

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-2025)

Москва, 15-16 апреля 2025 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
дгмн, проф. 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)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ И РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦЕВОГО ГЕОТЕРМОМЕТРА

Алексеев В.А. (ГЕОХИ)

alekseyev-v@geokhi.ru; тел.: +7 (917) 599 89 73

Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН

Кварцевый геотермометр (*КГ*) позволяет определять температуру геотермального резервуара, расположенного на глубине, по концентрации SiO_2 в растворе, который изливается из этого резервуара на поверхность. В первоначальном моделировании *КГ* (Rimstidt, Barnes, 1980) была допущена ошибка, которая необоснованно расширила область применения *КГ*. Другой недостаток заключался в игнорировании возможности осаждения метастабильных модификаций кремнезема. Для устранения этих недостатков выполнено новое математическое моделирование *КГ* методом конечных разностей с использованием новых кинетических данных. Надежность данных оценивалась их использованием в моделировании медленного охлаждения системы кварц–вода и сравнением результатов моделирования с экспериментальными результатами этого процесса. Наилучшее согласие экспериментов и расчетов получено при использовании в расчетах двухстадийного осаждения SiO_2 , когда из растворов, пересыщенных и недосыщенных относительно аморфного кремнезема, осаждался, соответственно, аморфный кремнезем и другие модификации кремнезема. Определены граничные значения отношения площади поверхности осаждения к массе воды и скорости подъема раствора, при которых модель предсказывает верные показания *КГ* для разных температур раствора в глубине и у поверхности.

Алферьева Я.О., Зиновьева Н.Г., Щекина Т.И. (геол. ф-т МГУ)

YanaAlf@bk.ru; тел.: 8 (495) 939 20 40

Проведены эксперименты по взаимодействию кальцита и модельного глубокодифференцированного фторсодержащего гранитного расплава при параметрах субликвидуса гранитной системы. Рудные WO_3 и MoO_3 вводились в силикатную часть по 0,3 масс % каждого в пересчете на металл. Исходное содержание воды в системе составило 10% от массы навески.

В исследуемой системе на границе кальцит-расплав происходит интенсивное перераспределение вещества с образованием новых фаз. В продуктах экспериментов в апокарбонатной части новообразованные фазы представлены куспидином, волластонитом, флюоритом и расплавом LCF карбонатно-фторидного состава. Алюмосиликатная часть образцов состоит из стекла, полевых шпатов, иногда кварца, топаза и флюорита.

В ходе эксперимента рудные компоненты W и Mo выносятся из алюмосиликатного расплава и отлагаются преимущественно в зоне контакта в виде молибдошеелита. В апокарбонатной части для всех зерен рудного минерала характерно в разной степени выраженное преобладание молибденового компонента (в ат.%) $Mo/(Mo+W) = 0,55 - 0,95$. В приконтактной области силикатной части, соответствующей зоне эндоконтакта, в молибдошеелите отмечается преобладание вольфрама $Mo/(Mo+W) = 0,17-0,41$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАЛЕНИЯ УРАНА МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ФОСФОРА ИЗ ПРОБЫ ВОДЫ, ОТОБРАННОЙ ВБЛИЗИ ШЛАМОХРАНИЛИЩ «ЭХЗ»

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

artemyev@geokhi.ru; тел.: 8 (985) 463 21 96

Работа частично выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 24-27-00319, частично по госзаданию ГЕОХИ РАН

Одним из инженерных барьеров безопасности на объектах ядерно-топливного цикла являются реактивные барьеры, создаваемые путем нагнетания реагентов в водоносный горизонт, что приводит к изменениям условий среды и иммобилизации загрязнителей за счет протекающих химических реакций между внесенными реагентами и загрязненным раствором. Цель работы: оценка эффективности удаления урана различными реагентами на основе фосфора.

С пробами загрязненной воды с концентрацией урана 100 мг/л были поставлены эксперименты с добавлением отдельных реагентов в концентрации 1 г/л для растворимых компонентов и 2,5 г/л для нерастворимых. В работе были использованы: ортофосфат натрия (Na_3PO_4), дигидрофосфат натрия (NaH_2PO_4), молочная сыворотка, фосфоритовая мука, апатитовая руда, нефелиновые хвосты.

Все исследуемые реагенты показали значительное снижение концентрации урана в растворе. Методами SEM и XRD проанализированы образовавшиеся осадки.

Рассчитаны равновесные составы этих систем. Результаты расчетов принципиально согласуются с полученными экспериментальными данными.

ОБЗОР ВАРИАЦИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМАХ ФЛЮИД-РАСПЛАВ И ИХ РОЛЬ ПРИ МАНТИЙНОМ МЕТАСОМАТОЗЕ

Асавин А.М. (ГЕОХИ РАН)

aaalex06@inbox.ru

Работа выполнена в рамках госзадания FMMZ-2024-0049

Обобщаются данные по распределению редкоземельных и редких литофильных элементов в экспериментах по распределению в системах флюид-расплав-кристалл. Величины коэффициентов распределения флюид-минерал, флюид-расплав (Кр) меняются в широких пределах в зависимости от состава флюидной фазы и условий равновесия. Причем это приводит к фракционирования Zr, La, Ce, Y, Nb, Lu, Yb и других редких элементов относительно друг друга в зависимости от состава флюидов. Выделено три типа флюидов с разным типом фракционирования. Полученные данные сопоставляются с гипотетическим моделями мантийного метасоматоза (ММС) флюидами различного состава. Предлагается модельные критерии оценки типа ММС на основе оцененных Кр между минералами мантийного парагенезиса.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ И ТРАНСПОРТА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
(Ni, Cu, Zn, Pb) В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Ахмеджанова Г.М., Малинкина Г.В., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)

akhm@iem.ac.ru; тел. 8 (956) 522 58 57

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0003

С целью моделирования взаимодействия природных вод с отвалами горно-добывающей промышленности проведены эксперименты по гидролитическому выщелачиванию сульфидов тяжелых металлов (ZnS, PbS, FeS, CuFeS₂, (Ni,Fe)₉S₈) водными растворами солей и дистиллированной водой. Расчетное количество сульфидов, полевых шпатов и кварца помещали в тефлоновые контейнеры с крышкой. Добавляли необходимое количество растворов (0.1М KCl или 0.2М NH₄Cl) или дистиллированной воды. Опыты проводили в градиентных условиях. Температура в нижней части реактора – 70 С, в верхней - 20 С. Продолжительность опытов 30 суток. Получены данные по содержанию тяжелых металлов в растворах после опытов.

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЁХ ПОСТОЯННО ЗАТЕНЁННЫХ И ДВУХ
НОРМАЛЬНО ОСВЕЩАЕМЫХ ДНИЩ ЛУННЫХ КРАТЕРОВ

Базилевский А.Т., Красильников А.С. (ГЕОХИ РАН),

Ли Юань (Университет Суджоу, Китай),

Майкл Г.Г. (CAS Институт геохимии, Китай)

atbas@geokhi.ru; тел.: 8 (906) 792 78 55;

grossular13@gmail.com; тел.: 8 (916) 271 01 46;

YuanLi_SciRes@outlook.com; gregory@mail.gyig.ac.cn.

В работе на примере трёх околополярных и двух кратеров на средних широтах изучена морфология поверхности постоянно затенённых и нормально освещаемых днищ этих кратеров. Изучались кратеры Фаустини (81.18°ю.ш., 84.31°в.д., D = 42.5 км), Шумейкер (88.14°ю.ш., 84.31°в.д., D = 51 км), Хауорт (87.45°ю.ш., 5.17°в.д., D = 51 км), Макробий (21.26°с.ш., 84.31°в.д., D = 63 км), и Босс (45.75°с.ш., 84.31°в.д., D = 50 км). Установлено, что в морфология поверхности днищ всех пяти изученных кратеров доминируют ударные (метеоритные) кратеры диаметром от нескольких до нескольких сотен метров. Для днищ кратеров Макробий и Босс характерно также наличие пологосклонных холмов. На днищах околополярных кратеров встречаются малые кратеры с лопастными валами, что указывает на присутствие в материале мишени льда воды.

ВИРТУАЛЬНО-КОРПУСКУЛЯРНЫЙ МЕХАНИЗМ ГРАВИТАЦИИ И ЕГО АППРОБАЦИЯ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ФОТОНАМ СВЕТА И ЗВЕЗДАМ В КОСМОСЕ

Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН)

azary@mail.ru; тел: 8 (499) 135 54 67

Автором ранее показано, что закон всемирного тяготения Ньютона, действующий мгновенно на расстоянии, имеет виртуально-корпускулярную природу. Физическое притяжение тел обусловлено элементарными частицами – гравитонами, являющимися безмассовыми виртуальными векторными бозонами. Математически адекватно притяжение описывается тензором в векторном пространстве, ранг которого в общем случае определяется числом тел, создающих в каждой точке физического пространства силу притяжения в соответствии с законом тяготения Ньютона. При этом во многих практически важных случаях можно ограничиться учетом силы притяжения лишь интересующих тел. Данный механизм привлечен к изучению действия в космосе полей гравитации на фотоны света и на движение Солнца в Галактике. В первом случае этим механизмом объяснены красные смещения в законе Хаббла и происхождение космического микроволнового фона. А во втором – с использованием закона тяготения Ньютона создана модель, которая позволила уточнить спиральное строение нашей Галактики, а также построить высокоточную стратиграфическую шкалу фанерозоя и докембрия.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОБЪЁМНОЦЕНТРИРОВАННОГО КУБИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА В ТВЁРДОМ ЯДРЕ ЗЕМЛИ: СМЕНА ПАРАДИГМЫ

Белоножко А. Б. (*Институт наук о Земле, Нанкинский Университет, Китай, Институт физики, Королевское высшее техническое училище (КТН), 106 91 Стокгольм, Швеция*)

anatoly@kth.se; тел: +4 (673) 408 87 08

Поддержка: Министерство образования КНР, Changjiang Scholar Award, Шведский Научный Совет, грант 2017-03744 "Минеральная физика ядра Земли"

Вопрос о структуре фазы железа, устойчивой при давлениях и температурах внутреннего ядра Земли, является одним из основных в минеральной физике Земли и экзопланет. Первые экспериментальные данные по существованию новой фазы железа появились уже в 80х годах прошлого века. Однако с появлением алмазных наковален эти данные были подвергнуты сомнению и все сейсмические данные по ядру истолковывались в рамках ГПУ фазы. Очевидные проблемы - высокое затухание сейсмических волн, большая анизотропия, низкая плотность, низкий модуль сдвига - объяснялись высоким содержанием лёгких элементов, а иногда и откровенно необоснованными предположениями. С появлением первопринципных методов расчетов мнения также разделились. Однако, было установлено, что все свойства ядра можно объяснить в рамках гипотезы устойчивости фазы с ОЦК структурой. Нам удалось показать, что разброс теоретических данных объясняется игнорированием магнетизма железа. Несмотря на то, что магнитный момент железа при условиях ядра очень мал, магнитная энтропия железа в ОЦК фазе по сравнению с ГПУ фазой достаточно велика для стабилизации ОЦК фазы. Наше предсказание недавно получило экспериментальное подтверждение. Большой коллектив экспериментаторов, среди которых есть и те, кто экспериментально доказывал устойчивость ГПУ фазы, работая на Европейском рентгеновском лазере на свободных электронах (EUXFEL) обнаружили ОЦК фазу при 230 ГПа и примерно 4500 К - в области устойчивости, предсказанной нами. Плотность и упругие свойства ОЦК железа, рассчитанные молекулярной динамикой в рамках теории функционала плотности и модели продольной флуктуации спинов, чрезвычайно близки к свойствам твёрдого ядра Земли. Смена парадигмы в изучении ядра Земли означает, что вся работа, проделанная по изучению ГПУ железа -уравнение состояния, распределение лёгких элементов между жидким и твёрдым железом, влияние никеля, упругие свойства, механизм текстурирования, фазовые границы области устойчивости - теперь должна быть проделана для ОЦК фазы. Это необходимо для интерпретации сейсмических данных и, в конечном счете, для объяснения прошлого, настоящего и будущего Земли. Учитывая, что обитаемые экзопланеты также должны обладать железным ядром, изучение ОЦК фазы открывает перспективы для целенаправленного поиска обитаемых планет.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМКИ НА СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ
ВЮСТИТА

