нагрузкой разрывы «обтекают» более мягкие неоднородности среды по вертикали и горизонтали. Смена направления динамического воздействия ведет к смене направления развития разрыва, в результате в пространстве формируется каркас из наклонных и листрических разрывных нарушений. Кроме того, в породах изменение внутреннего угла трения при наличии флюида меняет реологию разрушения, что позволяет объяснить существование листрических разломов на разных глубинных уровнях литосферы. Лепестковые структуры могут быть образованы волноводами. Вихревой мантийный поток флюидов заполняет экранированные сверху участки границ консолидированной коры, наиболее разуплотненные участки вдоль сейсмических границ (слоев). Положение в пространстве этих границ дает основание считать их границами смены режимов тектонического развития. Образование вихревых и кольцевых структур является общим явлением в геологической среде, характерным при миграции флюидных потоков. Природа их образования в геосреде может быть различна, но в любом случае флюид принимает участие в образовании листрических и наклонных разрывных нарушений и, соответственно, в образовании каркаса геологических структур.

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ АЛМАЗОВ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЗАПОЛЯРНАЯ (ЯКУТСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

**Кузюра А.В. (ИЭМ РАН), Ширяев А.А. (ИФХЭ РАН), Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Криулина Г.Ю., Гроза В.С. (МГУ), Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)**

[shushkanova@iem.ac.ru](mailto:shushkanova@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 76

*Источники финансирования: тема НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0001, госбюджетная тема МГУ имени М.В. Ломоносова "Минералогическое изучение месторождений Арктической зоны России с целью их комплексного освоения (№ госрегистрации 121061600049-4)"*

Было выполнено исследование кристаллов алмаза (№ Зап-3-2, Зап-2-3, Зап-5-7 и Зап-3-13) с включениями магнезиохромита из кимберлитовой трубки Заполярная (ЯАП) методами катодолюминесцентной съемки и ИК-спектроскопии. Задачи исследования - определение степени агрегации азота в кристаллах алмаза, выявление зон роста, возможных деформаций и, как следствие, свидетельств сингенетичности включений с кристаллом-хозяином. По данным ИК-спектроскопии все исследуемые кристаллы алмаза относятся к низкоазотным ( $N_{tot} = 140-260$  ат. ppm) с малой долей агрегации азота в В-форму (% В = 20-37%). Азот в виде N3-центров в структуре алмаза проявляется голубым цветом люминесценции. Дополнительно катодолюминесцентная съемка позволила зафиксировать зоны роста, преломляемые сдвиговыми линиями и штриховкой в результате пластической деформации, в особенности, в кристалле Зап-3-13. В этом же кристалле выявлено 2 центра роста, в одном из которых расположено включение. Все наблюдаемые включения можно отнести к первичным, поскольку они пересекают все зоны роста. Подобные ИК- и КЛ-характеристики присущи для кристаллов ультраосновного парагенезиса.

ОЦЕНКА ЧАНДЛЕРОВСКОГО ПЕРИОДА МАРСА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ  
ГЕОХИМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ МАНТИИ

**Кулик Е. А. (МФТИ), Гудкова Т. В. (ИФЗ РАН)**

[kulik.ea@phystech.su](mailto:kulik.ea@phystech.su), [gudkova@ifz.ru](mailto:gudkova@ifz.ru); тел.: +7 (909) 978 90 44; +7 (499) 254-30-44

*Работа выполнена за счет бюджетного финансирования ИФЗ РАН*

Представлены результаты расчета периода чандлеровского колебания Марса для набора тестовых моделей внутреннего строения. Кора представлена однородным слоем с постоянной плотностью заданной толщины. Для модели силикатной мантии распределение плотности и упругих параметров получено по программе `Perple_X`. Толщина силикатного расплавленного слоя в мантии на границе с ядром принята равной 200 км. Ядро предполагается состоящим из смеси железо-никеля и легких элементов. При моделировании варьировались: плотность и толщина коры, минеральный состав и температура мантии (использовано семь минералогических моделей мантии вдоль трех ареотерм). В качестве рабочей реологической модели принимается модель Андраде. Вязкость задана кусочно-постоянным профилем, который варьируется. Модели внутреннего строения контролируются по массе, среднему радиусу, моменту инерции, числу Лява  $k_2$  и радиусу ядра. При фиксированных параметрах реологии и вязкости разброс в значении чандлеровского периода составляет около 1 сут для различных минеральных составов и температуры мантии.

ПОПУЛЯЦИИ МОРСКИХ БАЗАЛЬТОВ В ЛУННОМ МЕТЕОРИТЕ DHO FAR 280

**Лахманова Л. А. (ГЕОХИ РАН; геол. ф-т МГУ), Демидова С. И. (ГЕОХИ РАН),  
Зиновьева Н. Г., Коротаяева Н. Н., Давыдова В. О. (геол. ф-т МГУ)**

[lakhmanova.lida@list.ru](mailto:lakhmanova.lida@list.ru); тел.: 8 (495) 939 02 05

*Источники финансирования: Госзадание ГЕОХИ РАН*

*Работа выполнена с помощью приборов, приобретенных по программе развития МГУ*

Морские базальты в лунных метеоритах служат важным источником информации о лунном вулканизме из ранее неопробованных районов Луны. В настоящей работе представлены результаты исследования обломков базальтов в метеорите Dhofar 280, представляющем собой лунную преимущественно материковую брекчию. На основе химического и минерального состава фрагментов было установлено присутствие двух типов базальтов: низкотитанистых (LT) и очень низкотитанистых (VLT). Некоторые отличия минерального состава в пределах одной группы, по-видимому, обусловлены различной скоростью кристаллизации пород, что находит свое отражение в текстурных особенностях кластов. Присутствие популяций двух типов базальтов может свидетельствовать о существовании нескольких источников магм в районе выброса лунного метеорита.

**ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ НЕФТЕЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ В ЖЁСТКИХ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**Левшунова С.П., Карташов А.А., Иванова С.Р. (ФГБУ «ВНИГНИ»)**

[lev@vnigni.ru](mailto:lev@vnigni.ru); тел.: 8 (499) 781-68-54 доб.: 3260

На примере отложений Прикаспийской впадины рассмотрены условия генерации нефтей на больших глубинах. В скв. Володарская-2 (Астраханский свод) с глубины 5961 м из карбонатных отложений D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> получена тяжёлая нефть (0,871 г/см<sup>3</sup>). Южнее в пределах Каракульско-Смушковой зоны в скв. Краснохудукская-1 при 180°C, обнаружены плёнки ещё более тяжёлой нефти.

Экспериментально установлено, что при T>100°C и P>80 МПа компоненты нефти растворяются в смеси CO<sub>2</sub> с парами воды и метаном. В пределах Астраханского свода содержание CO<sub>2</sub> возрастает вниз по разрезу (12–27%) и в юго-западном направлении (до 84–97%). Этому сопутствует снижение минерализации вод (с 182 до 25 г/л), и смена их характера с хлоркальциевого на гидрокарбонатно-натриевый за счёт внедрения глубинных водяных паров и их конденсации.

Тяжёлые нефти региона могли образоваться путём растворения палеобитумов в смеси CO<sub>2</sub> с парами воды и метаном в жёстких термобарических условиях.

ПРИРОДОПОДОБНЫЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЭВДИАЛИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ КАРБОНАТНОМ СПЕКАНИИ: АНОЛОГИИ С ЩЕЛОЧНЫМ И КАРБОНАТИТОВЫМ МАГМАТИЗМОМ

**Лобач И.П. (РХТУ), Зайцев В.А. (ГЕОХИ РАН),  
Сафиулина А.М. (РХТУ, АО «ВНИИИМ»), Коробейников Д.А.,  
Виткина О.Я. (АО «ВНИИИМ»), Родионов Е.А. (РХТУ)**  
[i.loba4@yandex.ru](mailto:i.loba4@yandex.ru); тел. +7 (988) 070 16 85

Эвдиалит является уникальным полиметаллическим сырьем с высоким содержанием Zr, Hf, Nb, Ta, РЗЭ средней и среднетяжелой группы. Кислотная переработка эвдиалита сопряжена с технологическими сложностями, вызываемыми с высоким содержанием кремнезема, который при разложении образует труднофилтруемы гели, препятствующие последующей гидromеталлургической обработке. Предложен метод переработки, включающий сплавление с содой, водное выщелачивание и последующее кислотное выщелачивание.

Проведены эксперименты по сплавлению эвдиалитового концентрата, содержащего 51% эвдиалита, 12% альбита, 12% ортоклаза, 10% нефелина, 9% эгирина, 4% натролита, 1% содалит с карбонатом натрия при температуре 1000°C. В продуктах экспериментов обнаружены—образуется набор фаз: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (натрит), Na<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (натросилит) Na<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub> (аналог комбеита), цирконосиликаты Na<sub>2</sub>ZrSiO<sub>5</sub> и (Ca,Ce,Na)<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>FeSi<sub>8</sub>O<sub>25</sub> (приблизительно), NaNbO<sub>3</sub> (луешит), (Na,Ree,Ca)ZrO<sub>3</sub> (Zr-аналог лопарита), NaFeO<sub>2</sub> и Na-Al-Fe-Si стекло. Наблюдаемые взаимоотношения показывают, что при высокой температуре сосуществовали карбонат Na, щелочной карбонатный расплав и щелочной алюмосиликатный расплав, частично раскристаллизованный при охлаждении, при этом Zr, Nb и РЗМ практически полностью выделены в виде кристаллических фаз. Фазовые превращения на высокотемпературной стадии могут быть отдаленно сопоставлены с процессами дифференциации ультращелочных и карборатитовых расплавов.

При водном выщелачивании силикат натрия переходит в раствор, а РЗЭ, Nb, Ta, Zr, Hf, Ti остаются в твердых фазах. Они переводятся в раствор трехмолярной серной кислотой, при этом степень извлечения составляет для РЗЭ от 56 до 91%, Nb – 51%, Ta – 57%, Ti – 96%, Zr – 98%.

РЕДОКС УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ  
КИМБЕРЛИТОВ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ СОБСТВЕННОЙ  
ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА И МИНЕРАЛЬНЫМ ОКСИБАРОМЕТРАМ

**Луканин О.А., Жаркова Е.В. (ГЕОХИ РАН)**

[lukanin@geokhi.ru](mailto:lukanin@geokhi.ru); тел.: 8 (499) 137 30 55

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Для мантийных ксенолитов из кимберлитовых трубок Удачная-Восточная (Сибирский кратон) и Катока (кратон Касаи, Зап. Африка) проведено сопоставление определений величин летучести кислорода ( $fO_2$ ) минеральных ассоциаций ксенолитов ультрабазитового и эклогитового состава, полученных путем твердоэлектролитных электрохимических измерений собственной  $fO_2$  (при 800-1150°C и 1 атм) и с помощью различных минеральных оксидометров. Показано соответствие значений  $fO_2$ , определяемых обоими методами для гранат-перидотитовых ксенолитов (трубка Удачная) и эклогитовых ксенолитов (трубка Катока). Величины  $fO_2$  перидотитов и эклогитов трубки Удачной свидетельствуют о восстановительных условиях формирования этих пород - на 2-5 лог. ед. ниже  $fO_2$  буфера QFM ( $\Delta QFM = -5 \dots -2$ ) при  $T = 800 - 1300^\circ\text{C}$  и  $P = 4-6$  ГПа. По сравнению с ними эклогиты Катоки формировались в более окислительных условиях  $\Delta QFM = -2,8 \dots +1$  ( $T = 840-1200^\circ\text{C}$ ,  $P = 3-5$  ГПа). Рассмотрены основные факторы, оказывающие влияние на редокс состояние пород субконтинентальной литосферной мантии, а также представления о возможной природе протолитов эклогитовых пород в ее пределах.

ХАРАКТЕРИСТИЧНОСТЬ ФОРМ И МОРФОЛОГИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ  
КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

**Максе Л.П. (ОДО «СТРИМ», Могилев, Беларусь)**

[larissa\\_maxe@rambler.ru](mailto:larissa_maxe@rambler.ru); тел: +3 (7529) 842 82 09

В атмосфере Земли при деструкции метеороидов образуется космическая пыль (КП), которая содержит нано- и микрочастицы. Используя изображения микрочастиц КП, спутниковую информацию, данные регистраций на видео, научные публикации, сведения об аэродинамической эрозии и деформациях вещества, информацию о болидах в атмосфере, в настоящей работе автор рассматривает формы и морфологию металлических частиц КП, связывая их с разрушением исходного метеороидного вещества. Приняв положения современных теорий деформации, пластичности сплошных сред и их неразрывности, исключая разрыв сплошности, автором проведен текстурный анализ изображений с выделением примитивов среди металлических частиц КП, встречающихся в планшетах КП, не содержащих техногенную пыль. Отметив не уникальность выделенных примитивов, характерных для адиабатных высокоскоростных процессов, автор делает вывод о характеристичности форм и морфологии металлических частиц КП. Характеристичность форм и морфологии металлических частиц КП свидетельствует о критических деформациях и деструкции исходного метеороидного вещества в атмосфере Земли, с разрушением исходной структуры и молекулярного состава, при сохранении исходного элементного и изотопного состава.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЛЬЦИЯ И РЗЭ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛОС ОКСИДОВ В ЭМИССИОННОМ СПЕКТРЕ КАПЕЛЬНО-ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

**Мальченкова А.А. (ГЕОХИ РАН)**

[malchenkova.anya@yandex.ru](mailto:malchenkova.anya@yandex.ru); тел.: 8 (904) 364 91 06

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Актуальная задача развития гидрохимических технологий извлечения РЗЭ требует большого количества измерений концентраций растворов. Атомно-эмиссионный спектрометр с источником на основе капельно-искрового разряда (КИР) позволяет проводить экспрессное определение металлов в жидких пробах со сложным матричным составом. Для улучшения сходимости в атомной спектроскопии используют метод гомологических линий. В настоящей работе предложен аналогичный подход к молекулярным полосам оксидов, характерных для РЗЭ и щелочноземельных металлов, что позволяет использовать компактный спектрометр низкого разрешения. Предложенная версия метода внутреннего стандарта использована для неперекрывающихся пиков оксидных полос кальция (554 нм) и стронция (680 нм), что снизило относительное стандартное отклонение  $s_r$  более чем в два раза и улучшило линейность градуировочных зависимостей. Такой подход эффективен даже для интенсивных полос ScO (607 нм), YO (614 нм). Показана возможность определения ряда РЗЭ в кислотах и концентрированных карбонатных растворах на уровне 1-5 мг/л.