Бенделиани А.А. (*геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН*), Каминский Ф.В. (*ГЕОХИ РАН*),
Шендрик Р.Ю. (*ИГХ СО РАН*), Кривенко А.П. (*ГЕОХИ РАН*)

a.bendeliani@outlook.com

Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН

Для химически чистых оксидов FeO, Fe₂O₃, а также вюстита, синтезированного при 7 ГПа и 900°C с использованием установки НЛ-13Т (ГЕОХИ РАН) проведен анализ спектров комбинационного рассеяния (КР) с помощью конфокального рамановского спектрометра Renishaw inVia, оснащенного твердотельным лазером с диодной накачкой с длиной волны 532 нм (ГЕОХИ РАН). Согласно теории групп, вюстит, периклаз и ферропериклаз (*Fm-3m*) демонстрируют только ИК-активные моды T_{1u} и являются раман-неактивными. С целью определения влияния условий съемки на спектр КР, проведена серия измерений при различной мощности лазера, времени экспозиции и количестве накоплений. При увеличении мощности лазера поверхности минеральных фаз подвергаются окислению, что приводит к образованию магнетита и гематита. Полученные данные свидетельствуют о том, что присутствие пиков магнетита и гематита в КР спектрах природных и синтетических ферропериклазов обусловлено процессом окисления под воздействием пучка лазера.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИЛКМАНИТА (Ni_3Se_4): ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ЭДС-МЕТОДОМ В СИСТЕМЕ Ag-Ni-Se

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

brichkina@iem.ac.ru, тел. 8 (49652) 25849

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

Реакция $4\text{Ag} + 3\text{NiSe}_2 = 2\text{Ag}_2\text{Se} + \text{Ni}_3\text{Se}_4$ исследовалась в вакуумной твердотельной ячейке: Pt | C(графит) | Ag | Ag_4RbI_5 | NiSe_2 , Ag_2Se , Ni_3Se_4 | C(графит) | Pt (410 - 500 К). Термодинамические функции реакции были рассчитаны из зависимости $E(T)$, полученной в результате измерений: $\Delta_r G^0 = -2999.71 - 118.7262 \cdot T$ (Дж·моль⁻¹). Из полученных для реакции данных, с использованием литературных данных для Ag_2Se и NiSe_2 , рассчитаны стандартные (298.15 К, 1 bar (10⁵ Pa)) термодинамические функции образования Ni_3Se_4 (вилкманит) из элементов: $\Delta_f G^0(\text{Ni}_3\text{Se}_4) = -256077$ Дж·моль⁻¹; $S^0(\text{Ni}_3\text{Se}_4) = 364.48$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹; $\Delta_f H^0(\text{Ni}_3\text{Se}_4) = -220679$ Дж·моль⁻¹.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МАЛАХИТА РАСТВОРАМИ
ГИДРОКСИДА АММОНИЯ

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

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

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН 2022-0002

Эксперименты по выщелачиванию малахита водными растворами аммиака проводили в кристаллизаторах рециркуляционного типа. В качестве выщелачивающего реагента использовали растворы 2.5–3.0 m NH₄OH, в качестве шихты – дробленый природный малахит. Температуру растворения шихты поддерживали в диапазоне 40 – 45 °С. Изучены элементный состав и морфология кристаллических фаз, образовавшихся в результате реакции взаимодействия малахита с растворами аммиака. Показано, что в результате инконгруэнтного растворения малахита в шихте присутствуют тенорит, а также две промежуточные фазы, которые могут замедлять процесс выщелачивания. Методом рентгенофазового анализа установлено, что на поверхности зерен малахита кристаллизуются карбонат диааммин меди (II) и карбонат тетрааммин меди (II).

СИНТЕТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ ПОЗНЯКИТА И МАЛАХИТА В МЕДНЫХ СУЛЬФАТНО-КАРБОНАТНЫХ СИСТЕМАХ

Бубликова Т.М., Сеткова Т.В., Некрасов А.Н., Дрожжина Н. А. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН 2022-0002

Синтетические аналоги малахита $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ и познякита $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ получены методом низкотемпературной кристаллизации из раствора. Эксперименты проводились с использованием водных растворов сульфата меди моногидрата и карбоната натрия при температуре кристаллизации 18 ± 1 °С. В ходе проведения опытов выявлена закономерная стадийность кристаллизации твердых фаз. Морфологию, внутреннее строение и элементный состав синтезированных образцов анализировали с использованием растрового сканирующего микроскопа Tescan Vega II XMU. Синтезированный малахит представлен микросферами размером порядка 5–10 мкм. Кристаллы синтетического познякита таблитчатые, максимальный размер 10 мкм; реже встречаются кристаллы призматического облика длиной до 500 мкм. Методом рентгенофазового анализа установлено, что в смеси кристаллических фаз присутствуют следовые количества азурита $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$.

АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЕЙЗЕРИТОВ, КАК ИНДИКАТОР ЭВОЛЮЦИИ
СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ КАМЧАТКИ

Бугаев И.А. (ГЕОХИ РАН), Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)

iliaboughev@gmail.com; тел.: 8 (926) 123 89 70

Гейзериты, отложения аморфного кремнезёма, образующие из термальных вод горячих источников, и являются малоизученными в отношении как их микроструктурных особенностей, физико-химические свойства, так и механизма образования. Старение и раскристаллизация этих природных коллоидов могут приводить к образованию своеобразных нано- и мезоструктурированных фаз. Важной особенностью всех типов гейзеритов является участие микроорганизмов в отложении кремнезёма. В местах выходов термальных вод формируются специфические бактериальные сообщества, включающие фототрофов, хемотрофов и деструкторов. Зачастую здесь образуются бактериальные маты, содержащие различные количества кремнезёма, поэтому гейзериты часто относят к биогенным отложениями.

Для определения адсорбционные свойства гейзеритов проводилось кислотно-основное титрование поверхности.

Для эксперимента были приготовлены растворы с различными значениями рН и ионной силой 0.1 с использованием растворов HCl, NaCl и NaOH. В кислой области на поверхности гейзерита происходит адсорбция ионов водорода, в щелочной – гидроксид-ионов. Выявлено, что значение рН точки нулевого заряда поверхности составляет 8.4, что не соответствует значению для поверхности кремнезема, но отвечает рН раствора, из которого гейзерит образовался.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЗАТОПЛЕННЫХ ПЕГМАТИТОВЫХ КАРЬЕРОВ ПИТКЯРАНТСКОГО РАЙОНА, КАРЕЛИЯ

Бугаев И.А. (ГИН РАН, ГЕОХИ РАН), Сидкина Е.С. (ГИН РАН),

Коньшев А.А. (ГИН РАН, КарНЦ РАН, ГЕОХИ РАН)

sidkinaes@yandex.ru, iliabougaev@gmail.com; тел.: 8 (495) 939 70 15

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ №22-77-10011

Пегматитовые карьеры Питкярантского района Республики Карелия используются местным населением в рекреационных целях, в том числе для любительского рыболовства. Эти живописные места имеют потенциал организации экологического туризма. При этом металлогения пород региона обуславливает рудную спецификацию вод, что определяет актуальность изучения их химического состава, особенно в контексте накопления потенциально токсичных элементов. Токсичность зависит от формы нахождения элемента. Альтернативой экспериментальному определению форм нахождения элементов является термодинамическое моделирование. В данной работе рассчитаны формы нахождения выбранных химических элементов в водах пегматитовых карьеров с помощью программного комплекса HCh в открытой к атмосферному воздуху системе, состоящей из O, H, C, S, Cl, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Sr, Cd, Co, Ni, Y, Fu и Hu (фульво- и гуминовые кислоты). Результаты расчетов показали, что в ионной (наиболее токсичной) форме находятся Cd, Co, Ni, Sr, Zn. Органическое вещество, способствующее накоплению металлов в природных водах, связывает большую часть Fe; для Y также характерно нахождение в органоминеральных комплексах, в меньшей степени – для Zn, Cu и Pb.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ
МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА**

Бутвина В.Г. (ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Сафонов О.Г., Лиманов Е.В. (ИЭМ РАН)

butvina@geokhi.ru; тел.: 8 (496) 522 58 51

Поддержка: тема FMUF-2022-0001

Данная работа направлена на экспериментальное изучение условий формирования некоторых минералов-индикаторов мантийного метасоматоза. Реакции образования и соответствующие им преобразования минеральных ассоциаций, могут быть спрогнозированы на основе модельных термодинамических расчетов, которые позволяют, однако, определять только относительные вариации активности К. При наличии же экспериментальных данных по зависимости таких реакций от активности Na, K, Ba во флюидах различного анионного состава, эти расчеты способны предсказывать состав флюидов, метасоматизирующих породы верхней мантии. Разнообразие реакций модального мантийного метасоматоза создает перспективное направление в экспериментальной петрологии мантии.

Фактически цели исследования заключаются в изучении взаимодействия минеральных ассоциаций перидотитов верхней мантии с водно-солевыми и водно-углекисло-солевыми флюидами. В связи с вышенаписанным, были поставлены следующие задачи: экспериментальное воспроизведение реакций мантийного метасоматоза с участием различных Na, K, Ba-солевых флюидов, выявление зависимости образования минералов - индикаторов мантийного метасоматоза от концентраций щелочных (солевых) компонентов во флюидах. В ходе работы были изучены: 1) реакции флогопитизации гранатовых перидотитов; 2) реакции образования рихтерита и калиевого рихтерита; 3) реакции образования хромсодержащих калий-бариевых хромсодержащих титанатов.

СИНТЕЗ И БАРИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ $\text{NaGaGe}_2\text{O}_6$ СО СТРУКТУРОЙ ПИРОКСЕНА

Верченко П.А., Сеткова Т.В., Спивак А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)

uapoletta@mail.ru; тел.: 8 (496) 522 58 47

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

Получение новых соединений со структурой пироксенов, включая уникальные аналоги, является актуальной задачей экспериментальной минералогии, с целью изучения их структурных характеристик и разработки материалов с заданными свойствами. В данной работе синтетическое соединение $\text{NaGaGe}_2\text{O}_6$ со структурой пироксена, получено гидротермальным методом при температуре 600°C и давлении 100 МПа. В отличие от ранее известных подобных высокобарных фаз, данный пироксен был синтезирован в условиях более низкого давления и температуры. Полученные бесцветные кристаллы размером от 50 до 300 мкм характеризуются моноклинной сингонией, пространственной группой $C2/c$; параметры элементарной ячейки: $a = 9.789 \text{ \AA}$, $b = 8.845 \text{ \AA}$, $c = 5.456 \text{ \AA}$, $\beta = 104.99(15)^\circ$, $V = 456(1) \text{ \AA}^3$. Для синтезированного соединения впервые был получен КР-спектр в диапазоне 100-1200 см^{-1} . Топология КР-спектра аналогична спектрам минералов эгирина и жадеита, однако основные пики синтезированного соединения сдвинуты в область более низких значений волнового числа, что связано с вхождением катиона Ge на позицию Si в структуре. Дополнительно выполнено изучение барической устойчивости соединения $\text{NaGaGe}_2\text{O}_6$ методом *in situ* спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) при давлении до ~26 ГПа. Выявлены возможные структурные изменения при давлениях ~6 ГПа и ~19 ГПа.

**СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО
Со-СОДЕРЖАЩЕГО ТУРМАЛИНА**

Верченко П.А., Сеткова Т.В., Спивак А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)

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/>

Синтез и исследования новых аналогов минералов надгруппы турмалинов, направлены на изучение их кристаллохимических особенностей и разработку материалов с заданными физико-химическими свойствами. В данной работе гидротермальным методом в термоградиентных условиях при температуре 400/550°C и давлении 100 МПа с участием бор-хлоридных гидротермальных растворов был получен нарост Со-содержащего турмалина размером до 700 мкм на природный затравочный кристалл эльбаита. Розовато-бардовый наросший слой характеризуется зональным распределением элементов, при этом содержание кобальта варьирует от 12.37 до 16.86 масс % СоО. Для синтезированного соединения был получен КР-спектр в диапазоне 100-4000 см⁻¹ и проведен сравнительный анализ со спектром природной эльбаитовой затравки. Установлено влияние вхождения Со в структуру турмалина на его спектроскопические характеристики. Обнаружены полосы при 268 см⁻¹ и 446 см⁻¹ в диапазоне колебаний связей О-У-О и О-Z-О октаэдров не характерные природному турмалину.

БАБИНГТОНИТ (ХЕРБОРН, ЗЕМЛЯ ГЕССЕН, ГЕРМАНИЯ): СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Вигасина М.Ф. (*геол. ф-т МГУ*), **Гриценко Ю.Д.** (*геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН*), **Дедушенко С.К.** (*НИТУ МИСИС*)
ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Методами КР, ИК и мёссбауэровской спектроскопии изучен бабингтонит состава $\text{H}^+_x\text{Ca}_{2.0}(\text{Fe}^{2+}_{0.6}\text{Mn}^{2+}_{0.2}\text{Mg}_{0.2})_{\Sigma 1.0}\text{Fe}^{3+}_{1.0}\text{Si}_5\text{O}_{14}\text{O}_x(\text{OH})_{1-x}$. Наблюдаемая в КР-спектре люминесценция (максимум 586–590 нм) объясняется присутствием Mn^{2+} в составе вещества. Спектр соответствует спектру бабингтонита – цепочечного силиката с характерной для этой группы минералов интенсивной линией в диапазоне $600\text{--}750\text{см}^{-1}$, относящейся к симметричным деформационным колебаниям мостиков $\text{Si-O}_{\text{bridge}}\text{-Si}$ в цепочках тетраэдров. Особенностью спектра ИК-поглощения, также соответствующего бабингтониту, является узкая полоса средней интенсивности при 1272см^{-1} , приписываемая колебаниям выступающего как свободный катион H^+ , что характерно для спектров кислых силикатов с простыми цепочками кремнекислородных тетраэдров без силанольных групп. Неинтенсивные полосы около 2343 , 2402 , 3488 и 3556см^{-1} относятся к валентным колебаниям немногочисленных гидроксильных групп, образующих водородные связи различной силы. В мёссбауэровском спектре бабингтонита зарегистрированы три разрешенные линии. Спектр был аппроксимирован двумя симметричными дублетами лоренцевой формы с критерием согласия Пирсона $\chi^2=1.14(6)$. Соотношение площадей дублетов Fe^{3+} и Fe^{2+} составляет 3:2. Изомерный сдвиг дублета для позиции $M2$ (0.39 мм/с) и для позиции $M1$ (1.20 мм/с).

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАВРОЛИТА ИЗ ПАТОМСКОГО
НАГОРЬЯ, ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ

Вигасина М.Ф. (*геол. ф-т МГУ*), **Гриценко Ю.Д.** (*геол. ф-т МГУ,
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН*), **Дедушенко С.К.** (*НИТУ МИСИС*)
ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Впервые проведены спектроскопические исследования ставролита из ставролит-альмандин-мусковитовых сланцев Патомского нагорья Мамско-Чуйского района (Иркутская область) состава $(\text{Fe}^{2+}_{1.7}\text{Mg}_{0.3})(\text{Al}_{8.9}\text{Mg}_{0.1})(\text{Si}_{3.9}\text{Al}_{0.1})\text{O}_{22.8}(\text{OH})_{1.18}$. Полученный спектр комбинационного рассеяния содержит серию интенсивных линий в области ниже 1000см^{-1} . Все линии расщеплены вследствие сниженной симметрии SiO_4 -тетраэдров. Слабоинтенсивные линии при 3674 и 3440 и широкое плечо около 3280см^{-1} указывают на наличие гидроксильных групп с водородными связями разной прочности. В спектре ИК поглощения в области выше 3400см^{-1} также зарегистрированы полосы ОН-групп с водородными связями разной прочности: полоса средней интенсивности $\sim 3420\text{см}^{-1}$ приписывается ОН-группам с наиболее сильной водородной связью; полосы при 3621 и 3566см^{-1} меньшей интенсивности относятся к группам с менее прочной водородной связью; полоса средней интенсивности $\sim 3674\text{см}^{-1}$ относится к ОН-группам, менее всего вовлеченным в водородные связи. Разные интенсивности полос указывают на разную степень заселенности кристаллографических позиций. Мёссбауэровский спектр, состоящий из двух линий сложной формы, был аппроксимирован 11 симметричными дублетами. Полученное значение критерия согласия Пирсона $\chi^2=1.38(6)$ показывает хороший уровень аппроксимации моделью, учитывающей присутствие в веществе только Fe^{2+} .

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ МАНГАНИЛЬВАИТА
(ДАЛЬНЕГОРСК, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Вигасина М.Ф. (геол. ф-т МГУ), **Гриценко Ю.Д.** (геол. ф-т МГУ,
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), **Дедушенко С.К.** (НИТУ МИСИС),
Зубкова Н.В. (геол. ф-т МГУ)
ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Методами спектроскопии инфракрасного поглощения и мёссбауэровской спектроскопии изучен из Первого Советского рудника (Дальнегорск, Приморский край). ИК спектр образца соответствует спектрам минералов со сдвоенными SiO₄-тетраэдрами. Валентные колебания Si₂O₇-диортогрупп проявляются широкой многокомпонентной полосой в диапазоне 800–1050см⁻¹; узкая линия при 700см⁻¹ приписывается асимметричным валентным колебаниям в цепочках Si–O_{bridge}–Si, соединяющих сдвоенные тетраэдры через мостиковый кислород; полосы при 572, 537 и 450см⁻¹ относятся к деформационным колебаниям этих цепочек Si–O_{bridge}–Si; полосы при 489 и 425см⁻¹ приписываются трансляциям Fe³⁺ и Fe²⁺ октаэдрах. В области ~2700–3260см⁻¹ зарегистрирована широкая полоса, отвечающая валентным колебаниям гидроксильных групп. Мёссбауэровский спектр показал четыре выраженных полосы поглощения, которые были описаны тремя сериями дублетов с равными изомерными сдвигами в каждой серии и равными ширинами всех линий (критерий согласия Пирсона $\chi^2 = 1.2$). По результатам структурного анализа позиция M1 заселена катионами Fe²⁺/Fe³⁺=1:1, в позиции M2 совместно находятся Fe²⁺ и Mn²⁺. На основании проведенных исследований минерал является манганийльваитом и имеет формулу (Ca_{0.95}Mn_{0.04}²⁺Mg_{0.01})(Mn_{0.65}²⁺Fe_{0.35}²⁺)(Fe_{1.00}²⁺Fe_{1.00}³⁺)[Si₂O₇]O(OH)_{1.00}.

СИСТЕМА ДИОПСИД-ЖАДЕИТ-СО₂ ПРИ 3-6 ГПа

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

vinogradova@geokhi.ru; тел.: 8 (900) 672 09 32

Работа выполнена в рамках госзадания ГЕОХИ РАН (№FMMZ-2024-0056)

Экспериментально изучены фазовые взаимоотношений в системе диопсид-жадеит-СО₂ (включая подсистему диопсид-СО₂) при 3-6 ГПа и 900-1500°С. Эксперименты проведены на многопуансонном прессе в графитовых и платиновых капсулах с использованием стартовых смесей двух типов: оксид-карбонатной смеси и пироксенового стекла с оксалатом серебра. Уточнено положение линии карбонатизации диопсида, установлена реакция карбонатизации для омфацита, которая приводит к образованию клинопироксена с высокой долей жадеитового минала (90-97 мол. %). Показано, что карбонатизация диопсида сопровождается резким снижением температуры солидуса в результате стабилизации Са-Mg карбоната аналогично системе лерцолит-СО₂. Субсолидусная ассоциация в системе диопсид-жадеит-СО₂ представлена жадеитом, коэситом, доломитом и СО₂ флюидом. При повышении давления от 2.5 до 6.5 ГПа температура солидуса системы возрастает от 1000 до 1100°С. Такая низкая температура солидуса связана с влиянием СО₂ флюида. Расплав вблизи линии солидуса содержит 1-5 масс. % SiO₂ и 1-5 масс. % Na₂O.

РАМАНОВСКИЙ ГЕОТЕРМОМЕТР ДЛЯ УГЛИСТЫХ ХОНДРИТОВ

**Воропаев С.А., Федулов В.С., Душенко Н.В., Кривенко А.П., Наймушин С.Г.,
Кононкова Н.Н., Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН)**

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 углистых хондритов Allende (CV3) и Dar Al Gani (CO3), испытавших сильный тепловой метаморфизм.

ПЛАНАРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В ЦИРКОНЕ ИЗ ИМПАКТИТОВ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Глазовская Л.И. (*геол. ф-т МГУ*)

Liudmilaglazov@yandex.ru; тел.: 8 (910) 423 14 40

Планарные элементы (или как принято в зарубежной литературе планарные микроструктуры) относятся к диаплектовым преобразованиям в импактитах.

Планарные микроструктуры (PDFs) по циркону описаны в экспериментах по ударному метаморфизму в интервале ударных давлений 20-80 ГПа. Мы получили новые данные по планарным элементам в цирконе из природных импактитов. Они наблюдаются в широком интервале ударного преобразования циркона: в зернах содержащих и не содержащих рейдит (высокоплотную модификацию циркона), а также в зернах с гранулярными каймами. Планарные элементы наблюдаются в зернах с частичным распадом циркона на ZrO_2 и SiO_2 который происходит при температуре выше $1673^\circ C$ и в зернах с каймой плавленного стекла по циркону, в диаплектовом стекле по циркону. Присутствие планарных элементов в зернах с отсутствием рейдита по экспериментальным данным наблюдается в интервале давлений 20 - 40 ГПа.

Рейдит, полиморф циркона со структурой шеелита, образовавшийся при высоком давлении, был обнаружен сросшимся с цирконом в образцах, подвергнутых удару давлением до 40 ГПа, с полным превращением в рейдит при давлении 60 ГПа. Присутствие стекла по циркону подтверждено методом микрорамановской спектроскопии. Рассмотрено перераспределение микроэлементов между цирконом, диаплектовым стеклом по циркону и плавленным стеклом по циркону. Такое широкое распространение планарных элементов позволяет оценить условия их образования в каждом конкретном случае.