ОРГАНИЧЕСКИЕ И СМЕШАННЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ В АТОМНО-ЭМИССИОННОМ АНАЛИЗЕ НА КАПЕЛЬНО-ИСКРОВОМ СПЕКТРОМЕТРЕ

**Мальченкова А.А., Ягов В.В. (ГЕОХИ РАН)**

[malchenkova.anya@yandex.ru](mailto:malchenkova.anya@yandex.ru); тел.: 8 (904) 364 91 06

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Атомно-эмиссионный спектрометр на основе капельно-искрового разряда (КИР) позволяет проводить экспрессный анализ микролитровых проб растворов. Устройство полезно при разработке гидрохимической технологии. КИР применяли при изучении процессов кислотного вскрытия серпентинита, минералов лития и др. Для улучшения аналитических характеристик в атомной спектроскопии нередко используют органические модификаторы. Для КИР эффективными оказались производные окиси этилена и пропилена, малые (1-5%) добавки которых многократно усиливают линии металлов и улучшают сходимость повторных измерений. При высоких содержаниях органических полимеров возможно расслаивание, причем органическую фазу можно непосредственно вводить в факел КИР с выигрышем по чувствительности относительно чисто неорганических растворов. Это позволяет сочетать экстракционное концентрирование с эффектом усиления сигнала органической добавкой. В отдельных случаях возможно также аналитическое применение КИР в чисто органическом растворителе; при этом сочетание энергии электрического разряда и химического пламени улучшает условия определения трудноатомизируемых металлов.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОРНИ И ЭНЕРГЕТИКА МЕТАБОЛИЗМА

**Маракушев С.А. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)**  
[shukaram@yandex.ru](mailto:shukaram@yandex.ru); тел.: 8 (909) 683 10 00

Среда подводных гидротермальных источников, богатая водородом ( $H_2$ ), сероводородом ( $H_2S$ ) и неорганическими соединениями углерода, рассматривается как вероятное место синтеза и самоорганизации первых органических соединений при зарождении жизни. Первыми формами жизни в этих условиях, по-видимому, стали микроорганизмы, обладающие хемоавтотрофным (хемолитотрофным) метаболизмом, использующим в качестве источника углерода углекислый газ ( $CO_2$ ) и эндогенные источники энергии. Биомиметическая реконструкция ранних этапов эволюции позволила связать происхождение четырех современных бактериальных путей фиксации  $CO_2$  с единой геохимической автокаталитической протометаболической сетью. Термодинамически обосновано, что под воздействием химического потенциала молекулярного водорода происходит разделение этой сети в центрах бифуркации на высокопотенциальный и низкопотенциальный редокс-кластеры. Развиваясь в своих термодинамически устойчивых редокс-ареалах гидротермальных систем, эти кластеры сформировали собственные механизмы фиксации  $CO_2$ , которые стали метаболическим фундаментом зарождающихся бактериальных сообществ и драйвером их последовательной эволюции: от хемолитотрофии к аноксигенной фотолитотрофии и, наконец, к оксигенному фотосинтезу – фотоавтотрофии, полностью независимой от энергии эндогенного водорода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОНВЕКЦИИ Se(IV) В БЕНТОНИТЕ

**Мартынов К.В., Волков И.Н., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН)**

[mark0s@mail.ru](mailto:mark0s@mail.ru); тел.: 8 (985) 777 59 43

Глинистые барьерные материалы и рыхлые породы, вмещающие пункты захоронения (ПЗ) и консервации (ПК) радиоактивных отходов (РАО) представляют собой связанные пористые среды, в которых перенос загрязнителей происходит за счет конвекции в потоке фильтрующихся подземных вод. Характеристики процессов конвективного переноса, рассеяния и задержки радионуклидов: адвекции, дисперсии, диффузии, сорбции, необходимы для прогноза распространения загрязнения и обоснования безопасности ПЗ и ПК РАО. Из эксперимента в проточной колонке, проведенного методом стационарной фильтрации 0.02 ммоль/л водного раствора  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , определена кривая выхода селена через образец бентонита с плотностью скелета  $\rho_r=1.21 \text{ г/см}^3$  при перепаде давления жидкости в образце  $\Delta P_{\text{ж}}=500 \text{ кПа}$ . По результатам эксперимента рассчитаны: сорбционная емкость  $S_r=0.14 \text{ мг/г}$  и коэффициент распределения  $K_d=94 \text{ см}^3/\text{г}$  для селена на бентоните, коэффициент фильтрации  $K_f=2.6 \cdot 10^{-11} \text{ м/с}$  и скорость потока  $v=3.2 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$  для пористости  $\varepsilon=0.55$ , коэффициент гидродинамической дисперсии  $D_L=5.1 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$  и продольная дисперсия  $\delta_L=1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  при эффективном коэффициенте диффузии селена  $D_e=1 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$ .

ПОВЫШЕННЫЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ И СЕРЕБРА В РОДОНАЧАЛЬНЫХ РАСПЛАВАХ ТОЛБАЧИНСКОГО ДОЛА (КАМЧАТКА) ПО СРАВНЕНИЮ С БАЗАЛЬТАМИ СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ КАК СВИДЕТЕЛЬСТВО ОКИСЛЕННЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВЛЕНИЯ И ПРИВНОСА СЕРЕБРА В ОСТРОВОДУЖНУЮ МАНТИЮ

**Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН), Портнягин М.В. (GEOMAR, Kiel, Germany)**

[nmironov@geokhi.ru](mailto:nmironov@geokhi.ru); тел.: 8 (915) 438 20 60

*Исследование проведено в рамках государственного задания ГЕОХИ РАН (программа № FMMZ-2024-0042)*

Для решения вопроса об исходном содержании меди и серебра в родоначальных островодужных магмах были изучены расплавные включения в оливине вулкана Толбачик, Камчатка и проведено их сравнение с базальтами срединно-океанических хребтов (БСОХ). Стекла включений были проанализированы методом LA-ICPMS (г. Киль, Германия). Содержания меди (г/т) и серебра (мг/т) для расплавов Толбачика и БСОХ составили: Cu(T)=95-135, ~115 (в среднем); Cu(COX)=65-105, ~85 г/т; Ag(T)=29-68, ~ 50; Ag(COX)=17-29, ~25 мг/т. Проведенное геохимическое моделирование показало, что обогащенность камчатских магм медью может быть объяснена плавлением островодужной мантии при более окисленных условиях ( $fO_2 \sim QFM+1.2$ ) чем для базальтов СОХ ( $\sim QFM$ ), а для объяснения высоких концентраций серебра необходимо 2х-кратное обогащение мантийного источника этим металлом. Возможным механизмом такого обогащения является привнос серебра в составе субдукционных флюидов/расплавов, отделяющихся от тихоокеанской океанической плиты при ее погружении под Камчатку. Полученные данные свидетельствуют о более высоком рудном потенциале надсубдукционных островодужных магм для меди и серебра, и вероятно других благородных металлов по сравнению с базальтами срединно-океанических хребтов.

РАЗЛОЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД СМЕСЬЮ СУЛЬФАТА И БИФТОРИДА АММОНИЯ  
ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА МЕТОДАМИ ИСП-АЭС И ИСП-МС

**Молчанов В.П. (ДВГИ ДВО РАН), Медков М.А., Иванников С.И. (ИХ ДВО РАН)**

[vpmol@mail.ru](mailto:vpmol@mail.ru); тел.: 8 (914) 734 63 65

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда,  
проект № 23-17-00093 (<https://rscf.ru/project/23-17-00093>)*

Разработан и валидирован новый метод пробоподготовки силикатных и карбонатных горных пород для последующего элементного анализа, основанный на полном разложении навески смесью сульфата ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) и бифторида (NH<sub>4</sub>HF<sub>2</sub>) аммония при нагревании до 350 °С с последующим растворением продуктов реакции в разбавленной азотной кислоте. Эффективность метода подтверждена на стандартных образцах различного генезиса и состава: метаморфическом сланце (ССЛ-1), известковом иле (СДО-3) и железомарганцевой конкреции (NOD-A-1).

КЛИНОПИРОКСЕНЫ ИЗ КАМАФУГИТОВ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЛЯ БУНЬЯРУГУРУ  
(ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКИЙ РИФТ)

**Муравьева Н.С. (ГЕОХИ РАН), Симакин С.Г. (ЯФ ФТИАН РАН),**

**Сенин В.Г. (ГЕОХИ РАН)**

[natash@geokhi.ru](mailto:natash@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 939 78 30

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

В работе впервые охарактеризован микроэлементный (Cr, Rb, Sr, Zr, Ba, Ce, Sm, Gd, Er, Yb, Hf, U, Th, Lu, Dy, Eu, Nd, La) состав клинопироксенов вкрапленников и ксенолитов из ультракалиевых пород вулканического поля Буньяругуру провинции Торо-Анколе Восточно-Африканского рифта. Было показано, что содержание элементов примесей в клинопироксенах из отдельных вулканов в пределах вулканического поля Буньяругуру различается: клинопироксены кратера Ньюнгу обогащены Zr (до ~1000 мкг/г), а клинопироксены кратера Казимиرو обогащены Nb (до ~30 мкг/г). На основании полученных результатов сделаны выводы об условиях образования клинопироксенов, различиях в составе источников камафугитовых магм, а также различных типах мантийного метасоматоза в пределах единого вулканического поля.

ЦЕЗИЙ-СОДЕРЖАЩИЕ БОРОСИЛИКАТНЫЕ СТЕКЛА: СПЕКТРОСКОПИЯ КРС И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

**Неволина Л.А., Королева О.Н. (ЮУ ФНЦ МуГ УрО РАН)**

[lanevolina@yandex.ru](mailto:lanevolina@yandex.ru);

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20015,*

<https://rscf.ru/project/25-17-20015/>

Работа посвящена анализу взаимосвязи термических свойств боросиликатных стекол с данными о структуре, основанными на моделировании спектров комбинационного рассеяния света (КРС). Были исследованы несколько линеек многокомпонентных боросиликатных стекол при изменении содержания Cs<sub>2</sub>O. Для всех стекол были выполнены измерения дифференциально-термического анализа (ДТА) и термогравиметрического анализа (ТГА) в температурном интервале 30-1000°C и определены температуры термических процессов: стеклования, кристаллизации, плавления. Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света проведено уточнение структуры ближнего и среднего порядка исследуемых стекол. Разложение спектров КРС на суперпозицию полос позволило выявить особенности формирования структурных единиц и их группировок при увеличении доли оксида цезия в стекле. В результате исследования установлены закономерности изменения температуры стеклования от концентрации определенных структурных группировок, а также в соответствии с данными ДТА определена вероятность формирования кристаллической фазы при температурном воздействии на стекло в зависимости от содержания в нем оксида цезия.

ПРОЧНОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ СТЕКОЛ КАМЕННЫХ МЕТЕОРИТОВ ПО ДАННЫМ  
ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ В ОБЪЕМНОМ И ОДНООСНОМ СЖАТИИ

**Никитин С.М. (ООО «ЛС-КАМ»), Скрипник А.Я (ГЕОХИ РАН)**  
[archont@mail.ru](mailto:archont@mail.ru); тел.: 8 (916) 438 89 39

Следы эволюции внеземного вещества, наблюдаемые при минералого-петрографическом исследовании образцов фрагментов метеоритов, во многом обнаруживаются благодаря масштабному подобию процессов разрушения метеороидов на Земле и в космосе. Элементы дефектной структуры, характерные для расплавной стадии формирования космических тел наблюдаются в структуре взаимоотношений хондр и матрицы. Коллизии ударных событий отражаются в строении обломков хондр сетью трещин и прожилков и могут быть выявлены благодаря наличию в их составе стеклянной фазы, которая, обладая склонностью к хрупкому разрушению, во многом способствует реализации «взрывных» процессов атмосферного дробления хондритов. Результаты исследования физико-механических свойств образцов вулканического стекла (обсидиан, Армения) и продуктов стеклянного производства, выполненные по методике, ранее применяемой для исследований прочностных и деформационных параметров метеоритов Царев, Ghubara и SAUH-001, позволяют оценить особенности поведения стекол в стесненных условиях одноосного и объемного сжатия. Благодаря использованию современных испытательных машин с сервоприводом удалось оценить параметры как до предельного, так и за предельного поведения стекол в диапазоне бокового сжатия 5-35 МПа. Интерпретация полученных данных, выполненная на основе сравнения особенностей химического и минералогического состава образцов по данным оптической и электронной микроскопии методами поэлементного картирования, позволила оценить роль газовой-жидких включений в неоднородности напряженно-деформированного состояния стекла. Кроме того, анализ локализации стеклянной фазы, с учетом её концентрации и распространенности в хондрах и матрице, позволил проследить процессы развития очаговых механизмов разрушения каменных метеоритов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАНТИЙНЫХ ПОРОД С ОБОГАЩЁННЫМИ СЕРОЙ ФЛЮИДАМИ ПРИ 6,3 ГПа и 1150-1450 °С

**Новоселов И.Д., Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН, ГГФ НГУ)**

[novoselovid@igm.nsc.ru](mailto:novoselovid@igm.nsc.ru); тел.: 8 (953) 889 14 33

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-77-10006,*

<http://rscf.ru/project/24-77-10006/>

Метасоматоз с участием S-содержащих флюидов/расплавов может играть существенную роль в эволюции глубинных пород, что подтверждают находки включений сульфидов и сульфатов в алмазах. Экспериментальное моделирование процессов взаимодействия мантийных пород (перидотита и эклогита) с обогащёнными серой флюидами проведено в системах лерцолит-сера-углерод, лерцолит-ангидрит-углерод, эклогит-сера-углерод, эклогит-ангидрит-углерод при  $P = 6,3$  ГПа,  $T = 1150-1450$  °С с использованием аппаратуры высокого давления «разрезная сфера» (БАРС) в графитовых и платиновых ампулах.

При взаимодействии эклогита и лерцолита с обогащёнными серой флюидами происходят растворение и перекристаллизация силикатов, их сульфидизация и карбонатизация. В эклогитовой ассоциации появляются коэсит, карбонаты, карбонатно-силикатный расплав и сульфидная фаза (пирит, пирротин либо расплав). В лерцолитовой системе установлено формирование пироксенов, магнезита, доломита, пирита, пирротина, карбонатно-силикатного и сульфидного расплавов. Установлены индикаторные признаки S-метасоматоза силикатных пород мантии: пониженные содержания FeO в периферических зонах индивидов силикатов и сульфидные включения. Кристаллы алмаза в экспериментах подвергнуты растворению с образованием ямок травления в форме прямоугольников на {100} и негативных тригонов на {111}.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВАРИСЦИТА  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 

Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ,  
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф. (геол. ф-т МГУ),  
Калинюк Д.А. (хим. ф-т МГУ)  
[logor48@mail.ru](mailto:logor48@mail.ru); тел.: 8 (495) 939 49 64

Проведено физико-химическое исследование варисцита из месторождения Сары-Сай (Улытауская область, Казахстан), образующего скрытокристаллические фарфоровидные агрегаты бледно-зеленого цвета. Варисцит представлен политипом 2O «Messbach-type», параметры ромбической элементарной ячейки:  $a = 9.8971(18)\text{\AA}$ ,  $b = 9.664(3)\text{\AA}$ ,  $c = 17.184(4)\text{\AA}$ . Варисцит изучен методами электронно-зондового микроанализа, ИК, КР, ЭПР спектроскопии и термогравиметрии. Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве определена энтальпия образования из элементов варисцита ( $-2361.0 \pm 4.2$  кДж/моль). Оценено значение его стандартной энтропии и рассчитана величина энергии Гиббса образования ( $169.5$  Дж/(моль·К) и  $-2129.4 \pm 4.2$  кДж/моль соответственно). С использованием полученных в настоящем исследовании термодинамических констант для варисцита проведен расчет условий возможного равновесного образования варисцита в природных условиях по реакции:  $\text{Al}(\text{OH})_3 + (\text{HPO}_4)^{2-} + 2 \text{H}^+ = \text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ . С ростом кислотности растворов может происходить образование вавеллита за счет варисцита по реакции  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 2 \text{H}^+ + (\text{HPO}_4)^{2-} = \text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитанные значения энергии Гиббса  $\Delta G^0(298.15 \text{ K})$  для этой реакции ( $-262.0$  кДж).

## ТЕРМИЧЕСКОЕ И ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФТОРВАВЕЛЛИТА

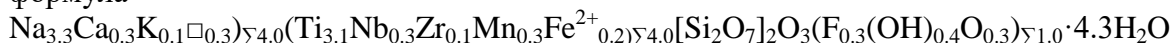
Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ,  
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф. (геол. ф-т МГУ),  
Калинюк Д.А. (хим. ф-т МГУ)  
[logor48@mail.ru](mailto:logor48@mail.ru); тел.: 8 (495) 939 13 49

Термическое поведение фторвавеллита  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_{1.9}\text{F}_{0.8} \cdot 5.5\text{H}_2\text{O}$  (Улытауская область, Казахстан) при нагревании до  $t=1100^\circ\text{C}$  изучено на установке Mettler Toledo TGA2 (Швейцария) в динамическом режиме со скоростью нагрева  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$  и с включением изотермического сегмента при  $120^\circ\text{C}$  ( $t=2\text{час}$ ) для выявления количества адсорбированной воды. Для исследования механизма дегидратации и дегидроксилирования фторвавеллита проведено изучение методом ИК-спектроскопии продуктов нагревания образца до  $300^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$  и  $1330^\circ\text{C}$ . В соответствии с полученными результатами и с учетом литературных данных термическое разложение фторвавеллита может быть описано реакцией:  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2\text{F} \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 6\text{Al}(\text{PO}_4) + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{AlF}_3\uparrow + 18\text{H}_2\text{O}\uparrow$ . Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве (Франция) определена энтальпия образования из элементов изученного фторвавеллита ( $-6606 \pm 12$  кДж/моль). Оценено значение его стандартной энтропии и рассчитана величина энергии Гиббса образования ( $483.4$  Дж/(моль·К) и  $-5941 \pm 12$  кДж/моль соответственно). Оценены термодинамические константы конечных членов изоморфной серии вавеллит  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ –фторвавеллит  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2\text{F} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ :  $\Delta_f H_{\text{el}}^\circ(298.15 \text{ K}) = -6328 \pm 12$  и  $-6435 \pm 12$  кДж/моль,  $S^\circ(298.15 \text{ K}) = 464.3$  и  $463.0$  Дж/(моль·К),  $\Delta_f G_{\text{el}}^\circ(298.15 \text{ K}) = -5674 \pm 12$  и  $-5801 \pm 12$  кДж/моль соответственно.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУРМАНИТА И КАЛЬЦИОМУРМАНИТА

Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ,  
 Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф., Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ),  
 Калинюк Д.А. (хим. ф-т МГУ)  
[logor48@mail.ru](mailto:logor48@mail.ru); тел.: 8 (495) 939 13 49

Образец мурманита из щелочных пегматитов г. Аллуайв (Ловозерский массив, Кольский полуостров) изучен методами порошковой рентгенографии, ИК- и КР-спектроскопии, термогравиметрического и электронно-зондового анализов. Рассчитанная эмпирическая формула



соответствует промежуточному члену изоморфной серии мурманит – кальциомурманит. Получены параметры элементарной ячейки исследованного мурманита:  $a = 5.379(15) \text{ \AA}$ ,  $b = 7.088(24) \text{ \AA}$ ,  $c = 12.222(34) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 94.183(7)^\circ$ ,  $\beta = 107.721(9)^\circ$ ,  $\gamma = 89.874(6)^\circ$ ,  $V = 442.60(86) \text{ \AA}^3$ . Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве впервые определена энтальпия образования из элементов изученного мурманита ( $-9788 \pm 19$  кДж/моль). Оценено значение его стандартной энтропии и рассчитана величина энергии Гиббса образования ( $670.4$  Дж/(моль·К) и  $-9015 \pm 19$  кДж/моль соответственно). Оценены термодинамические константы конечных членов изоморфной серии мурманит  $\text{Na}_4\text{Ti}_4[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – кальциомурманит  $\text{CaNaTi}_4[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_3(\text{OH})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ :  $\Delta_f H^0(298.15 \text{ K}) = -9794 \pm 18$  и  $-9744 \pm 18$  кДж/моль;  $S^0(298.15 \text{ K}) = 659.3$  и  $607.8$  Дж/(моль·К);  $\Delta_f G^0(298.15 \text{ K}) = -9041 \pm 18$  и  $-8990 \pm 18$  кДж/моль соответственно.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ МИГРАЦИИ  $^{137}\text{Cs}$

**Окладников Д.А., Линник В.Г. (ГЕОХИ РАН)**

[DimOklad@yandex.ru](mailto:DimOklad@yandex.ru)

Для обширных территорий, подвергшихся радиоактивному заражению в 20 веке, до сих пор актуален радиологический мониторинг, важную часть которого составляет дистанционное зондирование. На основе данных аэрогаммасъемки  $^{137}\text{Cs}$ , наземного пробоотбора и космических миссий LANDSAT и Copernicus (FABDEM) были исследованы зависимости распределения радиоцезия от различных ландшафтных факторов, рельефа, качества растительного покрова (NDVI), на примере бассейна реки Костица Брянской области. Обнаружен положительный тренд между качеством биомассы и активностью  $^{137}\text{Cs}$ , как в лесном массиве, так и в поле. Рассмотрены процессы миграции радиоцезия в связи с эрозией и влияние на этот процесс растительного покрова: подтверждено отсутствие латеральной миграции в лесном ландшафте и замедление её в луговом. Оценена степень размыва за 7 лет после радиоактивных выпадений на разных типах территории. Предложена математическая модель склонового перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  на основе материального баланса эрозионных и геохимических процессов. Потенциально, использованные в работе методы применимы для оценки распределения других элементов, важную часть в миграции которых играют экзогенные процессы.

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВА ПРИ УМЕРЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ МЕТАН-ВОДОРОДНОГО ФЛЮИДА (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)

**Персиков Э.С., Бухтияров П.Г. (ИЭМ РАН), Аранович Л.Я. (ИГЭМ РАН), Шапошникова О.Ю., Султанов Д.М., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**  
[persikov@iem.ac.ru](mailto:persikov@iem.ac.ru); тел.: 8 (906) 768 89 68

*Источники финансирования. Работа выполнена в рамках темы НИР № FMUF-2022-0004 Института экспериментальной минералогии им. академика Д.С. Коржинского РАН и государственного задания ИГЕМ РАН*

Важные проблемы дифференцировки магмы, образования самородных металлов и процессов образования руды в земной коре всё чаще связаны с активным участием восстановленного флюида ( $H_2$ ,  $CH_4 + H_2$ ). В этой работе получены новые экспериментальные данные по кристаллизации базальтовых расплавов при высоких температурах (1100–1250 °C) и давлении восстановленного флюида (10–100 МПа), которые проясняют возможную роль водорода в процессах, происходящих в базальтовых расплавах в земной коре и во время вулканизма при сильно восстановительных условиях ( $f(O_2) = 10^{-14}$  МПа). В экспериментах по кристаллизации было установлено, что составы кристаллов (оливинов, клинопироксенов и плагиоклазов), образованных в эксперименте по кристаллизации расплава магнезиального базальта под давлением флюида ( $CH_4 + H_2$ ), близко соответствуют составу кристаллов лавовых потоков северного прорыва вулкана Толбачик на Камчатке. Этот результат можно рассматривать как экспериментальное подтверждение участия восстановленного флюида в вулканическом процессе.

«ИЗОХОРНЫЙ» МЕТОД РАСЧЁТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ ИОНОВ ПРИ ВЫСОКИХ  $T$  И  $P$

**Плясунов А.В., Черкасова Е.В. (ГЕОХИ РАН)**

[plyasunov@geokhi.ru](mailto:plyasunov@geokhi.ru); тел.: 8 (915) 328 26 74

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

В настоящее время расчёт энергий Гиббса водных ионов при высоких  $T$  и  $P$  проводится исключительно по модели НКФ, которая является вариантом модели Борна. Для контроля желательна разработка альтернативного способа вычислений, не использующего формализм модели Борна. С этой целью мы работаем над так называемой «изохорной» моделью, в которой главным корреляционным параметром для иона является парциальная мольная изохорная теплоёмкость водных ионов,  $C_{v,2}$ . Показано, что для иона  $C_{v,2}$  при температурах более 500 К приближается к константе, которая не зависит от температуры и давления, но близка к изохорной теплоёмкости этого иона в состоянии идеального газа. На этой основе могут быть рассчитаны энергии Гиббса водных ионов до 1500 К и давлений вплоть до 5 ГПа. Показаны примеры согласия и, наоборот, несогласия, расчётов по «изохорной» модели и по модели НКФ.

## СИНТЕЗ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИНАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЛАТИНЫ

**Полотнянко Н.А. (Гос. Универ. «Дубна»), Чареев Д.А. (ИЭМ РАН, Гос. Универ. «Дубна»),  
Тюрин А.В. (ИОНХ РАН), Шкурлятьева А.В. (Гос. Универ. «Дубна»)**  
[polot.nat@gmail.com](mailto:polot.nat@gmail.com); тел.: +7 (903) 110 10 98

*Исследование входит в НИР Государственного университета «Дубна» «Фазовые диаграммы, новые фазы и термодинамические свойства соединений в двойных и тройных системах палладия, платины и рутения с оловом и сурьмой»*

Работа посвящена изучению термодинамических характеристик халькогенидов и пниктидов платины, большинство которых встречается в природе в составе редких минералов.

Для исследования синтезированы собственные образцы фаз, образующиеся в системах Pt-S, Pt-Se, Pt-Te, Pt-As, Pt-Sb. Порошки получены методом «сухого синтеза» из простых веществ, среднее время синтеза составило три месяца, температура 350-750°C. Для образцов проводили первичную характеризацию, комбинируя методы РФА и РСМА. С помощью калориметрии изучали только те вещества, анализ которых показал отсутствие примесных элементов и посторонних фаз.

Термодинамические функции для соединений платины рассчитывали интегрированием зависимостей теплоемкости по результатам измерений в широком интервале температур методами АК и ДСК. Для некоторых фаз изобарная теплоемкость и абсолютная энтропия при 298.15 К были определены впервые. Использование собственных и литературных данных позволило определить энергию Гиббса образования для ряда веществ систем Pt-S, Pt-Se, Pt-Te, Pt-As.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРОД, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МИГРАЦИЮ УРАНА В ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ

**Попова Н.М. (ИФХЭ РАН), Сафонов А.В. (ГЕОХИ РАН)**

[nm.popova.ipce.ras@gmail.com](mailto:nm.popova.ipce.ras@gmail.com); тел.: 8 (905) 580 81 80

Длительная эксплуатация наземных урановых шламохранилищ РАО, сооруженных в середине XX века, сопровождается деградацией инженерных барьеров и поступлением компонентов пульпы в подземные воды. Миграция урана в подземных водах контролируется совокупностью гидрогеохимических и биогеохимических факторов, минеральным составом вмещающих пород влиянием макрокомпонентов отходов. Привнос нитратов, сульфатов и аммония индуцирует метаболическую активность аборигенной микрофлоры, способствуя изменению геохимических условий и минерального состава пород, способных оказывать значительное влияние на миграцию урана.

В представленной работе описан процесс микробного биообращения пород водоносных горизонтов, отобранных с глубин 10-20 м вблизи хранилища РАО АО «СХК». Выявлены основные причины, определяющие интенсивность биообращения. Приведены данные изменения минерального состава пород и изменения иммобилизационной емкости для урана. Показано, что микробная колонизация увеличивает иммобилизацию урана на 30–50% и способствует росту доли его прочносвязанных форм. Иммобилизация обусловлена преимущественно образованием сульфидов железа (пирит, макинавит) и аморфных железосодержащих фаз в результате растворения гетита и гематита. Полученные результаты составили основу для разработки геохимической модели миграции урана с учетом биогенной трансформации вмещающей среды.

## ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ИМИТАТОРА ЛУННОГО ГРУНТА И БИСМАЛЕИМИДОВ

**Пхон Т.Ч., Песков П.А., Булкатов Д.П. (МГТУ им. Н.Э.Баумана), Уварова А.В., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН), Сторожук И.П. (МГТУ им. Н.Э.Баумана)**

Показана перспективность применения бисмалеимидных смол в качестве связующего для композитных материалов на основе лунного грунта с целью создания строительных заготовок для возведения защитных сооружений на Луне. Бисмалеимиды обладают низкой вязкостью расплава в начальной стадии переработки и формируют жесткую трехмерную сетку после отверждения. Композиты на их основе характеризуются высокой радиационной стойкостью, морозостойкостью вплоть до криогенных температур, теплостойкостью до 300°C.

В работе исследованы композиты на основе имитатора реголита «VI-75» (рецептура ГЕОХИ РАН) с содержанием бисмалеимидного связующего (состав МГТУ им. Н.Э.Баумана) 20 и 30 % масс., полученные методом горячего прессования при температурах от 150 до 260 °С и давлении 2–5 МПа. Естановлено, что материалы обладают плотностью 1,5–1,6 г/см<sup>3</sup>, твердостью 65–80D по Шору, теплопроводностью 0,600–0,690 Вт/м·К. Прочность при сжатии композитных образцов достигает 110–130 МПа в зависимости от степени наполнения, что сопоставимо с характеристиками тяжелых бетонов и превышает требования к противометеоритной защите. Структура композитов характеризуется непрерывной полимерной фазой и отсутствием дефектов на границе раздела фаз.