Давление, при котором происходит образование планарных элементов в цирконе из зювитов Логойскрй структуры, таким образом, можно оценить в интервале 40 -70 ГПа для зерен, содержащих и не содержащих рейдит а также для зерен с гранулярными каймами.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛА
РАСТВОРИМОСТИ ВОДЫ В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ИНТЕНСИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Гнучев Я.Ю., Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ)
gnuchevyakov@mail.ru; тел.: 8 (918) 851 23 36

Опыт использования полученного в 2023 г. уравнения, позволяющего предсказывать значение предельной растворимости воды в силикатном расплаве, показал, что для ряда экспериментов, выполненных в диапазоне давлений от 10 до 20 кбар, расчетные содержания воды нереалистично высоки по сравнению с экспериментальными значениями.

Использованная в предыдущей работе выборка (содержащая результаты 412 экспериментов), была существенно дополнена экспериментами из базы данных MELT, любезно предоставленной А.В. Гирнисом, и других литературных источников.

На основе вновь собранной общей выборки, состоящей из 1241 эксперимента, был пересмотрен набор переменных, отвечающих за влияние состава на растворимость воды. Вновь откалиброванное уравнение для расчета предельной растворимости воды позволяет с неопределенностью, не превышающей ± 0.01 мольной доли, либо ± 0.25 мас. % предсказывать насыщенные содержания воды в силикатных расплавах в диапазонах: давления от атмосферного до 20 кбар; температур от 825 до 1550 К, а объем выборки, использованной для оптимизации, позволяет использовать уравнение для расчета насыщенного содержания воды в широком спектре силикатных расплавов, начиная от коматиитовых базальтов и заканчивая риолитами.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОНДРИТОВОЙ СТРУКТУРЫ УГЛИСТЫХ МЕТЕОРИТОВ
ПРИ $T = 1000^{\circ}\text{C}$, $P = 1$ КБарВ ПРИСУТСТВИИ ВОДОРОДА**

Горбачев П.Н., Безмен Н.И. (ИЭМ РАН)

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 – овальной формы раскристаллизованных силикатных выделений в Fe-сульфидно-металлической матрице. Углистые хондриты, составляющие ультраосновную группу хондритов, богатых Mg, Ca и щелочными металлами, представляют особый интерес. Наиболее спорным моментом является вопрос об условиях образования хондр. Проведенные эксперименты продолжают моделирование хондритовой структуры с использованием сосуда высокого газового давления (СВД) с водородной поддержкой при $T=1000^{\circ}\text{C}$ и давлении 1 КБар с использованием модельного состава, отвечающему углистым хондритам.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ И МЕХАНИЗМОВ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ Cu И Ni ИЗ БАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВА СУЛЬФИДНЫМ РАСПЛАВОМ

Горбачев Н.С., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Новиков М.П., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)
gor@iem.ac.ru, nastya@iem.ac.ru;

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

В системе базальтовый расплав – сульфидный расплав пирротинового состава при $T=1250^{\circ}\text{C}$, $P=1$ атм, f_{O_2} задаваемой буферной смесью $\text{BaCO}_3+\text{BaO}+\text{C}+\text{FeO}+\text{Fe}_3\text{O}_4$, близкой к QFM буферу экспериментально изучена кинетика экстракции Ni и Cu сульфидным расплавом из базальтового расплава. Установлена положительная зависимость концентрации Ni и Cu в сульфидном расплаве от времени, хорошо описываемая уравнениями линейной и квадратичной зависимости. Показано, что лимитирующими процессами при мобилизации Ni и Cu из силикатного расплава в сульфидный являются химические реакции между ионами Ni и Cu в силикатном расплаве с ионами серы сульфидного расплава и их диффузия на границе раздела фаз.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ФЛОГОПИТА В
МАНТИИ ЗЕМЛИ

Горнова Е.С. (геол. ф-т МГУ), Бенделиани А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН),
Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН)

a.bendeliani@outlook.com

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-77-00031

При давлении 7 ГПа и в диапазоне температур 900-1100°C проведено экспериментальное изучение систем перидотит-базальт-K₂CO₃-H₂O с целью определения условий кристаллизации флогопита в ультраосновных алмазообразующих расплавах с разной долей участия корового материала в верхнемантийных условиях (отношение базальт/перидотит в стартовых составах изменялось от 0 до 100% с шагом в 10%). Показано, что с увеличением доли коровой составляющей состав слюд изменяется от триоктаэдрического флогопита к диоктаэдрическому алюмоселадониту, причем с увеличением температуры отношение Al/Si в слюдах уменьшается. Установлено конкурирующее взаимоотношение примесей Ti⁴⁺ и Cr³⁺ в составе синтезированных слюд. При увеличении доли корового компонента до 40% содержание титана во флогопитах возрастает согласно Чермаковскому механизму замещения: ${}^{\text{VI}}(\text{Mg}^{2+}) + 2^{\text{IV}}(\text{Si}^{4+}) = {}^{\text{VI}}(\text{Ti}^{4+}) + 2^{\text{IV}}(\text{Al}^{3+})$. При равном отношении материала базальта и перидотита в системе стехиометрическая схема становится нереализуемой из-за увеличения содержания титана и алюминия в слюде, что приводит к уменьшению ее магнезиальности и образованию вакансии в октаэдрической позиции. Содержание титана (до 1.8 масс % TiO₂) в слюде при этом оказывается выше концентраций хрома (до 0.6 мас.% Cr₂O₃): Ti/Cr > 1. При повышении доли корового материала в системе до 70% возможна лишь кристаллизация диоктаэдрических слюд мусковит-алюмоселадонитового состава.

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ДАЛЬНЕГОРСКОГО МАНГАНИЛЬВАИТА

Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф.,
 Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ), Дзубан А. В. (хим. ф-т МГУ),
 Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ),
ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Изучен образец манганильваита из Первого Советского рудника (Дальнегорск, Приморский край) состава $(\text{Ca}_{0.95}\text{Mn}_{0.04}^{2+}\text{Mg}_{0.01})(\text{Mn}_{0.65}^{2+}\text{Fe}_{0.35}^{2+})(\text{Fe}_{1.00}^{2+}\text{Fe}_{1.00}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})_{1.00}$. Термогравиметрический анализ проведен на термовесах TG 209 F1 (NETZSCH, Германия) в интервале температур 25–1100°C со скоростью нагрева 10°C/мин в токе сухого синтетического воздуха со скоростью потока газа 30 мл/мин. Устойчивость минерала до ~700°C подтверждена результатами ИК-спектроскопического исследования продукта его нагревания до этой температуры. В интервале температур 700–820°C наблюдается потеря массы образца равная 0.94%. По данным рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопического исследования продукт нагревания до 820°C содержит четыре кристаллические фазы – геденбергит $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$, гематит Fe_2O_3 , магнетит Fe_3O_4 и якобит $\text{Mn}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$, а также аморфную фазу. В ИК спектре полностью отсутствуют полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям ОН-групп, что подтверждает полное дегидроксилирование исходного минерала. При нагревании выше 820°C происходит дальнейшее окисление Fe^{2+} и образование дополнительной новой фазы, которая на рентгенограмме образца, нагретого до 1000°C, диагностируется как андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{3+}[\text{SiO}_4]_3$.

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТАВРОЛИТА

Гриценко Ю.Д. (*геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН*), **Вигасина М.Ф.**,
Ксенофонтов Д.А., **Огородова Л.П.** (*геол. ф-т МГУ*), **Дедушенко С.К.** (*НИТУ МИСИС*),
Мельчакова Л.В. (*геол. ф-т МГУ*)
ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Впервые проведено термохимическое изучение ставролита из ставролит-альмандин-мусковитовых сланцев Патомского нагорья Мамско-Чуйского района (Иркутская область). Рассчитанная кристаллохимическая формула ставролита имеет вид $(\text{Fe}^{2+}_{1.7}\text{Mg}_{0.3})(\text{Al}_{8.9}\text{Mg}_{0.1})(\text{Si}_{3.9}\text{Al}_{0.1})\text{O}_{22.8}(\text{OH})_{1.2}$. Впервые методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения определена энтальпия образования из элементов ставролита (-11998 ± 11 кДж/моль). Оценено значение его стандартной энтропии и рассчитана величина энергии Гиббса образования (489.8 ± 2.1 Дж/(моль·К) и -11271 ± 11 кДж/моль, соответственно). Рассчитаны термодинамические константы для ставролита идеализированного состава $\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{23}(\text{OH})$: $\Delta_f H^0(298.15 \text{ K}) = -11943 \pm 12$ кДж/моль, $\Delta_f G^0(298.15 \text{ K}) = -11222 \pm 12$ кДж/моль. С учетом полученных данных на основании обменной реакции с ассоциирующим со ставролитом альмандином была рассчитана константа равновесия и определены температуры образования ставролит-альмандин-мусковитовых сланцев.

ТИТАНОВЫЕ ГРАНАТЫ КОНТАКТОВЫХ ОРЕОЛОВ ИНТРУЗИВОВ НОРИЛЬСК-1 И
ВЕРХНЕТАЛНАХСКИЙ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

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

Овчинников И.А. (геол. ф-т МГУ)

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

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

В контактовых ореолах рудоносных (Норильск-1) и безрудных (Верхнеталнахский) интрузивов Норильского района развиты роговики, магнезиальные и известковые скарны, содержащие минералы группы граната. В скарнированных ксенолитах северо-восточной ветви Верхнеталнахского интрузива установлены Ti-содержащие гранаты серии гроссуляр-уваровит, содержащие (мас. %): 0,1-9 Cr₂O₃; 10-22 Al₂O₃; до 7 TiO₂. Содержание Fe₂O₃ менее 0,1 мас. %. Центральные зоны насыщенного зеленого цвета обогащены Cr, краевые – практически бесцветные. В борту карьера Угольный ручей в приконтактной зоне интрузива Норильск-1 вскрыты ксенолиты, содержащие идиоморфные кристаллы черного Ti-содержащего андрадита, содержащего (мас. %): 12-21 Fe₂O₃; 5-13 Al₂O₃, до 12,7 мас. % TiO₂. Содержание Cr₂O₃ менее 1 мас. %. Низкое содержание Fe в гранатах безрудных массивов вероятно связано с высокой активностью сульфидной серы на постмагматическом этапе и образованием сульфидов железа, которые часто встречаются в ассоциации с Cr-Ti-гроссуляром. В рудных интрузивах вся сера сконцентрирована в магматическом сульфидном расплаве, что дает возможность образования высоко железистых минералов на постмагматическом этапе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В РАКОВИНАХ
ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Гришанцева Е.С., Николаева И.Ю., Григорьева М.Л. (геол. ф-т МГУ)

shes99@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 12 73

Работа выполнена в рамках Государственного задания МГУ 121071200143-2

В работе рассматриваются результаты экспериментального изучения форм нахождения металлов в раковинах двустворчатых моллюсков вида *Dreissena polymorpha Pallas* в Иваньковском водохранилище. Изучение форм нахождения металлов в гидробионтах необходимо для количественной оценки вклада двустворчатых моллюсков в геохимическую миграцию металлов в экосистеме водохранилища, определения объемов пассивной и активной биоаккумуляции и выявления их участия в биогенной седиментации химических элементов. Для изучения физико-химических форм нахождения металлов применяли метод селективной, химической экстракции различными реагентами, позволяющими извлекать обменные формы металлов; входящие в адсорбированный комплекс; связанные с гидроксидами Fe и Mn, а также общее содержание подвижных, миграционно способных форм. Концентрации металлов в экстрактах и раковинах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Supes 7000. Для получения концентрационных карт распределения химических элементов на поверхности раковин использовали аналитический, многофункциональный, растровый, электронный микроскоп JSM-IT500 в ИГЕМ РАН.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ КОРОН – ИСТОЧНИКОВ
МОЛОДЫХ ЛОПАСТНЫХ ПОЛЕЙ И КРУПНЫХ ВУЛКАНОВ ВЕНЕРЫ

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

guseva-evgeniya@ya.ru

Наше исследование основано на анализе морфологии, топографии и пространственного распределения корон-источников молодых лавовых полей, и крупных вулканов Венеры.