Разработанные композиты сохраняют стабильность свойств в диапазоне температур от –170 °С до +250 °С, что перекрывает условия эксплуатации на лунной поверхности. Полученные результаты подтверждают перспективность использования бисмалеимидных композитов для аддитивного производства и горячего формования элементов лунной инфраструктуры непосредственно на месте строительства.

СОСТАВ, СВОЙСТВА И ЭВОЛЮЦИЯ ОКСИ-ФТОРИДОВ НАТРИЯ И НИОБИЯ ПРИ  
ВЫСОКИХ Т И Р

**Редькин А.Ф., Некрасов А.Н., Неретина А.Н., Дрожжина Н.А. (ИЭМ РАН)**

[redkin@iem.ac.ru](mailto:redkin@iem.ac.ru) ; тел.: 8 (496) 522 58 52

*Работа выполнена в рамках госзадания ИЭМ РАН (FMUF-2022-0002; FMUF-2022-0003)*

Экспериментальные исследования взаимодействия  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  с 1 *m* NaF растворами при  $T = 680 - 800^\circ\text{C}$ ,  $p = 1 - 2$  кбар, Co – CoO буфере показали, что в ходе химической реакции образуются окси-фториды натрия и ниобия, а сам раствор значительно подкисляется. Продукты опытов представлены кристаллами, размером от 2 до 100 мкм, которые, согласно XRD и RS исследованиям, соответствуют пироклороподобным и перовскитоподобным фазам. Рассмотрено влияние температуры, давления и кинетики взаимодействия на форму и структуру кристаллов.

МИКРОЭЛЕМЕНТНОЙ СОСТАВ ФЛЮИДОВ, НАКОПЛЕНИЕ ДАННЫХ,  
ДЕТАЛИЗАЦИЯ

**Родкин М.В. (ИТПЗ РАН, ИПНГ РАН), Пунанова С.А. (ИПНГ РАН),  
Гайдаленок О.В. (ИТПЗ РАН), Шипаева М.С. (КФУ)**

[rodkin@ipng.ru](mailto:rodkin@ipng.ru)

*Работа выполнена в рамках плана работ ИТПЗ РАН, КГУ и ИПНГ РАН (тема FMME-2025-0012 «Фундаментальный базис инновационных, цифровых технологий прогноза, поиска, разведки и освоения нефтегазовых ресурсов (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 года)»*

Метод анализа корреляционных связей микроэлементного состава флюидов с типовыми химическими составами верхней, средней и нижней коры и биоты разного типа (растения и животные, наземные и морские) показал себя полезным и информативным. Но ранее, ввиду недостаточного числа подробных анализов МЭ, анализ носил глобальный характер. По мере накопления данных для ряда областей появляется возможность перехода на детальный уровень описания, с различением характеристик отдельных областей и даже отдельных свит. Приводятся примеры такого рассмотрения, в частности для района Ромашкино (Татарстан). Накопление объектов исследования делает потенциально затребованным создание удобного доступного способа реализации такого метода исследования. Метод реализован в виде общедоступного программного комплекса, который планируется к размещению на сайте ИПНГ РАН. Программа CrustBioCorr сопоставляет химический состав проб с эталонными моделями континентальной коры (верхняя, средняя, нижняя) и различными группами биоты. Рассчитываются коэффициенты корреляции, погрешность, статистическая значимость, дается предварительная интерпретация результатов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ПОВЕДЕНИЯ К-КИМРИТА ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ) И КОКЧЕТАВИТА ( $KAlSi_3O_8$ ) ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ ДО 20 ГПА

**Романенко А.В., Ращенко С.В., Корсаков А.В. (ИГМ СО РАН)**

[romanenko@igm.nsc.ru](mailto:romanenko@igm.nsc.ru); тел.: +7 (913) 932 53 77

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 18-17-00186*

В работе исследовано влияние природы и присутствия «гостевых» молекул на геометрию кристаллических структур К-кимрита и кокчетавита, а также на их поведение в условиях повышенных давлений и температур. Показано, что наличие молекулы  $H_2O$  в полости двойного тетраэдрического слоя стабилизирует структуру К-кимрита, предотвращая дитригональное искажение Al/Si-каркаса и сохраняя гексагональную симметрию шестичленных колец. При повышении давления различия между безводной и водосодержащей фазами усиливаются: в кокчетавите происходит дополнительная деформация каркаса, тогда как структура К-кимрита сохраняет симметрию благодаря стабилизирующей роли  $H_2O$ . Установлено, что температура удаления «гостевых» молекул из полостей структуры зависит от их природы и различается для  $H_2O$  и  $N_2$ . Показано, что «гостевые» молекулы выполняют как стерическую, так и химическую функцию, участвуя в формировании ионно-дипольных и водородных связей, стабилизирующих структуру минерала.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В МИНЕРАЛАХ  
ЛУННОГО РЕГОЛИТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

**Роскина Е.Г., Ключева М.В. (ГЕОХИ РАН)**

[roskina@geokhi.ru](mailto:roskina@geokhi.ru); тел.: 8 (926) 897 50 75

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Имплантация ионов солнечного ветра в минералы лунного реголита является ключевым фактором изменения свойств поверхности Луны и источником таких ценных летучих ресурсов, как водород, вода, гелий и другие.

В ходе экспериментального исследования проведено облучение ионами водорода синтетических монокристаллов кварца и форстерита с целью определения параметров имплантации. Образцы облучались ионами молекулярного водорода с энергией 5 кэВ и дозой  $5 \cdot 10^{15}$  молекул/см<sup>2</sup>. Распределение имплантированного водорода по глубине измерялось методом вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС).

В результате было установлено, что максимальная концентрация имплантированного водорода в кварце находится на глубине 810 Å, а в оливине – на глубине 620 Å. Полученные данные были сопоставлены с результатами моделирования в программном пакете SRIM. Расчетные значения глубины максимальной концентрации составили 1200 Å для кварца и 810 Å – для оливина. Расхождения между экспериментом и моделью объясняется распылением мишени ионным пучком, а также высокой погрешностью расчетов SRIM при низких энергиях. Тенденция изменения глубины имплантации от энергии иона подтверждается литературными данными.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ХЛОРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ Cu И Zn В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮИДАХ

Рубцова Е.А. (*геол. ф-т МГУ, ИГЕМ РАН*),

Тригуб А.Л. (*НИЦ "Курчатовский институт"*), Тагиров Б.Р. (*ИГЕМ РАН*)

[rkata@mail.ru](mailto:rkata@mail.ru); тел.: 8 (909) 998 81 08

*Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 26-17-00070*

С использованием капиллярного метода (аналог синтетических флюидных включений) были изучены хлоридные комплексы меди и цинка в гидротермальных флюидах методом рентгеновской спектроскопии поглощения. Эксперименты проводились на станции СТМ Курчатовского источника синхротронного излучения. Спектры Cu К-края были записаны при 400 и 450°C и 500-1000 бар в водных растворах, содержащих 0.5*m* HCl и 0.5*m* HCl + 5.0*m* NaCl. Как следует из анализа спектров EXAFS, основным комплексом Cu является CuCl<sub>2</sub><sup>-</sup>. Среднее расстояние между Cu и Cl составляет 2.12 ± 0.05 Å. Спектры К-края Zn (0.5*m* Zn) были записаны при температурах 25, 350, 400 и 450°C в 0.2*m* HCl + 1.0*m* NaCl. При высоких температурах спектры XANES близки к тетраэдрическим ZnCl<sub>2(cr)</sub>. Значение КЧ(Zn) близко к 4 при 350, 400 и 450°C (*P* = 500-1000 бар), при R(Zn-Cl) = 2.25 ± 0.03 Å. Планируется продолжить исследование химического состава рудообразующих гидротермальных флюидов, расширив диапазон *PTx* параметров.

УЛЬТРАТУГОПЛАВКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СНЗ ХОНДРИТЕ SAYH AL UHAUMIR 290

**Рязанцев К.М., Иванова М.А., Лоренц К.А., (ГЕОХИ РАН),**

**Щербаков В.Д. (геол. ф-т МГУ)**

[ryazan-konst@rambler.ru](mailto:ryazan-konst@rambler.ru); тел.: 8 (916) 350 69 50

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Ультратугоплавкие Са-Al-включения (UR CAIs) в углистом СНЗ хондрите Sayh al Uhaymir (SaU) 290 состоят из ультратугоплавких минералов, богатых Zr и Sc оксидов (аллендеит, кангит, тажеранит, варкит и Y-перовскит), гроссита, гроссманита, хибонита, мелилита и шпинели. Включения имеют однородный богатый  $^{16}\text{O}$  состав: большинство имеют  $\Delta^{17}\text{O} \sim -23 \pm 2\%$ ; одно включение слегка обеднено  $^{16}\text{O}$  ( $\Delta^{17}\text{O} \sim 17\%$ ). Наблюдается обогащение тяжелыми редкоземельными элементами (HREE) относительно более летучих легких редкоземельных элементов (LREE). Мы заключаем, что (1) ультратугоплавкие CAI из SaU 290 образовались в результате конденсации из газового резервуара с переменным, но в основном солнечным изотопным составом кислорода, скорее всего, вблизи протосолнца, и впоследствии были перенесены наружу в область аккреции СН хондритов. (2) Ультратугоплавкие оксиды и силикаты являются важными носителями ультратугоплавких REE-паттернов, которые зафиксировали их раннее фракционирование.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МАЛЫХ РЕК  
ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА Р. МОСКВА

**Салаватова Д.С., Фяйзуллина Р.В., Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)**

[salavatova-jamilya2012@yandex.ru](mailto:salavatova-jamilya2012@yandex.ru); тел.: +7 (922) 350 46 64

*Работа выполнена в рамках госбюджетного задания МГУ №121071200143-2*

Ртуть и её соединения относятся к веществам 1-го класса опасности по токсичности, по-разному проявляя миграционную активность в зависимости от формы нахождения: растворённой (атомарной, ионной, комплексной), коллоидной и сорбированной на взвешенных частицах. Это усложняет её идентификацию и количественную оценку в поверхностных водах. Предложена рабочая методика разделения и количественной оценки форм ртути в природных водах, включая: атомарную; ионную и связанную в слабые комплексы; органическую; сорбированную на взвеси. Проведены исследования концентраций ртути в различных компонентах природной среды (вода, взвесь, прилегающие почвы, донные отложения, растительность, снеговой покров, воздух) в малых реках г. Москвы (Пахра, Яуза, Сетунь, Котловка, Раменка, Чермянка, Коньковский ручей) с применением предложенной методики дифференциации её химических форм в воде. Показано, что измеренные валовые концентрации ртути не превышают известные ПДК, что минимизирует биодоступность и миграцию в растворённой фазе. Полученные данные свидетельствуют о низком риске острого загрязнения. Предложенная методика может быть рекомендована для мониторинга распределения форм ртути в антропогенно нагруженных водных системах.

ФОСФАТНЫЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР ДЛЯ U, Pu Am В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРЕСНОВОДНЫХ ОЗЕР

Сафонов А.В., Попова М.Б., Рябов В.М. (ГЕОХИ РАН), Артемьев Г.Д. (ИФХЭ РАН)  
[alexey safonof@gmail.com](mailto:alexey safonof@gmail.com); тел.: 8 (916) 912 10 59

Проведено лабораторное и термодинамическое моделирование накопления U, Pu и Am фитопланктоном и донными отложениями озера Дрязло (Тверская область), выбранного в качестве модельной системы, представляющей собой дистрофный водоем с относительно низкой продуктивностью. Установлено, что в течение одного вегетационного периода в условиях низкого трофического уровня можно ожидать сорбции на фитопланктоне  $5,41 \times 10^4$  Бк  $^{233}\text{U}$ ,  $6,64 \times 10^4$  Бк  $^{239}\text{Pu}$  и  $4,04 \times 10^4$  Бк  $^{241}\text{Am}$  на грамм биомассы. Прочность иммобилизации актинидов в донных отложениях зависит от их минерального состава, а также от активности и направленности микробных процессов. Добавление аммофоса в лабораторных экспериментах позволило увеличить и скорость удаления радионуклидов из жидкой фазы в 2–5 раза за счет увеличения продуктивности фитопланктона, а также значительно увеличить степень фиксации актинидов в донных отложениях за счет образования фосфатных фаз, а также активации анаэробных бактерий циклов серы и железа, способствующих формированию сульфидно-железистых минеральных фаз. Таким образом описан подход к созданию биогеохимического барьера для актинидов в донных отложениях, который можно использовать при выводе из эксплуатации водоемов-хранилищ РАО, а также для очистки естественных водоемов, подвергшиеся радионуклидному загрязнению.

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В ГРАНАТЕ: ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ, ДАВЛЕНИЮ И СОСТАВУ

**Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН)**

[oleg@iem.ac.ru](mailto:oleg@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 524 44 25

Грант РФФ 23-17-00066

ИК-спектры граната из мантийных ксенолитов, включений в алмазах и метаморфических пород высоких давлений показывают, что этот минерал - важный участник баланса  $H_2O$  в мантии и зонах субдукции. Имеющиеся экспериментальные данные демонстрируют увеличение содержания  $H_2O$  в гранате с давлением до  $>2000$  ррт в условиях переходной зоны и позволяют выявить зависимости растворимости  $H_2O$  в гранате от  $T$ ,  $f_{O_2}$  и состава граната. Данные 54 экспериментальных точек для гранатов с содержанием 130-1620 ррт  $H_2O$ , синтезированных при 2-25 ГПа и 900-2000°C, были аппроксимированы уравнением Гиббса для реакции  $Gr_t + nH_2O = Gr_t * nH_2O$ , где учтены  $f_{H_2O}$ ,  $X_{Al}$  и  $X_{Si}$  в позиции VI и  $X_{Ca}$  в позиции VIII. Оно воспроизводит содержание  $H_2O$  в гранате со средней точностью  $\pm 280$  ррт. Уравнение предсказывает барический максимум растворимости  $H_2O$  в гранате, зависящий от температуры, и негативное влияние мэйджоритового компонента в гранате. С учетом этих эффектов, содержание  $H_2O$  в гранате в верхней мантии может достигать  $\sim 600-800$  ррт вдоль субкратонной геотермы.