Целью работы было определить, как короны источники лопастных равнин соотносятся с крупными вулканами по характеру пространственного и размерного распределения, а также установить признаки генетической связи между ними.

Мы проанализировали регионы концентрации корон-источников и крупных вулканов и установили, что: (1) они генетически не связанные структуры, пространственно разобщены во многих регионах, а в некоторых регионах встречаются совместно; (2) короны-источники связаны с региональными зонами растяжения, вулканы ассоциируются с этими зонами в меньшей степени; (3) сводовые короны концентрируются в рифтовых зонах, преимущественно, в двух регионах: Ulfrun и Parga, что, вероятно, объясняется реактивацией корон в поздний атлийский период; (4) вулканы имеют более широкое распространение, чем сводовые короны. Около половины вулканов концентрируются в регионах: Ulfrun, Parga и Eistla и не связаны с зонами растяжения; (5) регионы концентрации крупных вулканов и сводовых корон-источников маркируют области локализации молодого вулканизма Венеры.

**СРАВНЕНИЕ РИФТОГЕНЕЗА И ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ОБЛАСТЕЙ АТЛА И БЕТА, ВЕНЕРА**

Гусева Е.Н., Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН)

guseva-evgeniya@ya.ru;

Грант FMMZ 2024-0055

Мы оценили масштабы проявления рифтогенеза и вулканизма в областях Атла и Бета. Эти области характеризуются как крупные сводовые поднятия с гравиметрическими аномалиями до 200-300 мГл, развитием мощных зон растяжения и концентрацией молодого вулканизма в виде полей лопастных равнин. Такие особенности поднятий интерпретируется как результат воздействия восходящих мантийных потоков.

Целью работы было оценить масштабы проявлений рифтогенеза и вулканизма в изучаемых областях путем подсчета общих рифтовых площадей и площадей лопастных равнин, пространственно связанных с различными типами источников.

Нами выявлено, что: (1) при нормализации по площади областей, рифтогенез примерно в 2.3 раза, а вулканизм примерно в 4.6 раза более широко распространены в области Атла, чем в области Бета; (2) молодой вулканический материал в изучаемых областях, в основном, связан с крупными вулканами; (3) в области Атла присутствует несколько структур корон, в области Бета отмечается их полное отсутствие. Изучаемые области характеризуются различными масштабами рифтогенеза и вулканизма, что, вероятно, объясняется их разными литосферными свойствами.

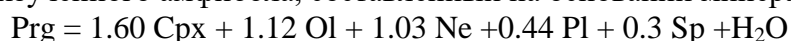
ИЗУЧЕНИЕ ДЕГИДРАТАЦИИ АМФИБОЛА ПРИ $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P_{\text{H}_2\text{O}}=200\text{-}300\text{ бар}$

**Девятова В.Н., Некрасов А.Н., Дрожжина Н.Н., Воронин М.В. (ИЭМ РАН),
Щербаков В.Д. (МГУ), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН)**

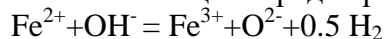
dev@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 52

Госзадание FMUF-2022-0004

Изучен процесс дегидратация природных кристаллов калиевого титанистого паргасита при $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{H}_2\text{O}}=200\text{-}300\text{ бар}$, $t=4\text{ ч-}40\text{ дней}$, NNO+1 на установке УВД-10000. Баланс реакции для изученного амфибола, составленный на основании минералов областей распада:



Зональности по макрокомпонентам и воде относительно края кристалла и зон дегидратации не выявлено. По данным рамановской спектроскопии уход воды происходит по объему амфибола. Исходя из мессбауэровской спектроскопии и данным по изучению содержания воды методом КФТ для изученного амфибола выделены два механизма потери гидроксильных групп: дегидрирования и дегидратация. Выявлено первичное дегидрирование. Компенсация заряда происходит за счет появления оксикомпоненты:



Последующая дегидратация. Компенсация заряда протекает по схеме:



ОТНОШЕНИЕ C/SI В ТИТАНЕ И ОБЪЕКТАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

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

dunaeva.an@gmail.com; тел.: 8 (916) 705 64 05

Органическое вещество, включающее помимо простых углеводов сложные высокомолекулярные углерод содержащие соединения, играет важную роль в понимании истории формирования и дальнейшей эволюции разнообразных космических объектов. Присутствие органической составляющей в космическом веществе представляет не только астробиологический интерес, но и несет информацию о динамике и устойчивости углеродистых соединений в разных областях Солнечной системы, служит индикатором протекания многих термохимических реакций.

В работе рассчитаны отношения C/Si в Титане, сложенного веществом углистых CI/CM и обыкновенных L/LL хондритов, при различном содержании органического материала (ОМ) переменной плотности ($1.4 < \rho_{OM} < 2.2 \text{ г/см}^3$). Полученные значения сопоставлены с углеродно-кремниевыми отношениями в других объектах Солнечной системы.

ПИРОКСЕНОВАЯ БАРОМЕТРИЯ УЛЬТРАМАФИТОВ РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВОВ:
ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

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

yeryomin2689@gmail.com; тел.: +7 (495) 939 49 69

В работе приводятся результаты барометрических расчетов при помощи семи пироксеновых геобарометров из 5 статей, опубликованных в 1995-2021 гг. (Nimis, 1995; Putirka, 2008; Fumagalli et al., 2017; Ziberna et al., 2017; Wang et al. 2021). Все модели используют составы продуктов субсолидусных и/или субликвидусных экспериментов – будь то простые полуэмпирические зависимости давления от состава пироксена (“Срх-only” модели) или более сложные соотношения, основанные на расчетах констант распределения конкретных компонентов для двух сосуществующих фаз (двупироксеновые барометры). Отличительная особенность этих калибровок состоит в том, что они основаны на опытах, проведенных в условиях стабильности Са-клинопироксена, в более поздних разработках с акцентом на полиминеральные ассоциации Ol-Pl-Срх-Орх и Ol-Pl-Срх-Sp. Тестирование геобарометров проводилось на выборке “наиболее достоверных” равновесных экспериментов, включающих результаты 64 субликвидусных и 31 субсолидусных опытов при давлениях не более 10 кбар, т.е. в условиях стабильности плагиоклаза и шпинели. Субликвидусные эксперименты (из базы данных ИНФОРЭКС) характеризовали (высоко)магнезиальные системы – в соответствии с ограничениями на состав расплава ($mg\# > 0.63$) и/или равновесия с оливином, содержащим не менее 85% Fo. В результате выбраны три оптимальные модели, которые наилучшим образом воспроизводят экспериментальные давления и могут быть рекомендованы для оценки условий образования верхнекоровых ультрамафитов. В дополнение, приводится собственная калибровка “Срх-only”-геобарометра, проведенная на тестовой выборке. Результаты расчетов показывают, что в условиях плагиоксазовой фации глубинности достижимая точность барометрии составляет порядка 1-1.5 кбар. В качестве примеров – результаты геобарометрии примитивных пород Мончеплутона и ассоциирующих ультрамафитовых тел.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОБРАЗЦОВ
ГРАНИТОГНЕЙСОВ УЧАСТКА ЕНИСЕЙСКИЙ НИЖНЕКАНСКОГО МАССИВА,
КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ

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

vil@igem.ru; тел.: 8 (499) 230 84 21

Надежность изоляции высокорadioактивных отходов (ВАО) в подземном хранилище зависит в значительной степени от подвижности радионуклидов во вмещающих породах. Значительная часть ВАО в Российской Федерации, предназначенных для размещения в хранилище, иммобилизована в консервирующей матрице на основе Na-Al-P-стекло. При взаимодействии этих стекол с водой до 90% содержащихся в них актинидов переходит в воду в слаборастворимой коллоидной форме. Эти подвижные частицы слабо сорбируются породами, однако могут задерживаться породами механически, что определяется проницаемостью матрицы пород. Проведены определения проницаемости образцов гранитогнейсов из керна разведочной скважины, пробуренной на участке Енисейский, где планируется сооружение подземного пункта глубинного захоронения ВАО. Измерения проводились, модифицированным методом затухания импульса. Значения проницаемости гранитогнейсов участка Енисейский, расположенного в обрамлении Нижнеканского массива, ($10^{-21} - 10^{-20}$) м² сопоставимы с полученными ранее для гранитоидов из участков Итатский и Каменный, расположенных непосредственно в Нижнеканском массиве.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА ОЛИВИНА И ХРОМИТА
ПАЛЛАСИТА СЕЙМЧАН

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

zharkova@geokhi.ru; тел.: +7 (499) 137 44 72

Работа выполнена по Госзаданию ГЕОХИ РАН

Палласиты – метеориты, образовавшиеся в результате смешения материала Fe,Ni ядра и оливиновой мантии астероида, испытавшего магматическую дифференциацию. Палласиты главной группы (MGP) состоят из зерен оливина Fa11-13 (Fe/Mn=36-54, ат.), окруженных никелистым железом. Оливин и хромит, выделенные из MGP Сеймчан растворением в HCl были исследованы электрохимическим методом с целью определения собственной летучести кислорода (fO_2) минеральных фаз и реконструкции редокс условий при образовании палласитов. Определение fO_2 для палласитового хромита выполнено впервые. Предыдущие электрохимические определения fO_2 в MGP, выполненные по оливину показали, что MGP уравнились при fO_2 в интервале IW–IQF-1. Температурные тренды fO_2 оливина и хромита в Сеймчане во всем изученном интервале 800-1050°C располагаются примерно параллельно линии буфера WM (на 1 лог. единицу ниже WM) и практически совпадают между собой, что свидетельствует о равновесии минералов. При $T < 900^\circ\text{C}$ тренды пересекают область стабильности MGP, но при более высоких температурах они находятся в более окисленной области, характерной для других групп палласитов. Вместе с тем минеральный состав палласита Сеймчан и изотопный состав кислорода в оливине соответствуют составу MGP. Более высокие значения fO_2 можно интерпретировать как позднее окислительное событие в истории палласита, вероятно связанное с разрушением родительского тела.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОПИГАЙСКИХ ЛОНСДЕЙЛИТСОДЕРЖАЩИХ АЛМАЗОВ К
ВЫСОКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ 6.0 ГПа

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

ezhimulev@igm.nsc.ru; тел: 8 (383) 333 23 41

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

Представлены экспериментальные данные структурных изменений и графитизации импактных алмазов Попигайской астроблемы термообработанных при 6.0 ГПа и 1600-2200°C. В работе использовали кристаллы и фрагменты импактного алмаза Попигайской астроблемы двух типов. Алмазы 1 типа светлые, прозрачные образцы, с содержанием лонсдейлита от 0 до 25 %. Алмазы 2 типа темно-серые до черного цвета содержали графит и 40-55 % лонсдейлита. По результатам НРНТ отжига установлено, что импактные алмазы 1 типа более устойчивы к термобарическому воздействию, чем темноокрашенные алмазы 2 типа (с большим содержанием лонсдейлита и графита). Отжиг лонсдейлитсодержащих импактных алмазов сопровождается изменением исходного соотношения лонсдейлит/алмаз. По данным КР-спектроскопии обнаружено два типа структур новообразованных графитов: высокоупорядоченный и низкоупорядоченный. Можно рассматривать механизм, при котором в процессе отжига импактных образцов структура лонсдейлита переходит в структуру кубической фазы (алмаза) с одновременной графитизацией. Это свидетельствует о том, что лонсдейлит, более вероятно, является дефектом кубической решетки алмаза, а не самостоятельной фазой гексагонального алмаза.