РОСТ НА ЗАТРАВКУ АІ-ТУРМАЛИНА - СТРУКТУРНОГО АНАЛОГА  
АЛЮМО-ОКСИ-РОССМАНИТА

**Сеткова Т.В., Верченко П.А., Спивак А.В., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**

[setkova@iem.ac.ru](mailto:setkova@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 47

*Исследование выполнено за счет гранта РФФ № 25-27-00194*

<https://rscf.ru/project/25-27-00194/>

В данной работе гидротермальным методом температурного перепада при 600/650°C и 150 МПа в растворах борной кислоты на природную затравку выращены кристаллы турмалина по составу относящиеся к синтетическому аналогу алюмо-окси-россманиита ( $\square\text{Al}_3\text{Al}_6(\text{Si}_5\text{AlO}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$ ). Новообразованный бесцветный слой турмалина в направлении пинакоида достигает толщины 700 мкм. Изучение выросшего слоя проводили с использованием электронно-зондового микроанализа (Tescan Vega II XMU с INCA Energy 450) и КР-спектроскопии (Acton SpectraPro-2500i). Турмалин данного состава, без преобладания дополнительных двух и трех валентных катионов, может быть использован в качестве эталона для изучения структурных и спектроскопических характеристик минералов надгруппы турмалина.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
КРИСТАЛЛОВ  $\text{LiGaSiO}_4$  И  $\text{LiGaGeO}_4$  СО СТРУКТУРОЙ ЭВКРИПТИТА

Сеткова Т.В., Кирюхина Г.В. (ИЭМ РАН, МГУ), Спивак А.В., Верченко П.А.,  
Ковалев В.Н. (ИЭМ РАН)

[setkova@iem.ac.ru](mailto:setkova@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 47

Источники финансирования: тема НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0002

Кристаллы эвкриптита  $\text{LiAlSiO}_4$  обладают литий-ионной проводимостью, радиационной стойкостью, и могут служить матрицей для различных люминесцентных материалов. В связи с этим, получение материалов на основе эвкриптита является актуальной задачей. Синтез проводили в гидротермальных условиях при температуре 600/650 °С и давлении 100 МПа в золотых ампулах объемом 2 мл с участием раствора 10 мас. %  $\text{LiOH}$ . Шихтовая смесь состояла из порошкообразных оксидов алюминия или галлия и кремния и/или германия в соотношении по стехиометрии близко к эвкриптиту. Продолжительность опытов 14 дней. В результате получены бесцветные кристаллы (до 500 мкм) трех составов:  $\text{LiAlSiO}_4$  ( $a=13.464(7)\text{Å}$ ,  $c = 9.034(4)\text{Å}$ ),  $\text{LiGaSiO}_4$  ( $a= 13.647(9)\text{Å}$ ,  $c= 9.126(5)\text{Å}$ ),  $\text{LiGaGeO}_4$  ( $a= 13.808(5)\text{Å}$ ,  $c= 9.201(5)\text{Å}$ ). Все кристаллы характеризуются тригональной пр. гр.  $R\bar{3}$ , со структурой  $\alpha$ -эвкриптита из группы фенакита. Методом КР-спектроскопии проведен сравнительный анализ положения основных полос в зависимости от состава.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ  
В СИСТЕМЕ Fe-Ni-P ПРИ 6 ГПа

Сидько Д.Е., Виноградова Ю.Г., Коваленко А.В., Геншпринг А.М., Шацкий А.Ф.,  
(ГЕОХИ РАН)

[shatskiy@geokhi.ru](mailto:shatskiy@geokhi.ru)

*Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 24-17-00253*

Фазовые взаимоотношения в системе Fe-FeP<sub>2</sub>-NiP<sub>2</sub>-Ni исследованы в экспериментах на многопуансонном прессе при 6 ГПа в интервале 900-1600 °С. Образцы исследовали на электронном микроскопе TESCAN с EDS приставкой. В системе установлены 5 промежуточных соединений: (Fe, Ni)<sub>3</sub>P, (Fe, Ni)<sub>2</sub>P, Ni<sub>8</sub>P<sub>3</sub>, Ni<sub>5</sub>P<sub>2</sub> и Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub>. Начало плавления системы контролируется эвтектикой Ni-Ni<sub>3</sub>P, расположенной при 950 °С и 20 мол% P. С увеличением температуры область расплава расширяется в сторону эвтектики Fe-Fe<sub>3</sub>P, которая установлена при 1075 °С и 16 мол% P. В системе установлены 8 полей первичной кристаллизации фаз Fe-Ni, Fe<sub>3</sub>P, (Fe, Ni)<sub>2</sub>P, Ni<sub>5</sub>P<sub>2</sub>, Ni<sub>8</sub>P<sub>3</sub> и Ni<sub>3</sub>P. °С. Максимальная растворимость фосфора в металлической фазе варьирует от 5 мол% в Fe при 1100-1250 °С до 3 мол% в Ni при 950-1050 °С. Доклад сконцентрирован на уточнении полей устойчивости промежуточных соединений, фосфидов, обогащенных никелем.

КОРОВЫЕ ФЛЮИДЫ: ТРИГГЕРЫ ИЛИ ИНДИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ ВЕДУЩИХ К ЭКСПЛОЗИВНЫМ ИЗВЕРЖЕНИЯМ?

**Симакин А.Г., Девятова В.Н. (ИЭМ РАН)**

[simakin@iem.ru](mailto:simakin@iem.ru); тел.: 8 (496) 525 853

Накоплен большой объем данных аналитических исследований продуктов взрывных извержений как кислого, так и основного состава. В результате анализа опубликованных данных по расплавленным включениям и заливам в кварце (Meysers et al., 2016) извержения НРТ Йеллоустона показано, что на начальной стадии извержения (pre НРТ-А) произошла продувка слоя магмы  $\text{CO}_2$ , обогащенного литием (Simakin and Devyatova, 2026). Процессы внутри камерной дегазации перед извержением заняли несколько дней. Детальный анализ опубликованных данных (Gordeychik et al., 2018) по составу оливинов взрывного базитового извержения влк. Шивелуч 7600 л.н. указывает на участие маловодного флюида в процессе смешения в глубинной камере предшествовавшего извержению. Процессы дегидратации и кристаллизации водоненасыщенной магмы в камере на глубине (Йеллоустон -7 км, Шивелуч -15÷20 км) за счет реакции магмы с маловодным флюидом ведут к росту давления. **Литература.** Gordeychik et al. (2018) *Sci Rep* **8**, 11775. Myers et al. (2016) *Earth Planet Sci Lett*, 451, 285-297. Simakin and Devyatova (2026) *AIMS Geosciences*, in press.

КАК ОЦЕНИТЬ ДАВЛЕНИЕ МОНОМИНЕРАЛЬНЫМ АМФИБОЛОВЫМ БАРОМЕТРОМ И НЕ ОШИБИТЬСЯ

**Симакин А.Г., Шапошникова О.Ю. (ИЭМ РАН)**

[simakin@iem.ru](mailto:simakin@iem.ru); тел.: 8 (496) 525 853

Мономинеральный амфиболовый барометр Ridolfi (2021) претендует на оценку не только давления, но и  $T$ . Наши экспериментальные данные по составу амфиболов выращенных из расплава высокомагнезиальных андезитов Шивелуча (Simakin et al., 2019) демонстрируют искусственный тренд оценок  $P(T)$  по Ridolfi (2021) с систематическими отклонениями от заданных  $PT$  условий опытов. Эффект искусственного  $P(T)$  тренда сказывается при применении барометра Ridolfi (2021) к анализу современных извержений влк. Шивелуч (Goltz et al., 2020). Попытка использования этого барометра для оценки глубины магматической камеры щелочных базальтов на острове Ла Пальма по составу амфиболов из ультрамафитовых ксенолитов приводят к катастрофическому результату:  $1170 \pm 140$  и  $3800 \pm 450$  МПа. Наш барометр с учетом эффекта титанового оксиамфибола дает верные оценки 100 и 350 МПа, отвечающие геофизическим и петрологическим (по ФВ) данным. Барометры с физико-химической основой в сложных ситуациях выигрывают у формальных моделей в стиле ИИ. **Литература.** Ridolfi (2021) *Minerals*, 11, 324; Goltz et al. (2021) *СМР* 75:115; Simakin et al. (2019) *Petrology*, 27, 442–459.

СИНТЕЗ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЛЮДЫ  $K_2Mg_5(Si_4O_{10})_2(OH)_4$

**Спивак А.В., Сеткова Т.В., Кузюра А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН), Горнова Е.С., Бенделиани А.А., Бобров А.В. (МГУ), Вайтиева Ю.А., Аксенов С.М. (КНЦ РАН)**

[spivak@iem.ac.ru](mailto:spivak@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 76

*Источники финансирования: темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0001 и № FMUF-2022-0002, РНФ № 24-77-00031, тема КНЦ РАН № 122011300125-2*

Синтетическая высококремниевая слюда с химической формулой  $K_2Mg_{5.019}Al_{0.03}Si_{7.949}O_{20}(OH)_4$  была получена в виде спонтанных кристаллов размером до 1 мм методом гидротермального синтеза при 600-650 °С и 150 МПа в установке высокого газового давления (ИЭМ РАН). По химическому составу синтезированная слюда соответствует Mg-аналогу монтдорита и (OH)-аналогу янгжумингита. Параметры элементарной ячейки:  $a = 5,2599 (1) \text{ \AA}$ ,  $b = 9,1056 (1) \text{ \AA}$ ,  $c = 10,1917 (1) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 99,969 (1)^\circ$ , пространственная группа  $C2/m$ . Структура характеризуется триоктаэдрическим расположением, где магний распределен по октаэдрическим позициям  $M1$  и  $M2$ . Тетраэдрические слои преимущественно заняты кремнием, а алюминий выступает лишь в качестве незначительной примеси, что позволяет отнести синтезированную фазу к высококремниевым слюдам.

ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ИОНОВ В ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛАХ И СТЕКЛАХ

Старкова Е.Н., Старков Н.И., Полухина Н.Г., Окатьева Н.М. (ФИАН), Сеткова Т.В., Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН)  
[starkovaen@lebedev.ru](mailto:starkovaen@lebedev.ru)

В Лаборатории элементарных частиц ФИАН изучается возможность использования различных диэлектриков в качестве материалов для детекторов ионов, способных сохранять треки при нагревании. В условиях высоких температур может происходить отжиг (полное или частичное исчезновение) треков в диэлектрическом детекторе, степень которого зависит, в первую очередь, от температуры и времени термического воздействия.

Авторами была проведена серия работ по исследованию регистрирующих свойств различных материалов в разных температурных условиях облучения и обработки. Для имитации условий эксперимента по регистрации фрагментов распада сверхтяжёлых ядер в термохроматографической колонке некоторые из облучённых образцов нагревались до температур 300 и 500°C.

В результате показаны итоги эксперимента для образцов, облучённых ускоренными ионами, особенности треков в зависимости от материала и отжига. Также представлены результаты регистрации и анализа характеристик треков различных частиц в оливинах из метеоритов.

СИСТЕМА  $\text{CaCO}_3\text{-CaF}_2$  ПРИ 6 ГПа

**Степанов К.М., Шацкий А.Ф., Коваленко А.В., Виноградова Ю.Г., Шацкая Д.В., Шевчук А.С., Овсянников Г.Н., Сидько Д.Е., Никитин М.А. (ГЕОХИ РАН)**

[stepanov.km@geokhi.ru](mailto:stepanov.km@geokhi.ru); тел: 8 (913) 730 47 04

*Государственное задание ГЕОХИ РАН, тема № FMMZ-2024-0056*

Фтор является важным компонентом богатых карбонатами глубинных магм, кимберлитов, лампроитов и карбонатитов. Предшествующие исследования системы  $\text{CaF}_2\text{-CaCO}_3$  при 0.1 ГПа показали, что в условиях коры добавление фтора в виде  $\text{CaF}_2$  значительно, на 450 °С, понижает температуру плавления карбонатной системы. Поскольку  $\text{CaCO}_3$  не образует ограниченных твердых растворов с  $\text{CaF}_2$ , даже незначительные содержания фтора в системе должны обеспечивать столь значительное понижение температуры плавления.

Согласно полученным экспериментальным данным добавление фтора в виде  $\text{CaF}_2$  к  $\text{CaCO}_3$  понижает температуру плавления на 600 °С, и приводит к образованию кальциевого карбонатного расплава, содержащего 15-16 мас.% F ( $\text{CO}_3\# = 60$ ), при 1100 °С. Для сравнения, введение  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{K}_2\text{CO}_3$  понижает температуру плавления только до 1300 °С. Таким образом, фтор оказывает гораздо большее флюсующее воздействие на плавление  $\text{CaCO}_3$  нежели щелочные компоненты, обеспечивая устойчивость кальциевого карбонатного расплава при геотермальных условиях субконтинентальной литосферной мантии (35-40 мВт/м<sup>2</sup>).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ МОЛИБДЕНИТА В АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

Сук Н.И., Котельников А.Р., Некрасов А.Н., Неретина А.Н. (ИЭМ РАН)

[sukni@iem.ac.ru](mailto:sukni@iem.ac.ru); тел. +7 (496) 522 58 65

*Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004*

Экспериментально изучалась растворимость молибденита ( $\text{MoS}_2$ ) в алюмосиликатных расплавах различной щелочности при  $T=900^\circ\text{C}$  и  $P=2$  и  $4$  кбар в сухих условиях и в присутствии  $10$  мас. %  $\text{H}_2\text{O}$ . Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпаитности, а также природный молибденит. Было обнаружено, что растворимость молибденита зависит от состава алюмосиликатного расплава  $((\text{Na}+\text{K})/\text{Al})$ . При этом в сухих расплавах при  $4$  кбар содержания  $\text{MoO}_3$  в расплаве с  $K_{\text{agp}} > 2$  не превышают  $0.2$  мас.%, а в водосодержащих расплавах с  $K_{\text{agp}} < 1.5$  составляют  $\sim 0.4-0.8$  мас.%. В водонасыщенных расплавах происходит частичное окисление сульфидной серы до сульфатной с образованием выделений щелочного ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) сульфатного расплава с включениями щелочного молибдата. В сухих расплавах при агпаитности стекла  $\sim 2.6$  и в водосодержащих расплавах при агпаитности стекла  $\sim 1.4$  в стекле вокруг кристаллов молибденита наблюдается образование кристаллов полевых шпатов.

## ВЛИЯНИЕ ПЛЮМОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ БАЗАЛЬТОВ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

Сущевская Н.М. (ГЕОХИ РАН), Баранов А.А. (ИФЗ РАН)

[nadyas@geokhi.ru](mailto:nadyas@geokhi.ru);

*Работа выполнена в рамках Гос. задания ГЕОХИ РАН*

Формирование плюма Кергелен около 135 млн лет назад в пределах Индийского океана, как производного от плюма Кару–Мод, существенно сказалось на магматизме окраинных частей Индии, Антарктиды и Австралии, а затем на образовании многочисленных подводных поднятий. Применение модели 3-D модели термоплотностной конвекции в сферическом мантийном к современной картине строения литосферы вблизи и под Антарктидой показало, что четко вырисовывается термальная аномалия, связанная с распространением плюмового вещества субгоризонтальными течениями для района 69–70 ю.ш., простирающаяся от приблизительно района Тройного Сочленения Буве до плато Кергелен. Это служит возможным доказательством распространения долгоживущего плюма (Кергелен) с мезозоя до нашего времени под южной частью Индийского океана.