СУЛЬФАТНО-ГИДРОСУЛЬФАТНЫЙ ЦИКЛ КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЗАМКНУТЫХ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ МИНЕРАЛОВ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Зайцев В.А., Хамизов Р.Х., Груздева А.Н. (ГЕОХИ РАН)

alkaline@geokhi.ru; тел.: 8 (495) 939 70 63

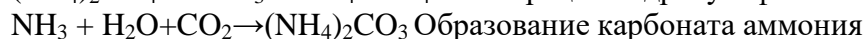
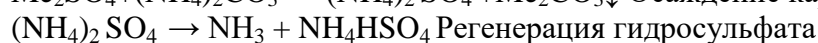
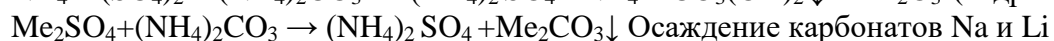
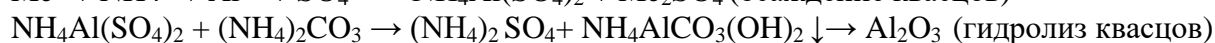
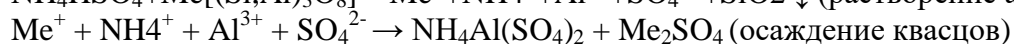
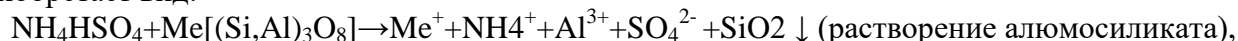
Работа выполнена за счет средств бюджетного финансирования Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)

Щелочные массивы Арктической зоны РФ содержат огромные запасы полезных ископаемых, но их разработка осложняется слабостью транспортной инфраструктуры, обусловленной обилием болот и вечной мерзлоты, что удорожает строительство и обслуживание дорог, необходимых для перевозки руды или подвоза реагентов и побочных продуктов, если выделение металла предполагается на месте добычи. В связи с этим возникает интерес к замкнутым технологиям, идеология которых восходит к циклу, предложенному М. Бюхнером:



В ГЕОХИ РАН проведены эксперименты по гидросульфатному разложению нефелина, сподумена, Li-слюдов показавшие, что этот метод перспективен для построения технологий извлечения полезных компонентов из этих минералов.

Поскольку при их разложении в раствор переходит много щелочных и щелочноземельных металлов, которые не осаждаются аммиаком в виде гидроксидов, для восполнения расхода сульфат-иона требуется добавка серной кислоты. Для её сокращения необходима организация параллельного– сульфатно-карбонатного цикла, в котором выделяемый при разложении сульфата аммиак расходуется на образование карбоната аммония, используемого для осаждения карбонатов Li, Na, Ca, Sr. Осаждение алюминия карбонатом аммония вместо аммиака обеспечивает более чистый (по сере) осадок. Таким образом, цикл приобретает вид:



Расходуемыми реагентами в этом случае оказываются H_2O и CO_2 , что находится в тренде современных работ по связыванию углекислого газа.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В МОРСКИХ ОСАДКАХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА
ОКСИТЕРМОГРАФИИ

**Зайцева А.Е., Зуев Б.К., Ткаченко Е.А., Севастьянов В.С.,
Воропаев С.А., Душенко Н.В. (ГЕОХИ РАН)**
mihneva.1999@yandex.ru

Анализ донных осадков арктических морей ведётся на протяжении многих лет. Интерес к микропластику в морских осадках возник недавно.

Проблема загрязнения микропластиком почв, воздуха и вод активно изучается. В частности, есть работы по изучению загрязнений донных отложений Карского моря. Исследование размеров частиц микропластика с помощью сканирующего электронного микроскопа показало, что в пробах имеются частицы размером от 5 до 25 мкм.

Целью данного исследования было определение микропластика, в частности, полистирола, в донных отложениях Карского моря с помощью метода окситермографии, где протекание химических процессов в образцах регистрируется потреблением атмосферного кислорода и выделением углекислого газа в процессе программированного нагрева. Метод окситермографии является быстрым, более высокочувствительным с низким пределом обнаружения, и экологически безопасным и «безреагентным» методом. Образцы морских осадков прокаливали при температуре +800°C в течение 1 часа в муфельной печи, добавляли измельчённый полистирол (размер частиц <5 мкм, концентрация полистирола в образце 18.7%) и отжигали со скоростью 10 град/мин. Полученные окситермограммы показали наличие пика полистирола. Метод можно использовать для стандартизации других видов микропластика в донных осадках.

РУСЛО BALTIS VALLIS НА ВЕНЕРЕ: МОРФОЛОГИЯ И ВЕРОЯТНЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ

Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН), Хэд, Дж.У. (Университет Брауна, США)

mikhail_ivanov@brown.edu; тел.: 8 (495) 137 49 95

Baltis Vallis - крупнейшее русло на поверхности Венеры (ок. 8000 км длиной). В качестве вещества, прорезавшего это русло предлагались коматииты, высокощелочные ультрамафиты, карбонатиты, сера и даже вода. Воду можно свободно исключить из этого списка. Остальные потенциальные агенты эрозии можно разделить на две группы: (1) температура плавления существенно выше, чем у базальтов (ультрамафиты); (2) температура плавления существенно ниже, чем у базальтов (карбонатиты, сера). Таким образом, жидкости из первой группы могут эродировать базальтовые равнины термически и механически, а низкотемпературные жидкости из второй группы - только механически. Длина Baltis Vallis, его постоянная ширина в несколько километров и полное отсутствие притоков означают, что канал формировался из одного источника при излиянии очень большого объема эродирующего агента. Такие излияния низкотемпературных жидкостей привело бы к образованию форм рельефа, типичных для катастрофических прорывов воды на Земле и Марсе. Отсутствие таких форм в ассоциации с Baltis Vallis может указывать на то, что канал формировался за счет термической эрозии.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АКВАКОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

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

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

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

В данной работе исследованы термодинамические характеристики аквакомплексов железа и марганца в зависимости от изотопного состава растворителя и различных гидротермических условий (298,15–623,15 К, 0,123–0,217 МПа). Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения вопросов диагностики почв, подверженных антропогенному воздействию. Методом DFT (PBE0/def2-TZVPP) с коррекцией на дисперсионные взаимодействия D3 (Grimme) установлена корреляция между изотопным составом воды (D/H, T/H) и термодинамической устойчивостью аквакомплексов Fe-Mn, что позволяет прогнозировать их поведение в природных гидротермальных системах. Расчеты выполнены в программном пакете ORCA 5.0.4. Установлены закономерности влияния изотопного состава лигандов на стабильность координационных соединений в водных растворах. Полученные данные позволяют уточнить механизмы миграции и аккумуляции железа и марганца в природных системах, включая загрязненные почвы. Работа была выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса» НИЦ «Курчатовский институт»,

ВЕРОЯТНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ С ПЛАНЕТАМИ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ ТЕЛ,
ВЫБРОШЕННЫХ С ЭТИХ ПЛАНЕТ

Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)

siipatov@hotmail.com; тел.: 8 (926) 379 28 10

Исследования проводились в рамках госзадания ГЕОХИ им. Вернадского РАН

Результаты исследований выброса тел с Земли опубликованы в [1-2]. Рассматривался также выброс тел с Марса, Меркурия, Венеры и Луны. В разных вариантах расчетов значения угла выброса i_{ej} варьировались от 15° до 90° , значения скорости выброса v_{ej} варьировались от параболической скорости на поверхности небесного объекта до 20 км/с. При выбросе тел с Марса вероятности столкновений тел с Землей и Венерой составляли около 0.1-0.2 при скорости $5.1 \leq v_{ej} \leq 6$ км/с. Большинство тел, выброшенных с Меркурия, выпадали обратно на Меркурий. Вероятности столкновений тел, выброшенных с Меркурия, с Землей обычно не превышали 0.02 и 0.1 при $v_{ej} < 8$ км/с и $v_{ej} < 15$ км/с соответственно. Доля таких тел, столкнувшихся с Венерой, была обычно на порядок больше, чем с Землей. При выбросе тел с Венеры доля тел, столкнувшихся с Венерой, была около 0.3-0.8, а доля тел, столкнувшихся с Землей, была около 0.04-0.2. [1] Ипатов С.И. *Астрономический вестник*. 2024, т.58, N 1, с.99-117. [2] Ipatov S.I. *Icarus*, 2025., v.425, id.116341.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЗЭ В МЕЗОСИДЕРИТЕ VACA MUERTA

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

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

Мезосидериты - железокремнистые ахондриты, состоящие из горных пород габброидного состава с включениями дунитов и пироксенитов, и около 50 об % никелистого железа.

В ходе изучения ультраосновных ксенолитов в мезосидерите Vaca Muerta, было обнаружено, что внутри него Са-мерриллит обладает положительной аномалией европия в спектре распределения РЗЭ и заметным обогащением тяжелыми РЗЭ. На границе ксенолита и основной массы интенсивность Eu аномалии уменьшается, а в основной массе мезосидерита аномалия Eu практически исчезает, а спектры РЗЭ становятся практически плоскими с $La/Yb < 1$.

Ранее в литературе не было представлено данных по распределению РЗЭ в фосфатах оливиновых ксенолитов в мезосидеритах. Имеются литературные данные о содержании РЗЭ в фосфатах габброидных и пироксеновых пород, для которых характерны плоские спектры РЗЭ либо с отрицательной аномалией Eu [Kennedy, 1992], и данные по фосфатам основной массы мезосидерита [Ward, 2017], для которых характерны также плоский вид спектра РЗЭ или отрицательная аномалия европия, с легким обеднением легкими РЗЭ. Обнаруженный в ходе работы новый тип распределения РЗЭ в фосфатах даёт новую информацию об истории ультраосновных пород мезосидеритов.

АДСОРБЦИЯ КАДМИЯ НА ТАЛЬКЕ (КИНЕТИКА И РАВНОВЕСИЕ)

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

olga@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 54

В связи с проблемой очистки поверхностных вод большое внимание уделяется поиску экономически эффективных сорбентов для удаления токсичных ионов тяжелых металлов. В нашей работе проведены результаты исследования кинетики и равновесия адсорбции кадмия на природном тальке при 25⁰С. Наилучшее описание кинетики адсорбции достигается с помощью уравнения скорости псевдо-второго порядка, что свидетельствует о химическом взаимодействии ионов кадмия с поверхностью талька с образованием прочных ковалентных связей. Адсорбционное равновесие устанавливается примерно через 40 минут после начала контакта минерал/раствор. Линейность изотерм адсорбции в log-log координатах свидетельствует о том, что адсорбция кадмия при постоянном рН адекватно описывается изотермой Фрейндлиха, что типично для гетерогенных поверхностей с энергетически разнородными адсорбционными центрами. Зависимость величины равновесной адсорбции от рН показывает, что максимальное и практически полное поглощение кадмия при его исходных концентрациях 0.1 – 10 мкМ происходит при рН 7– 8, что говорит об эффективности использования талька в качестве поглотителя кадмия.

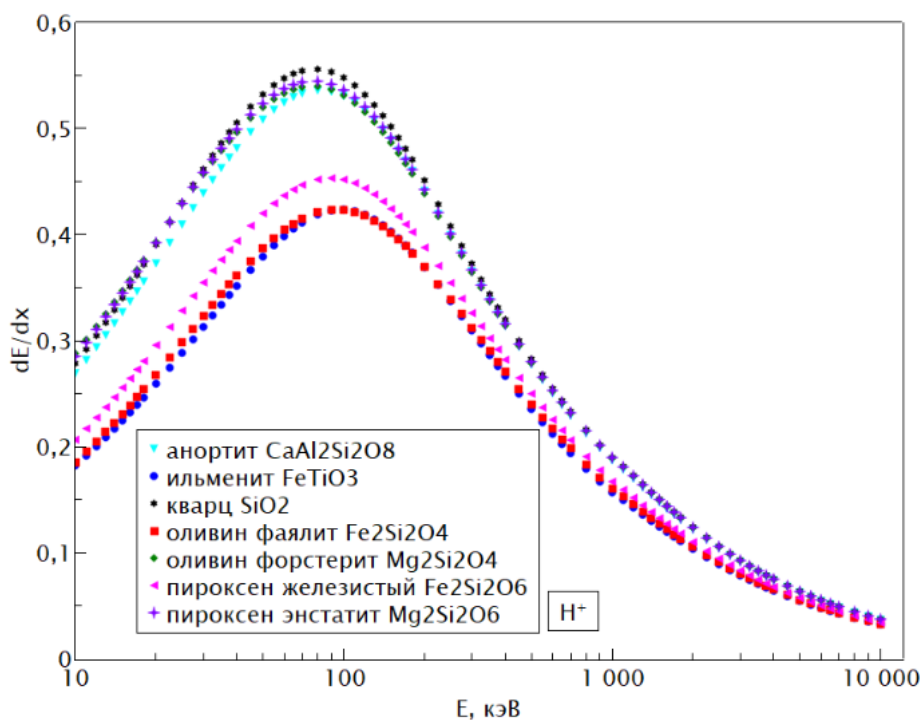
РАСЧЁТ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ (dE/dx) ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МИНЕРАЛЫ ЛУННОГО ГРУНТА

Клюева М.В. Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)

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

Рассчитаны зависимости потерь энергии ионов водорода, гелия и аргона (dE/dx) от энергии облучения (E) для минералов, составляющих лунный грунт (анортит, ильменит, кварц, оливин, пироксен. Для вышеперечисленных минералов вычислены энергии облучения, при которых происходят максимальные ионизационные потери. Для имплантированного водорода максимальные потери энергии составили от 80 до 100 кэВ (см. Рисунок) в зависимости от минерала, для гелия же от 650 до 700 кэВ. Расчёт выполнен с помощью программного пакета SRIM (Ziegler J.F. 2013). Рассчитаны глубины проникновения имплантированных ионов водорода, гелия и аргона для кварца, форстерита и ильменита при различных дозах облучения от 10^{15} до 10^{17} ион/см². Для водорода глубина составила от 3000 до 4000 Å в зависимости от минерала, для гелия до 3000 Å, для аргона до 500 Å. Построение и обработка кривых произведены в программе QtiPlot (Vasilief I. 2004)

Рисунок. Зависимости потерь энергии ионов водорода (dE/dx) от энергии облучения (E) для ряда минералов, составляющих лунный грунт.



СИНТЕЗ ДЕКАГОНАЛЬНЫХ И ИКОСАЭДРИЧЕСКИХ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ СИСТЕМЫ Al–Cu–Fe–Co–Ni

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

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

Система Al–Cu–Fe–Co–Ni представляет особый интерес с точки зрения исследования влияния кристаллической структуры на физические свойства икосаэдрических и декагональных квазикристаллов, поскольку содержит как декагональные, так и икосаэдрические фазы. Исследования физических свойств декагональных и икосаэдрических квазикристаллов (Ribeiro 2004, Dolinšek 2009, Zhang 2010) затруднены сложностью получения массивных монокристаллических образцов и отсутствием подробных фазовых диаграмм. (Grushko 2007, Tsai 1989)

В данной работе методом медленного охлаждения расплава в инертной атмосфере был выращен ряд декагональных Al–Ni–Co, Al–Co–Cu–Fe и икосаэдрических Al–Cu–Fe монокристаллов с линейными размерами от 100 до 1000 мкм. Химический состав, а также кристаллическая структура полученных монокристаллов были изучены методами сканирующей электронной микроскопии и методом обратного рассеяния Лауэ.

ЦИРКОНО- И ТИТАНОСИЛИКАТЫ - ИНДИКАТОРЫ ЩЕЛОЧНОСТИ В ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТАХ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)

**Ковальская Т.Н. (ИЭМ РАН), Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН, ГЕОХИ РАН),
Чуканов Н.В. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), Варламов Д.А., Ковальский Г.А.,
Чайчук К.Д., Ермолаев Д.Н. (ИЭМ РАН)**

Ранее был проведен ряд экспериментов по синтезу цирконо- и титаносиликатов в щелочных условиях при различных условиях (Т 550-600 °С и Р 2 кбар, в качестве флюидов применялись растворы NaCl, NaF, NaOH, Na₂CO₃ различной концентрации). Недавно были проведены опыты по синтезу цирсиналита из золь-геля соответствующего состава с использованием 10, 20 и 30% растворов NaOH. При этом в опыте с 10% раствором NaOH образовались власовит, декатионированный цирсиналит и пектолит; в опыте с 20% раствором NaOH образовались власовит и пектолит, а в опыте с 30% раствором NaOH образовались власовит, паракелдышит и пектолит. Опыты показали, что цирсиналит образуется только в слабощелочных условиях, а паракелдышит является индикатором повышенной щелочности минералообразующей среды.

ПИРОКСЕН В ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОБАРНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ
ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЛАРНИТ-НОРМАТИВНЫХ РАСПЛАВОВ

Когарко Л.Н., Булатов В.К. (ГЕОХИ РАН)

kogarko@geokhi.ru; тел.: 8 (499) 137 31 16

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

В самой крупной в мире ультраосновной-щелочной провинции Полярной Сибири (Маймеча-Котуйская) развита мощная дайковая серия недосыщенных кремнеземом высококальциевых магм – мелелитовых нефелинитов, переходящих в кимберлиты. Среди этих пород очень часто встречаются дайки карбонатитов и карбонат-содержащих фонолитов и трахитов.

В настоящей работе впервые детально исследован состав пироксена в процессе кристаллизации ларнит-нормативного турьяита, состав которого был аналогичен природной дайковой породе Маймеча-Котуйской провинции.

Опыты были проведены на многопуансонном аппарате высокого давления конструкции Волкера в ячейках М-14 с использованием рениевого нагревателя. Образцы размещали в платиновых капсулах, изолированных от нагревателя втулкой из MgO. Эксперимент проводился при давлениях 6 и 8 ГПа и температурах 1300оС и 1400оС.

Эксперименты показали, что мелелитовый нефелинит характеризуется весьма широкими полями кристаллизации мелелита и клинопироксена

В процессе кристаллизации происходит изменение состава пироксена - с ростом температуры в пироксенах возрастают содержания алюминия и натрия, в то время как концентрации кремния, магния и железа имеют тенденцию к уменьшению. Глубинная высокотемпературная дифференциация магматических высококальциевых расплавов будет приводить к очень быстрому обеднению остаточных жидкостей алюминием и возникновению пересыщенных щелочами расплавов.

РАСТВОРИМОСТЬ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ В АЛЮМОСИЛИКАТНОМ РАСПЛАВЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 800°C, 1000°C И ДАВЛЕНИЯХ 200, 400 МПа

Коржинская В.С., Котельников А.Р., Сук Н.И., Новиков М.П., Ван К.В. (ИЭМ РАН)

ykor@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 61

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России для реализации научного проекта 13.1902.24.44 (23-075-67362-1-0409-000006)

Получены экспериментальные данные по растворимости твердого раствора $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ в алюмосиликатном расплаве при температурах 800°C и 1000°C для давлений 200 и 400 МПа в сухих условиях и в присутствии воды. Опыты проводили на установке высокого газового давления. Продолжительность экспериментов составляла 14 суток для 800°C и 5 суток для 1000°C. Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпаитности (1.19 – 2.5), а также твердый раствор состава: $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$, синтезированный раствор-расплавленным методом. Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа. Установлено, что в водосодержащих расплавах с ростом агпаитности содержание $\sum (ZrO_2 + HfO_2)$ в стекле возрастает. В сухих условиях вокруг кристаллов $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ образуется ореол с повышенной щелочностью и повышенным содержанием $(ZrO_2 + HfO_2)$. При изученных параметрах в стекле наблюдается образование кристаллов щелочных цирконосиликатов.

ПОВЕДЕНИЕ НАТРИЯ И КАЛЬЦИЯ ПРИ РАСТВОРЕНИИ ПРИРОДНОГО ПИРОХЛОРА
В ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРАХ

Коржинская В.С. (ИЭМ РАН)

ykor@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 61

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН_FMUF-2022-0003

Представлены экспериментальные результаты поведения натрия и кальция при растворении природного пирохлора $(Ca, Na)_2(Nb, Ta)_2O_6(O, OH, F)$ в хлоридных растворах HCl, KCl, NaCl и LiCl с концентрациями от 0.01m до 2 m для температур 300° - 550°C и давлений 50, 100 МПа в присутствии кислородных буферов Ni-NiO и Co-CoO. Установлено, что содержание Ca в растворе сильно увеличивается с ростом концентрации HCl и достигает значений $n \cdot 10^{-5}$ моль/кг H₂O в 0,01m HCl и $n \cdot 10^{-2}$ моль/кг H₂O в 2m HCl. В растворах KCl и NaCl содержание кальция практически не изменяется с ростом концентрации хлоридов. Во всех хлоридных растворах содержание Na увеличивается с ростом концентрации хлорида. Наибольшее содержание Na обнаружено в растворах NaCl и HCl. В растворах KCl содержание Na на 3 порядка ниже. В присутствии кислородного буфера Ni-NiO содержание Ca в растворах HCl и KCl с концентрацией 0.01 m на порядок выше, чем для буфера Co-CoO. Для других концентраций HCl и KCl оно ниже менее одного порядка. Полученные результаты указывают на инконгруэнтную растворимость природного пирохлора в хлоридных растворах с преимущественным переходом в раствор натрия и кальция по сравнению с ниобием.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ $Li_2O-Na_2O-SiO_2$

Королева О.Н. (ГЕОХИ РАН, Институт минералогии УрО РАН)

olgankoroleva@gmail.com;

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, содержащих равные доли лития и калия. Образцы стекла и кристаллов были получены путем охлаждения расплавов, содержащих в общей сложности 33, 40 и 50 мол % оксидов щелочных металлов. 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 рентгеноструктурного анализа. Результаты экспериментов сопоставлялись с данными физико-химического моделирования и расчетов из первых принципов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО РФ-АНАЛИЗАТОРА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Костин А.С., Линник В.Г. (ГЕОХИ), Кречетов П.П. (МГУ)

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

Портативные РФ-спектрометры успешно применяются для экспрессного анализа состава различных компонентов окружающей среды, так как не требуют длительной пробоподготовки и обеспечивают достаточную точность при измерении широкого спектра химических элементов от Mg до Pt.

Определение элементного состава стандартных образцов (ГСО) почв и пород с различным содержанием элементов: SDPS-1 (дерново-подзолистая супесчаная почва), SSK-2 (серозем карбонатный), SGH-1 (ил карбонатный) (n=10) выполнено с помощью портативного энергодисперсионного рентгенфлуоресцентного спектрометра (РФС ЭД) Delta Professional Explorer «OlympusInnov-X» в двух пользовательских режимах градуировки прибора - «Почва» (для анализа проб с содержанием элементов <1% с использованием алгоритма нормализации Комптона) и «Геохимия» (для диагностики состава проб с высоким содержанием элементов (0·n·n·10) с использованием алгоритма фундаментальных параметров).