Существование подобного плюма в пределах раскрывающегося Индийского океана обусловило сложную тектонику и специфику образующегося спредингового магматизма, приводя к остаточным многочисленным неспрединговым фрагментам континентальной литосферы вблизи рифтовых зон, а также к формированию крупных поднятий подобных хребтам 90,85, поднятиям Аф. Никитина, Конрад. По данным петролого-геохимического изучения магматизма источником обогащенных магм, формирующих поднятия, является астеносферная деплетированная мантия с варьирующей примесью гетерогенной литосферной мантии, включенной процесс плавления. При этом создаются условия существования долгоживущих промежуточных очагов в условиях прогретой океанической литосферы.

РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ДЛЯ МРТС «ТЯЖЕЛЫЙ РОБОТ-ГЕОЛОГ» НА ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ЛУНЫ

**Турчинская О.И., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)**

[turchinskaya@geokhi.ru](mailto:turchinskaya@geokhi.ru); тел.: 8 (916) 433 41 04

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Региональная и крупномасштабная геологическая, геохимическая и геофизическая съемка и разведка является основным методом геологического и геофизического картирования, поисков и разведки ресурсов и оценки их прогнозных запасов и одним из основных методов исследования и решения приоритетных фундаментальных и научно-прикладных задач исследования и освоения Луны.

На современном этапе исследования и освоения Луны с этими задачами способен справиться тяжелый луноход «Робот-Геолог».

Луноход наиболее целесообразно использовать для детального изучения региональных геологических образований и структур, где по маршруту могут встречаться комплексы горных пород разного возраста, генезиса, состава и спектрального класса.

В качестве максимально оптимальной территории для исследования геологически разнообразных структур и разновозрастных пород были выбраны окрестности вулканической провинции Монс Рюмкер.

Изучив данные разных лет, нами были разработаны три маршрута для исследования, пересекающий все возрастные группы морских базальтов.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  $\text{Eu}_3\text{TaO}_7$  СО СТРУКТУРОЙ ВЕБЕРИТА

**Тюрин А.В., Никифорова Г.Е., Гагарин П.Г., Гуськов А.В., Гуськов В.Н.,  
Гавричев К.С. (ИОНХ РАН)**

[tyurin@igic.ras.ru](mailto:tyurin@igic.ras.ru); тел.: +7 (909) 658 90 15

*Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН.*

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда РФФ 18-13-00025,  
<https://rscf.ru/project/18-13-00025>*

Работа посвящена изучению термодинамических свойств кристаллического танталата европия  $\text{Eu}_3\text{TaO}_7$  как модельного представителя соединений со структурой минерала веберита.

Танталат европия был получен методом обратного осаждения. По данным РФА образец  $\text{Eu}_3\text{TaO}_7$  является однофазным и имеет структуру веберита (пр.гр.  $C222_1$ ).

Измерения теплоемкости проводили методами релаксационной и адиабатической калориметрии. Температурная зависимость теплоемкости  $\text{Eu}_3\text{TaO}_7$  представляет собой монотонно возрастающую кривую. По результатам измерений теплоемкости получены термодинамические функции.

Задачей работы явилось подтверждение особенностей структуры минерала веберит методами калориметрии при помощи фрактальной модели. Фрактальная модель описания теплоемкости, разработанная в ИОНХ РАН, дает возможность связать фрактальную размерность с геометрической размерностью структуры. В области низких температур фрактальная размерность позволяет судить о размерности кристаллической структуры веберита.

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ И РЕНИЙ В ПОРОДАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ,  
СВЯЗАННЫХ С СЕРПЕНТИНИТАМИ

**Тютюнник О.А., Набиуллина, С.А., Кубракова И.В. (ГЕОХИ РАН)**

[NMLab@geokhi.ru](mailto:NMLab@geokhi.ru); тел. 8 (499) 137 75 26

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Методом МС-ИСП получены данные о содержаниях БМ и Re (0,1 - 10n ppb) и исследовано распределение этих элементов в породах океанической коры, вмещающих гидротермальные поля Логачев и Ашадзе. Выявлены закономерности поведения ЭПГ в рассмотренных гидротермальных системах, включая низкую подвижность платиноидов и их фракционирование. Показано преобладание легких халькофильных элементов (Au, Pd, Ag, Re) и высокие отношения Pd/Ir в образцах, отобранных в непосредственной близости от источников; для этих же образцов получены максимальные значения отношения Pd/Pt. Причиной фракционирования ЭПГ может быть перераспределение элементов в процессе магматических и постмагматических преобразований при участии гидротермального флюида.

Предполагается, что перенос Au, Pd, Re в океанических условиях может осуществляться в виде растворенных комплексных соединений элементов с неорганическими и органическими лигандами, а также путем псевдоколлоидного транспорта комплексных и наноразмерных форм Au, Pd, Ag органоминеральными частицами.

РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЛИЩЕЛОЧНОЙ СИЛИКАТНОЙ СИСТЕМЕ (НА ПРИМЕРЕ  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ )

Федяева М.А. (ГЕОХИ РАН), Королева О.Н. (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН)

[femaal.femaal3@yandex.ru](mailto:femaal.femaal3@yandex.ru);

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20015,*

*<https://rscf.ru/project/25-17-20015/>*

В данной работе представлены результаты расчетного моделирования процессов стеклообразования и кристаллизации в системе  $\text{Li}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ , содержащей равные доли лития и калия. Методом первопринципного моделирования были установлены области устойчивости системы  $x\text{Li}_2\text{O}-x\text{K}_2\text{O}-(100-2x)\text{SiO}_2$ . Показано, что неравномерное распределение катионов  $\text{Li}^+$  и  $\text{K}^+$  между структурными единицами различной степени полимеризации определяет особенности строения смешаннощелочных стекол и влияет на фазовый состав продуктов кристаллизации. Когда суммарное содержание оксидов щелочных металлов в системе не превышает 33 мол. %, наблюдается образование  $\text{SiO}_2$  и смешанного дисиликата  $\text{LiKSi}_2\text{O}_5$ . По мере увеличения содержания щелочных металлов фазовый состав изменяется. Содержание дисиликата уменьшается, тогда как метасиликаты лития и калия образуют две отдельные фазы. Пиросиликатный компонент появляется в системе в виде смешанного силиката  $\text{KLiSiO}_4$ , когда содержание щелочных металлов превышает 50 мол. %. Сопоставление результатов моделирования с данными рамановской спектроскопии и рентгенофазового анализа показало качественное согласие расчета и эксперимента, что подтверждает перспективность комплексного подхода для прогноза структуры и фазовых превращений в силикатных стеклообразующих системах.

КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРВИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ КСЕНОНА И ИЗБЫТКОВ ИЗОТОПОВ  $^{128}\text{Xe}$  И  $^{129}\text{Xe}$  В ОБОГАЩЕННЫХ НАНОАЛМАЗОМ ФРАКЦИЯХ МЕТЕОРИТОВ

**Фисенко А.В., Семенова Л.Ф. (ГЕОХИ РАН)**

[anat@chgn.net.ru](mailto:anat@chgn.net.ru); тел.: 8 (903) 126 95 35

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Выявление избыточных содержаний изотопов  $^{128}\text{Xe}$  и  $^{129}\text{Xe}$  в обогащенных наноалмазом фракциях (ОНФ) метеоритов – перспективная цель использования идентифицированных нами первичных компонентов ксенона. Сравнительный анализ вычисленных избытков  $^{128}\text{Xe}$  и  $^{129}\text{Xe}$  в ОНФ метеоритов разных химических классов и петрологических типов показал следующее. 1. Избытки  $^{129}\text{Xe}$  локализованы, в основном, в алмазоподобной кайме на зернах фаз носителей компонентов ксенона. Избытки  $^{129}\text{Xe}$  и какие-либо компоненты ксенона не коррелируют между собой. Вероятно, избытки  $^{129}\text{Xe}$  обусловлены имплантацией и/или хемосорбцией изотопов йода, в том числе радиоактивного  $^{129}\text{I}$ , импрегнированного в протосолнечную туманность. Сохранность захваченных изотопов йода веществом ОНФ существенно зависит от условий метаморфизма родительских тел метеоритов. 2. Выделение избыточных содержаний  $^{128}\text{Xe}$  при пиролизе ОНФ метеоритов происходит на начальной стадии интенсивного разрушения зерен фаз носителей изотопно аномальных компонентов ксенона. Вероятно, основная доля избытков  $^{128}\text{Xe}$  - результат ядерных реакций тепловых нейтронов с атомами  $^{127}\text{I}$  в зернах SiC - одной из фаз носителей аномальных компонентов ксенона. Поэтому доза облучения вещества метеоритов нейтронами - существенный фактор наблюдаемых различных содержаний избытков  $^{128}\text{Xe}$  в ОНФ разных метеоритов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ Fe,Mg,Ca-КАРБОНАТОВ С СЕРОЙ ПРИ P,T-ПАРАМЕТРАХ  
ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ

**Фурман О.В., Баталева Ю.В., Борздов Ю.М., Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН)**

[furmano@igm.nsc.ru](mailto:furmano@igm.nsc.ru); тел.: +7 (913) 797 70 73

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00032,*

<https://rscf.ru/project/24-17-00032>

Экспериментальные исследования, направленные на оценку возможности кристаллизации алмаза при взаимодействиях карбонатов щелочноземельных и переходных металлов с серой, а также на характеризацию полученных кристаллов алмаза и включений в них, проведены на многопуансонном аппарате высокого давления «разрезная сфера» (БАРС) при постоянных  $P, T, t$ -параметрах:  $P=6.3$  ГПа,  $T=1550$  °С и  $t=20$  часов, в системах Mg,Ca-карбонат–сера с различными отношениями CaO/MgO и Fe,Mg,Ca-карбонат–сера с переменными пропорциями FeO/CaO/MgO. Установлено, что в системах щелочноземельный карбонат–сера формируется Ca,Mg-карбонатный расплав с растворенной серой, который является средой роста алмаза. Стабильной формой роста кристаллов алмаза является октаэдр, при этом увеличение Ca# системы сопровождается повышением скорости роста граней {111}. Установлено, что в системе Fe,Mg,Ca-карбонат–сера средой кристаллизации и источником углерода алмаза является расплав Mg,Fe,Ca-карбоната с растворенной серой, а рост алмаза происходит при редокс взаимодействии сульфидного и карбонатного расплавов. С увеличением Fe# происходит повышение скоростей роста граней, изменение преобладающих элементов микрорельефа и увеличение количества и размера включений, а также эволюция их фазового состава.

ДИССОЦИАЦИЯ ОЛИВИНА И ПИРОКСЕНА В УДАРНЫХ И АБЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

**Хисина Н.Р., Камашева С.К., Яковлев О.И. (ГЕОХИ РАН)**

[khisina@gmail.com](mailto:khisina@gmail.com); тел.: 7 (968) 096 01 75

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

На основе собственных и литературных данных рассмотрены возможные механизмы диссоциации оливина и пироксена (реакции  $Mg_2SiO_4 = MgSiO_3 + MgO$  и  $2MgSiO_3 = Mg_2SiO_4 + SiO_2$ ) в ударных и абляционных процессах. Результаты, полученные ранее при изучении силикатных космических сферул (КС) (Хисина и др., 2015) и при исследовании твердого конденсата – продукта лазерного эксперимента по испарению оливина при  $T \approx 4000^{\circ}C$  (Герасимов, Яковлев и др. 2016), интерпретированы в свете новых литературных данных как свидетельства диссоциации оливина и пироксена в системах расплав-газ в процессах абляции (суперликвидусные температуры, низкое давление). Химические составы продуктов абляционной трансформации оливина и пироксена соответствуют составам фазовых ассоциаций, образующихся в результате инконгруэнтного плавления этих минералов в условиях ударного метаморфизма (высокие давления и температуры).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОРБЦИИ АЛМАЗА С-О-Н ФЛЮИДОМ В ТВЁРДОТЕЛЬНОЙ МАТРИЦЕ ДИОПСИДА/ФОРСТЕРИТА

**Хохряков А.Ф., Новосёлов И.Д., Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН)**

[khokhr@igm.nsc.ru](mailto:khokhr@igm.nsc.ru); тел. 8 (913) 204 92 31

*Грант РФФ № 24-17-00032*

В последние годы появились данные по составу мантийных минералов, свидетельствующих о возможности реализации в литосферной мантии в результате метасоматоза окислительных условий, потенциально достаточных для дестабилизации алмаза. В качестве основных равновесий, определяющих окислительно-восстановительную устойчивость алмаза/графита в верхней мантии, являются равновесия EMOD и DCDD. Равновесие EMOD определяет форму нахождения углерода в ассоциациях с оливином. В отсутствии оливина в эклогитовом парагенезисе, состояние углерода определяется равновесием DCDD. В настоящем исследовании представлены результаты экспериментальных исследований по резорбции алмаза в агрегате форстерита и диопсида в присутствии небольшого количества воды (1-3 мас.%). Эксперименты проведены на многопуансонном аппарате высокого давления при давлении 6,3 ГПа, температурах 1000 °С и 1300 °С, длительности от 10 до 30 часов и фугитивности кислорода на уровне буферов WM (вюстит-магнетит) и MH (магнетит-гематит). Полученные данные по фазовому составу образцов после экспериментов, а также по морфологии растворения кристаллов алмаза свидетельствуют о возможности реализации подобных процессов при мантийном метасоматозе.

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД КУВИНСКОЙ ПЕЩЕРЫ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

**Цельмович В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН), Голованова Л.В., Дороничева Е.В., Дороничев В.Б. (АНО в области гуманитарных и естественнонаучных исследований «Лаборатория доистории»), Куражковский А.Ю. (ГО «Борок» ИФЗ РАН)**

[tselm@mail.ru](mailto:tselm@mail.ru), тел.: 8 (906) 632 74 48

*Работа по отбору образцов и микроскопическому анализу выполнена в рамках проекта РНФ №24-18-00971. Изучение магнитных свойств и обработка результатов микроскопического анализа выполнены по методикам, отработанным в рамках госзадания ИФЗ РАН*

Осадочные породы пещер Кавказа представляют собой уникальный природный архив геологической истории. Отложения содержат информацию о климатических изменениях, процессах эрозии и седиментации, а также о взаимодействии биосферы и литосферы. Одним из ключевых инструментов изучения происхождения и эволюции этих пород являются магнитные минералы. Микроструктура около 1000 частиц из отложений 5 слоёв (15 образцов) Кувинской пещеры, отобранных сотрудниками «Лаборатории доистории», проанализированы микроскопическими методами в ГО «Борок» ИФЗ РАН. В пробах обнаружены железосодержащие частицы - обломочные и окатанные, частицы вулканической пыли (слой 5, обр. №2), гематитовые иглы. Найдены частицы фоновой космической пыли и микрометеоритов, некоторые из которых, с наноразмерной структурой, обнаруженные в образце №8, отобранном на контакте слоёв 3 и 4, можно отнести к кометному веществу. Особенностью микрочастиц из изученного разреза были железистые плёнки, покрывающие практически все частицы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕТЕРОФАЗНО ОКИСЛЕННЫХ ТИТАНОМАГНЕТИТОВ В  
ДИАГНОСТИКЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

**Цельмович В.А., Афиногенова Н.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН)**

[tselm@mail.ru](mailto:tselm@mail.ru); тел.: 8 (906) 632 74 48

*Работа выполнена по госзаданию ИФЗ РАН*

Использование гетерофазно окисленных титаномагнетитов, как наиболее распространённых носителей намагниченности горных пород, в диагностике пригодности образцов для палеомагнитных исследований существенно расширило возможности палеомагнетизма, позволив глубже проникнуть в понимание эволюции магнитного поля Земли и связанных с этим процессов. Дальнейшие разработки методик обработки и интерпретации данных обещают открыть новые горизонты в изучении глубинных механизмов функционирования Земли. Окисление титаномагнетита стабилизирует его магнитные свойства, делая их менее чувствительными к последующим изменениям температуры и давления. Это важно для сохранения первичной намагниченности породы, которая отражает состояние магнитного поля Земли в момент образования породы. Конкретные случаи успешного применения детальных микроскопических исследований гетерофазно окисленных титаномагнетитов в палеомагнитных исследованиях образцов протерозойского возраста могут быть использованы и для новых объектов. Применение электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии для визуализации распределения фаз и выявления микроструктурных особенностей, в сочетании с магнитными данными, позволило создать пополняемый в процессе продолжающихся исследований набор признаков для отбора образцов, пригодных для палеомагнитных исследований.

ЧТО ОЗНАЧАЕТ ОБНАРУЖЕНИЕ ВОДОРОДА В АРХЕОЛОГИЧЕСКОМ АРТЕФАКТЕ?

**Цельмович В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН),**  
**Камышов А.Н. ООО («ОП» Балтик Эскаорт холдинг)**

[tselm@mail.ru](mailto:tselm@mail.ru); тел.: 8 (906) 632 74 48

*Работа выполнена по госзаданию ИФЗ РАН*

Найден археологический артефакт – молот, состоящий из технически чистого железа. (ТЧЖ). Находки метеоритов с железом такой чистоты не известны, а древние металлурги не владели технологиями получения ТЧЖ. Поэтому возникла необходимость рассмотрения иных версий происхождения. Задачей исследования было показать, что артефакт сделан не из выплавленной стали или из метеорита, а из материала природного происхождения. Было высказано предположение о том, что металл молота может содержать большое количество водорода (Н). Анализ подтвердил сделанное предположение: в образце было обнаружено аномально высокое количество Н. Испытания проводились с использованием анализатора водорода АВ-1. Определение массовой доли Н производилось методом вакуум-нагрева по ГОСТ 21132.1-98. Результат позволяет обоснованно утверждать, что находка имеет природное происхождение, связанное с Н, и является доказательством в пользу гипотезы изначально гидридной Земли В.Н.Ларина. Такая находка с аналитическим обоснованием является первой, но не может быть единичной. Поиск новых объектов можно осуществлять благодаря тому, что сделанная находка обладает свойством сверхпластичности, что может быть критерием поиска образцов наводороженного железа.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И СОСТАВ БИОТИТА,  
КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ ИЗ ГРАНИТНОГО РАСПЛАВА

**Чевычелов В.Ю., Вирюс А.А. (ИГЕМ РАН)**

[chev@iem.ac.ru](mailto:chev@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 61

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

Экспериментально изучено влияние температуры в диапазоне от 750° до 620°С при давлении 110 – 120 МПа на состав и условия образования кристаллизующегося из гранитного расплава биотита в зависимости от содержания фтора и хлора в системе. Использованы расплавы биотитовых гранитов Хангилайского массива (Восточное Забайкалье) и водные растворы кислот следующей концентрации: 5М HF + 5М HCl; 1М HF + 1М HCl; 5М HF + 1М HCl. Исходное весовое соотношение раствор/гранитное стекло составляло около 1/10. Первые сутки опыт выдерживался в надликвидусных условиях при  $T = 830^{\circ}\text{C}$ , а затем температура опускалась ниже ликвидуса и опыт продолжался при одной из трех температур 750°, 720° и 620°С. Общая длительность экспериментов была от 10 до 14 суток.

Полученные результаты сопоставлены с составами и содержаниями фтора и хлора в биотитах из природных гранитов Хангилайского массива.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА И ХЛОРА МЕЖДУ БИОТИТОМ, АПАТИТОМ И  
РАСПЛАВОМ ВОДОНАСЫЩЕННОГО РЕДКОМЕТАЛЬНОГО БИОТИТОВОГО  
ГРАНИТА

**Чевычелов В.Ю., Вирус А.А. (ИГЕМ РАН)**

[chev@iem.ac.ru](mailto:chev@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 61

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

Экспериментально исследована кристаллизация ликвидусного биотита и апатита из расплава редкометальных гранитов в водонасыщенных условиях при давлении около 100 МПа и температуре 750°C в зависимости от содержания фтора и хлора в системе. В экспериментах использованы расплавы, полученные плавлением биотитовых гранитов Хангилайского массива (Восточное Забайкалье), и водные растворы кислот и солей: 1М HF + 1М HCl; 2М HF + 2М KF; 5М HF + 1М HCl. Исходное весовое соотношение раствор/гранитное стекло составляло 1/10. Одни сутки опыт выдерживался в надликвидусных условиях при  $T = 830^{\circ}\text{C}$ , а затем температура опускалась ниже ликвидуса до 750°C. Общая длительность экспериментов была от 10 до 14 суток.

В итоге проведенных экспериментов определены химические составы кристаллизующихся биотита, апатита и гранитного расплава, а также содержания фтора и хлора в них в зависимости от исходных содержаний фтора и хлора в системе. Рассчитаны фтор/хлор соотношения в сосуществующих фазах. Полученные результаты сопоставлены с составами и содержаниями фтора и хлора в биотитах и апатитах из природных гранитов Хангилайского массива.

ПРИМЕНИМОСТЬ БОРАНА АММИАКА КАК ИСТОЧНИКА ВОДОРОДА В  
ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ЯЧЕЙКОЙ С АЛМАЗНЫМИ НАКОВАЛЬНЯМИ

**Черткова Н.В., Спивак А.В., Захарченко Е.С., Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН)**

[nadezda@iem.ac.ru](mailto:nadezda@iem.ac.ru); тел.: 8 (496) 522 58 76

*Источники финансирования: тема НИР ИЭМ РАН (FMUF-2022-0001)*

Боран аммиака ( $\text{BH}_3\text{NH}_3$ ) используется в экспериментальной петрологии как лабораторный источник водорода, бора и азота. В настоящей работе исследовано термическое разложение этого соединения до температуры  $300\text{ }^\circ\text{C}$  в ячейке с алмазными наковальнями с применением спектроскопии комбинационного рассеяния. Полученные результаты показали, что боран аммиака может быть эффективно использован для генерации водорода в рабочем объеме ячейки уже при температуре около  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Однако образование многочисленных пузырей существенно ухудшает визуальный контроль и качество спектров комбинационного рассеяния. Таким образом, применение данного соединения для создания восстановительной среды в ячейке с алмазными наковальнями сопряжено с ухудшением качества оптических снимков и анализа.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРВИЧНОГО РАСПЛАВА КОМАТИИТОВ ВЕЛТЕВРЕДЕН:  
ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ КОНТАМИНАЦИЯ И ЕЕ ИСТОЧНИКИ

**Чугунов А.В. (ГЕОХИ РАН), Соболев А.В. (ISTerre, Гренобль, Франция)**

[chugunov@geokhi.ru](mailto:chugunov@geokhi.ru);

*Работа выполнена в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН*

Коматииты - самые высокотемпературные и магниезальные лавы Земли, являющиеся ключевыми свидетелями эволюции мантии. Включения в фенокристаллах оливина, первого минерала кристаллизации расплава, сохраняют уникальную информацию о составе ранней мантии планеты. Первичный расплав коматиитов Велтевреден (зеленокаменный пояс Барбертон, 3.27 млрд лет) был реконструирован по значительным корреляциям Ti-нормализованных концентраций несовместимых элементов с Cl/Ti - прокси контаминации, не зависящий от фракционной кристаллизации оливина. Сильные положительные корреляции были выявлены между Cl/Ti и K/Ti, Rb/Sr, Pb/Ti и др. Исходно предложенная однокомпонентная модель контаминации высокосолёным рассолом недостаточна: для баланса Cl требуется очень низкая  $\delta^{18}\text{O} < -30\%$ . В данном исследовании предлагается двухкомпонентную модель: первый компонент - 20 мас.% частичного расплава (50% плавления) серпентинита из оливиновых кумулятов ( $\delta^{18}\text{O} \sim 2.2\%$ , сходен с серпентинитами Велтевреден); дополнительный -  $<1.5$  мас.% рассола (солёность  $\sim 30\%$  NaCl).

НОВЫЕ ДАННЫЕ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ О СОДЕРЖАНИИ ВОДЫ И НЕОДНОРОДНОСТИ МАНТИИ В MORV-ПОРОДАХ ИЗ ТРОЙНОГО СОЧЛЕНЕНИЯ БУВЕ

**Чугунов А.В., Крашенинников С.П., Шишкина Т.А., Кривенко А.П. (ГЕОХИ РАН)**  
[chugunov@geokhi.ru](mailto:chugunov@geokhi.ru);

*Работа выполнена в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН*

Вода существенно влияет на физико-химические свойства магм, делая её количественное определение ключевой петрологической задачей при работе с природными объектами. Новые данные рамановской спектроскопии базальтовых стекол Тройного Сочленения Буве (ТСБ) были получены при помощи КР-спектрометра Renishaw InVia (ГЕОХИ РАН). Калибровка спектрометра выполнена на синтетических силикатных стёклах с известным H<sub>2</sub>O (ИК-спектроскопия, титрование Карла-Фишера). Выделены два основных типа расплавов: расплавы Срединно-Атлантического хребта (САХ) с низкими содержаниями воды (~0.2 вес.%), второй – Юго-Западного Индийского Хребта (ЮЗИХ), обогащенные водой (до 1 вес.%). Не было обнаружено корреляции между содержанием воды в расплаве и глубиной излияния (отбора) лавы (400 – 2750 м) – вариации содержаний воды не являются артефактом дегазации базальтов. Изученные стекла имеют положительную корреляцию между содержанием воды и другими летучими, такими как Cl и F, а также подвижными элементами типа K. Новые данные указывают на необходимость переосмысления роли воды в эволюции магматизма ТСБ и динамике смешения источников.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНЕЦИЙСОДЕРЖАЩИХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ ОСАДКОВ В  
КОНЦЕПЦИИ РЕАКТИВНОГО БАРЬЕРА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Шалугина Е.А. (РХТУ), Абрамова Е.С., Артемьев Г.Д. (ИФХЭ РАН),  
Тюпина Е.А (РХТУ), Герман К.Э. (ИФХЭ РАН), Сафонов А.В. (ГЕОХИ РАН)  
[shaluginay2002@mail.ru](mailto:shaluginay2002@mail.ru); тел.: 8(977) 801 95 33

Технеций-99 – долгоживущий радионуклид с высокой миграционной способностью в окислительных условиях в форме пертехнетата ( $TcO_4^-$ ), поэтому для надежной изоляции необходимы условия его восстановления в малорастворимую форму  $Tc(IV)$ . Железосодержащие материалы, способны не только восстанавливать  $Tc(VII)$  но и надежно фиксировать его в минеральных фазах. Поэтому реактивные барьеры на их основе являются эффективным способом ограничения его миграции в окружающей среде. В данной работе исследованы природные железосодержащие материалы (оксиды железа, бурый железняк, сидерит, пирит) и их синтетические аналоги в аэробных и анаэробных условиях. Эксперименты по иммобилизации технеция проводились при соотношении т:ж = 1:20 с использованием модельных растворов с  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  моль/л  $NaTcO_4$ . Установлено, что осаждение железа при pH 7–12 формирует наиболее устойчивые фазы для иммобилизации технеция. Наиболее эффективными как в аэробных, так и анаэробных условиях оказались системы с  $Fe(II)$  и сульфид-ионами (91–99% иммобилизации) в которых до 60% технеция находилось в прочно связанной форме.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ СИСТЕМЫ  $\text{Cs}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$  ПО ДАННЫМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И РФА

**Ширибазарова Э.Б., Неволina Л.А., Волкова Е.А. (ГЕОХИ РАН),**

**Королева О.Н. (Институт минералогии УрО РАН)**

[eshiribazarova@bk.ru](mailto:eshiribazarova@bk.ru)

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20015, <https://rscf.ru/project/25-17-20015/>*

В данной работе представлены результаты исследований структуры силикатных стекол и продуктов их кристаллизации системы  $\text{Cs}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$  методами рамановской спектроскопии и рентгенофазового анализа (РФА). Образцы стекла и кристаллов были получены путем охлаждения расплавов. Стекла изготавливались путем быстрой закалки на воздухе, в то время как кристаллы формировались путем медленного охлаждения в печи. Структура аморфных и упорядоченных образцов была исследована с помощью рамановской спектроскопии, которая позволила идентифицировать основные структурные единицы оксидных стекол и определить зависимости их распределения от состава. Кристаллические фазы также были идентифицированы с помощью рамановской спектроскопии. Фазовый состав полученных образцов был подтвержден с помощью РФА.

РАСТВОРИМОСТЬ  $H_2O$ - $CO_2$ -СОДЕРЖАЩЕГО ФЛЮИДА В БАЗАЛЬТОВОМ РАСПЛАВЕ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 900 МПА

Шишкина Т.А., Крашенинников С.П., Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН),  
Бочарников Р.Е. (JGU Mainz, Germany)

[t.shishkina@geokhi.ru](mailto:t.shishkina@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 939 70 62

*Работа выполнена при поддержке госзадания ГЕОХИ РАН*

Данные о содержаниях  $H_2O$  и  $CO_2$  в вулканических стеклах и расплавных включениях в минералах изверженных пород могут использоваться для расчета давления флюидного насыщения в магматических системах. Большинство опубликованных данных о растворимости смешанного  $H_2O$ - $CO_2$ -содержащего флюида в базальтовых расплавах ограничено давлениями ниже 500 МПа. Однако в последнее время обнаружены природные расплавы из зон субдукции и океанических островов с содержанием  $CO_2$  выше 0.3 мас.%, что свидетельствует о давлении выше 500 МПа. Нами проведены эксперименты по растворимости смешанного  $H_2O$ - $CO_2$ -содержащего флюида в базальтовом расплаве (вулкан Мутновский, Камчатка) при давлениях 700 и 900 МПа с использованием аппаратов типа «газовая бомба» и «пистон-цилиндр». Определенные в закаленных стеклах концентрации  $CO_2$  достигают ~0.5 мас.% при давлении 700 МПа и ~0.6 мас.% при 900 МПа. Подтверждена проблематичность закалки в стекло расплавов с содержаниями воды более 10 мас.%. Оценочные содержания воды в базальтовом расплаве могут достигать ~11 (700 МПа) и ~13 (900 МПа) мас.%  $H_2O$ . Полученные данные могут использоваться для калибровки моделей растворимости  $H_2O$ - $CO_2$ -содержащего флюида в базальтовом расплаве при давлениях до 900 МПа.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2\text{--SiO}_2$

**Шорников С. И. (ГЕОХИ), Голяпа Е. С. (ВОРКМИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства алюмотитаносиликатной системы и ее расплавов представляют значительный интерес для технологии шамотных и диасовых огнеупоров, а также для петрологии.

В настоящей работе проведены расчеты активностей оксидов и энергии смешения в расплавах тройной системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2\text{--SiO}_2$  в области температур 1800–2400 К. Рассчитанные линии изоактивностей оксидов свидетельствуют о поведении расплавов системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2\text{--SiO}_2$  близкому к идеальному, как и в случае расплавов двойных систем. Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2\text{--SiO}_2$  находится в области тройной эвтектики ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}\text{--Al}_2\text{TiO}_5$ ). Полученные данные сопоставлены с имеющейся термодинамической информацией.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства соединений и расплавов системы  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  и ее соединений представляют значительный интерес для понимания протекания геохимических и минералогических процессов в земной коре, что имеет практическое применение при поиске полезных ископаемых. Особую значимость свойства этой системы приобретают при изготовлении керамики и глазурей, производства корундовых огнеупоров и высокотитанистых шлаков, а также в химической промышленности и медицине.

В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  в области температур 1800–2400 К. Рассчитанные активности  $\text{CaO}$  в расплавах системы выявляют значительную область чистого  $\text{CaO}$ . Линии изоактивностей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  располагаются равномерно и показывают преобладание влияния содержания  $\text{CaO}$  на активность  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на активность  $\text{TiO}_2$ . Минимальное значение энергии смешения в расплавах находится между перовскитом и алюминатом кальция. Рассчитанные значения активностей оксидов и энергии смешения в расплавах системы характеризуют индивидуальное поведение компонентов расплава и соответствуют установленной диаграмме состояния системы.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ CaO–FeO–TiO<sub>2</sub>

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства расплавов кальциевожелезотитанатной системы и ее соединений представляют значительный интерес для технологий шлаковых материалов, эффективного обогащения титаносодержащих руд и концентратов, а также производства защитных покрытий, повышающих стойкость базальтового волокна.

В настоящей работе проведены расчеты активностей оксидов и энергии смешения в расплавах тройной системы CaO–FeO–TiO<sub>2</sub> в области температур 1500–2400 К. Рассчитанные линии изоактивностей оксидов свидетельствуют о наличии сильного взаимодействия в расплавах системы CaO–FeO–TiO<sub>2</sub>, обусловленного значительными отклонениями активностей CaO и TiO<sub>2</sub> от идеального поведения. Активность FeO, напротив, близка к идеальности, как и в случае расплавов двойных систем. Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы CaO–FeO–TiO<sub>2</sub> находится в области перовскита CaTiO<sub>3</sub>, наиболее устойчивого двойного соединения в системе. Полученные данные сопоставлены с имеющейся термодинамической информацией.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ CaO–MgO–TiO<sub>2</sub>

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Широкое использование титановых сплавов в авиации, аэрокосмической промышленности, медицине, технологии электрокерамики и строительстве обусловлено их низкой плотностью, нетоксичностью, высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Производство титана из его минеральных руд требует детальных физико-химических данных о доменных шлаках, являющихся важным ресурсом. В этой связи особое значение приобретает термодинамическая информация, характеризующая систему CaO–MgO–TiO<sub>2</sub>, которая довольно скудна.

В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе CaO–MgO–TiO<sub>2</sub> в области температур 1700–2400 К с помощью полуэмпирической модели. Рассчитанные линии изоактивностей CaO и MgO располагаются согласно положения их фазовых полей, линии изоактивностей TiO<sub>2</sub> располагаются равномерно. Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы обусловлено устойчивостью перовскита в расплаве и находится в области эвтектики «перовскит – периклаз – гейкелит».

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ CaO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub>

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Титанит – единственное тройное соединение системы CaO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub>, которое является распространенным акцессорным минералом в широком диапазоне литологических формаций. Он приобрел популярность в качестве минерала-индикатора геохронометра, петрохронометра и руды. Благодаря своей способности включать в кристаллическую структуру широкий спектр микроэлементов, включая редкоземельные элементы и элементы с высокой напряженностью магнитного поля, титанит может регистрировать изменения давления, температуры, а также состава основной массы породы, что может быть связано с целым рядом магматических, метаморфических и гидротермальных процессов.

В настоящей работе рассчитаны термодинамические свойства расплавов в системе CaO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> в области температур 1700–2400 К. Рассчитанные значения активностей оксидов и энергии смешения в расплавах системы характеризуют индивидуальное поведение компонентов расплава и выявляют высокую устойчивость титанита в расплаве. Рассчитанные линии изоактивностей CaO и TiO<sub>2</sub> при температуре 2273 К располагаются равномерно, линии изоактивностей SiO<sub>2</sub> показывают преобладание влияния CaO (по сравнению с TiO<sub>2</sub>) на свойства расплавов системы CaO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub>. Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы CaO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> находится в поле титанита.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ  $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства соединений и расплавов системы  $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  представляют интерес для производства огнеупоров и создания функциональных материалов с требуемым фазовым составом и эксплуатационными свойствами, в том числе и медицинского назначения.

В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе  $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  в области температур 1600–2400 К с помощью полуэмпирической модели. Параметрами модели являлись рассчитанные из экспериментальных и теоретических данных значения стандартных энергий Гиббса образования оксидов и оксидных соединений. Рассчитанные линии изоактивностей оксидов располагаются равномерно, что свидетельствует о поведении расплавов системы близкому к идеальности. Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы находится в центральной области системы и составляет приблизительно  $-24$  кДж/моль при температуре 2273 К.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ FeO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub>

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства кальциевожелезотитанатной системы и ее расплавов представляют значительный интерес для создания материалов с иерархической организацией элементов структуры. В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе FeO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> в области температур 1600–2400 К с помощью полуэмпирической модели. Параметрами модели являлись рассчитанные из экспериментальных и теоретических данных значения стандартных энергий Гиббса образования оксидов и оксидных соединений, которые были использованы для нахождения условий равновесия при заданном составе расплава и температуре. Рассчитанные линии изоактивностей оксидов при температуре 2273 К свидетельствуют о поведении расплавов системы FeO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> довольно близкому к идеальному, как и в случае расплавов двойных систем. Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы FeO–TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> находится в центральной области диаграммы состояния. Полученные данные сопоставлены с имеющейся термодинамической информацией.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$

**Шорников С. И. (ГЕОХИ), Сапега В. Ф. (ИГГД)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства соединений и расплавов системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  представляют интерес для создания перспективных керамических материалов химической промышленности, эксплуатируемых в экстремально агрессивных средах.

В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  в области температур 1700–2400 К. Рассчитанные линии активностей  $\text{MgO}$  выявляют значительную область чистого  $\text{MgO}$ , что соответствует диаграмме состояния системы и равномерно, но довольно быстро убывают с уменьшением содержания  $\text{MgO}$ . Рассчитанные линии изоактивностей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  располагаются равномерно. На понижение активности  $\text{Al}_2\text{O}_3$  большее влияние оказывает содержание  $\text{MgO}$  в расплаве, а на понижение активности  $\text{TiO}_2$  – содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Минимальное значение энергии смешения в расплавах находится в области между карроитом и магнезиальной шинелью и составляет приблизительно –33 кДж/моль. Рассчитанные значения активностей оксидов и энергии смешения в расплавах системы сопоставлены с таковыми других тройных расплавов систем ( $\text{CaO-MgO-TiO}_2$ ,  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{CaO-FeO-TiO}_2$ ,  $\text{CaO-SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{MgO-FeO-TiO}_2$ ,  $\text{MgO-SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{FeO-SiO}_2\text{-TiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ ).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ MgO–FeO–TiO<sub>2</sub>

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства соединений и расплавов системы MgO–FeO–TiO<sub>2</sub> представляют интерес для производства высокотемпературных материалов, металлургии, а также изучения геохимических процессов. Система MgO–FeO–TiO<sub>2</sub> характеризуется непрерывными твердыми растворами периклаза и вюститита, а также титанатов магния и железа.

В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе MgO–FeO–TiO<sub>2</sub> в диапазоне температур 1400–2400 К с помощью полуэмпирической модели. Рассчитанные линии изоактивностей MgO и TiO<sub>2</sub> при температуре 2273 К располагаются равномерно, линии изоактивностей FeO показывают приблизительно одинаковое влияние оксидов кальция и титана на свойства расплавов. Минимальное значение энергии смешения в расплавах при температуре 2273 К равно –30 кДж/моль и находится в области твердых растворов, находящихся между ульвошпинелью и карроитом. Рассчитанные значения активностей оксидов в расплавах системы характеризуют их взаимное химическое влияние и соответствуют имеющейся диаграмме фазовых соотношений в системе MgO–FeO–TiO<sub>2</sub>.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Физико-химические свойства системы  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$  и ее расплавов представляют значительный интерес для петрографии и минералогии для решения различных практических задач, а также для технологий, применяемых при производстве огнеупоров, керамики и в оптической промышленности.

В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$  в области температур 1800–2400 К с помощью полуэмпирической модели. Рассчитанные линии изоактивностей оксидов свидетельствуют о поведении расплавов системы  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$  близкому к поведению расплавов системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-SiO}_2$ . Минимальное значение энергии смешения в расплавах системы  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$  находится в области тройной эвтектики «форстерит – карроит – гейкелит». Химическое взаимодействие в расплавах системы  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$  характеризуется меньшей энергией смешения в расплаве по сравнению с таковой для системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-SiO}_2$ . Сопоставление влияния силикатной составляющей в расплаве показывает несколько большее ее влияние по сравнению с титанатной составляющей в случае расплавов системы  $\text{MgO-TiO}_2\text{-SiO}_2$ , что обусловлено поведением титанатов магния в расплаве.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАНКИНИТА

**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: +7 (951) 661 14 60

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Трехкальциевый дисиликат  $\alpha$ - $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$  – ранкинит, обнаружен в природе и назван в честь физико-химика Джорджа Э. Рэнкина, впервые обнаружившего это соединение при исследовании диаграмм состояния систем  $\text{CaO-SiO}_2$  и  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Используется в промышленности как промежуточный продукт в производстве портландцементного клинкера, а также как компонент доменных шлаков.

На основании данных, полученных масс-спектрометрическим эффузионным методом Кнудсена для испарения силикатов кальция (волластонита и ларнита), рассчитаны величины энтальпии и энтропии смешения в ранкините в интервале температур 1600–1737 К, равные соответственно  $-42.63 \pm 0.63$  кДж/моль и  $2.39 \pm 0.35$  Дж/(моль×К). Полученные значения близки к таковым, определенным методом калориметрии растворения в солях и рассчитанным по термохимическим данным.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИДКИХ ФАЗАХ ПОЧВ, ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ОТВАЛОВ И ДРЕНАЖНЫХ ВОДАХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ПОДМОСКОВНОГО БУРОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

**Костин А.С. (ГЕОХИ), Кречетов П.П. (МГУ)**

[kostin@geokhi.ru](mailto:kostin@geokhi.ru); тел.: +7 (925) 594 96 72

*Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН*

Добыча угля в Подмосковном бассейне привела к накоплению больших количеств отвалов вскрышных пород, которые, несмотря на закрытие шахт, продолжают оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

По вещественному составу породные отвалы представлены алюмосиликатами, с высоким содержанием углерода (до 20%) в виде угольных частиц и серы (до 5%) в форме пирита. В составе пород присутствуют сульфиды опасных для биоты микроэлементов-примесей. При биохимическом окислении сульфидов в отвалах образуются сильнокислые сульфатные дренажные воды, обогащенные потенциально-токсичными элементами. Степень экологического риска этих вод для сопредельных ландшафтов во многом определяется формой нахождения в них химических элементов и их миграционной способностью.

В программе Visual MINTEQ выполнен расчет форм нахождения элементов в жидких фазах с учетом и без учета комплексообразования с органическими кислотами по модели Гаусса, а также индексов насыщения растворов по отношению к минеральным фазам Si, Al, Fe и Ca. Жидкие фазы почв и вскрышных пород были выделены этанолом из образцов с естественной влажностью (Snakin et al., 2001).

Основными формами нахождения в жидких фазах фоновых дерново-подзолистых почв и поверхностных вод  $Fe^{2+}$ , Mn, Ca, Mg, Sr, Ba и Co являются свободные ионы (более 78%). Напротив, в дренажных водах, вскрышных породах и жидких фазах загрязненных почв доля сульфатных комплексов элементов составляет от 16 до 25%.  $Fe^{3+}$  и Al в фоновых почвах и поверхностных водах находятся в виде гидроксокомплексов (свыше 87% от общего содержания в растворе), в загрязненных почвах, породах отвалов выявлены сульфатные (до 57%) и органические комплексы (до 63%). Поступление сульфатных дренажных вод изменяет соотношение органических и неорганических форм Cu, Ni и Zn в жидких фазах почв (доля форм с органическими кислотами снижается до 6% и менее, а сульфатных форм возрастает до 25%). Влияние сульфатных вод не сказывается на комплексообразовании Na, K и Li (содержание сульфатных комплексов не превышает 2%).

Выполненные расчеты показали, что высокие концентрации химических элементов в жидкой фазе почв, загрязненных дренажными водами, обусловлены нахождением их в виде органических и сульфатных комплексов.