Для всех анализируемых элементов результаты измерения пересчитаны с поправкой на стандартные образцы по эмпирическим уравнениям на калибровочных графиках. Для окислов сделан пересчет результатов измерения на 100% и введены соответствующие поправочные коэффициенты.

Полученные содержания Co, Ni, Cu, Zn, As и Y для стандарта SDPS-1 оказались ниже предела обнаружения прибора (0,004%). Случайная ошибка измерений (по величине коэффициента вариации) удовлетворяет требованиям нормативных документов (менее 30% согласно [РД 52.04.186-89..., 1991]) и варьирует для элементов и окислов в убывающем ряду: Cu, Zn, Y, Nb (15-20%)> Ni, Pb (10-15%)> SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, V, Cr, Rb, Sr, Zr (5-10%)> CaO, K₂O, TiO₂, MnO (<5%), что, по-видимому, определяется незначительными размерами окна излучателя и малой глубиной проникновения рентгеновского излучения в образец.

Для Ni, Sr, Y, Nb (40-70%)>Cr, Cu, Zn, Rb, Zr (40-50%)>SiO₂, Fe₂O₃, V (20-40%)> Al₂O₃, TiO₂, MnO (<20%) выявлено занижение содержаний, а для MgO (20-100%)>CaO, K₂O (15-35%) завышение содержаний в соответствующем убывающем ряду, что отражает погрешность самого прибора.

Проведенные методические работы подтверждают широкие возможности применения портативного РФС ЭД спектрометра для первичного лабораторного экспресс-анализа и в полевом определении состава почв и пород.

КИНЕТИКА МОБИЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
БАЗАЛЬТА С АНГИДРИТОВЫМ РАСПЛАВОМ (ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ 0.1 МПа, 1250°C)

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

nastya@iem.ac.ru

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 24-27-00356

Содержания элементов-примесей методом масс-спектрометрии (ИСП-МС) с индуктивно-связанной плазмой были определены в исходных образцах базальта и мергель-ангидритовой породы, а также в экспериментальных образцах после плавления системы базальт-мергель-ангидрит при 0.1 МПа, 1250°C через 2, 3.5 и 5 ч. Результаты исследований показали, что в мергель-ангидритовой породе повышенные значения концентраций, нормированные к примитивной мантии, наблюдаются в ряду ЛРЗЭ (La, Ce, Pr, Nd, Sm), у большинства редких элементов, среди которых тугоплавкие W, Nb, Ta, Mo, а также Cs, Tl, Rb, Ba, Th, U, Be. Во всех экспериментальных и исходных образцах зафиксированы минимумы концентраций Cr, Ni, Co, а в мергель-ангидритовой породе еще и у Cu, Zn, Sc. В экспериментальных расплавах наблюдается уменьшение концентраций Ni, Cu, Co, Pt в зависимости от длительности эксперимента. Такой эффект может быть связан с увеличением скорости мобилизации элементов из базальтового расплава в сульфидный с увеличением времени плавления.

ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ И ИХ ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ

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

kotelnik1950@yandex.ru; тел. +7 (916) 206 60 16

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0002

При температуре 500-900°C и давлении 1-3 кбар изучены твердые растворы полевых шпатов различного состава и изучены их катионообменные реакции с растворами. По экспериментальным данным рассчитаны параметры Маргулеса для описания избыточных энергий смешения твердых растворов и уточнены параметры элементарных ячеек. Проведено сравнение с изученными ранее полевыми шпатами. Предложены эмпирические зависимости для расчета энергетических параметров модели Маргулеса и объемов элементарных ячеек для различных минералов с полевошпатовой структурой.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Nb И Ta В СИСТЕМЕ ТАНТАЛО-НИОБАТ – АЛЮМОСИКАТНЫЙ
РАСПЛАВ

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

kotelnik1950@yandex.ru; тел. +7 (916) 206 60 16

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0003

Опыты по распределению Nb и Ta проводили при 800°C и P = 3.5 кбар на установке высокого газового давления. Для загрузки использовали специально синтезированные стекла Na-Si и Li-F спецификации. Флюид (NaF + KF + H₂O) присутствовал в режиме пересыщения. Тантало-ниобаты марганца и железа были также синтетические, их состав отвечал формуле: (Fe_{0.5}Mn_{0.5})NbTaO₆. Опыты показали, что расплавы Na-Si спецификации обогащаются Nb, а Li-F спецификации – Ta. Полученные данные объясняют дифференциацию редких элементов в зависимости от составов остаточных расплавов, обогащенных несовместимыми элементами.

СИНТЕЗ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ С ГАЛЛИЕМ И ГЕРМАНИЕМ

Котельников А.Р., Корнеева А.А., Косова С.А., Сук Н.И., Дрожжина Н.А. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0002

Методами пиросинтеза (1300°C), гидротермальной перекристаллизации (при 650°C и P=2кбар) синтезированы полевые шпаты, содержащие галлий и германий. При 750 и 650°C (P = 2 кбар) проведены опыты по катионообменным равновесиям с раствором 1M SrCl₂. Синтезированы их твердые растворы. Уточнены параметры элементарных ячеек синтезированных полевых шпатов и их твердых растворов. Данные полевые шпаты синтезированы впервые.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ПИРОХЛОРА И ОКСИДА НИОБИЯ В ХЛОРИДНЫХ ВОДНЫХ ФЛЮИДАХ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)

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

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

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России для реализации научного проекта 13.1902.24.44 (23-075-67362-1-0409-000006)

Изучено влияние физико-химических параметров (концентрации растворов, температуры, давления, окислительно-восстановительных условий) на растворимость природного минерала пироклора и оксида ниобия в модельных водно-солевых флюидах HCl, KCl, NaCl, LiCl с концентрациями 0.01 – 2 м при 300 – 550°C, 50 и 100 МПа (буферы Co-CoO и Ni-NiO). Установлено, что в гидротермальных хлоридных растворах, равновесных с указанными минералами, наблюдается положительная концентрационная зависимость содержания ниобия, как для пироклора, так и для Nb₂O₅. Влияние температуры, давления флюида и окислительно-восстановительных условий на растворимость Nb₂O₅ и пироклора незначительно. Проведен сравнительный анализ предельных содержаний Nb при растворении Nb₂O₅ и пироклора в растворах HCl и KCl в диапазоне концентраций 0.01 – 2 м при 550°C и 100 МПа.

МАГНИТНЫЕ, ТЕПЛОВЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАСВУМИТА (KFe_2S_3)

Кошелев А.В., Воронин М.В. (ИЭМ РАН)

anatolkosh@mail.ru; тел.: 8 (991) 223 45 34

Работа выполнена в рамках гранта РФФ 24-72-00166

В рамках данной работы исследовался природный образец расвумита (KFe_2S_3), имеющий низкоразмерную магнитную подсистему на основе спиновых лестниц из ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . Химическая чистота образца была проверена методами рентгенофазового анализа и рентгеноспектрального микроанализа. Магнитные свойства измерялись в интервале температур 2-300 К во внешнем магнитном поле $H = 1000$ Ое в режимах охлаждения в магнитном поле и в нулевом магнитном поле (FC и ZFC режимы). Температурная зависимость теплоёмкости измерялась в нулевом магнитном поле в интервале температур 2-300 К. Эксперименты проводились на установке для измерения физических свойств PPMS-9Т фирмы Quantum Design. Измерения мёссбауэровского спектра проводились при комнатной температуре на спектрометре MS-1104Em.

Температурная зависимость магнитной восприимчивости при высоких температурах хорошо аппроксимируется законом Кюри-Вейсса $\chi = \chi_0 + C/(T-\Theta)$ со значительно заниженным параметром $C=0.98$, который, по-видимому, соответствует низкоспиновому состоянию магнитных ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . При температуре $T_s \sim 20$ К наблюдается расхождение между кривыми измеренными в FC и ZFC режимах и широкий максимум для режима ZFC. Температурная зависимость теплоёмкости гладкая и монотонная во всём исследованном интервале температур без признаков формирования дальнего магнитного порядка.

Анализ мёссбауэровского спектра показал, что он содержит одиночный дублет, со следующими параметрами (в мм/с): изомерный сдвиг (IS) 0.311, квадрупольное расщепление (QS) 0.520 и ширина на полувысоте (FWHM) 0.263.

Таким образом исследованный образец, по-видимому, не формирует дальнего магнитного порядка во всём исследованном интервале температур, квантовым основным состоянием, скорее всего, является разупорядоченное состояние по типу спинового стекла.

ОЦЕНКА ФАКТОРА СМЕШЕНИЯ МЕСТНОГО И ПРЕВНЕСЁННОГО МАТЕРИАЛА В
ВЫБРОСАХ КРАТЕРА ЛАНГРЕН

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

krasilnikov_as@geokhi.ru

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

Объектами исследования стали лучи кратера Лангрэн, поскольку:

- (1) он расположен на границе моря и материка, и его лучи хорошо выражены;
- (2) возраст кратера, 3,41 млрд лет, практически совпадает с возрастом поверхности моря Моря Изобилия, 3,45 млрд лет, что минимизирует различие в степени старения реголита.

Полученные оценки содержания FeO образуют тенденцию увеличения оксида железа по мере увеличения расстояния (D, км) от центра кратера, которая описывается линейной функцией:

$$\text{FeO} = 0,0000236 * D + 9,62.$$

Увеличение оксида железа интерпретировалось как результат смешивания двух конечных членов, морского материала со средним содержанием FeO 17,5 мас.% и материкового материала со средним содержанием FeO 5,5 мас.%. Полученная зависимость позволяет предложить формулу для оценки доли инородного вещества (L/F):

$$L/F = 0,2 * \exp(0,013D) \quad (3).$$

ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ CO₂ В БАЗАЛЬТОВЫХ И ПИКРИТОВЫХ РАСПЛАВАХ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 5-20 КБАР: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРОДУКТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

**Крашенинников С. (ГЕОХИ РАН),
Бочарников Р., Цоньпен Ян (JGU Mainz, Germany),
Альмеев Р. (IESW LUH, Hannover, Germany),
Шишкина Т., Миронов Н. (ГЕОХИ РАН),
Портнягин М. (GEOMAR, Kiel, Germany)**

spkrashennnikov@mail.ru; тел.: 8 (916) 648 03 96

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-55-12013

Растущее число данных по природным расплавам с высоким содержанием CO₂ (более 1%) диктует необходимость проведения систематических экспериментальных исследований по растворимости CO₂ в расплавах различного состава. В докладе будут представлены первые результаты изучения растворимости H₂O-CO₂ в установках типа «газовой бомбы» в (LUH, Германия) и «цилиндр-поршень» в (JGU, Германия), со стартовыми составами пикробазальтов извержения влк. Этна (Италия) и островодужных базальтов влк. Мутновский (Камчатка). В результате экспериментов в условиях насыщения системы летучими компонентами при давлениях 5-20 кбар получены препараты с концентрациями CO₂ до 4 вес%, измеренными методом Рамановской спектроскопии и элементного C-S анализа. По результатам экспериментов показано влияние химического состава расплава на максимальную растворимость CO₂ при различных давлениях.

КИНЕТИКА ПЕРЕУРАВНОВЕШИВАНИЯ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ T-fO₂ УСЛОВИЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

**Крашенинников С. (ГЕОХИ РАН), Бочарников Р. (JGU Mainz, Germany),
Портнягин М. (GEOMAR, Kiel, Germany), Гуренко А. (CRPG-CNRS, Nancy, France),
Миронов Н. (ГЕОХИ РАН), Альмеев Р. (IESW LUH, Hannover, Germany)**
spkrasheninnikov@mail.ru; тел.: 8 (916) 648 03 96

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-55-12013

Эксперименты при атмосферном давлении и заданной летучести кислорода с оливинами вулкана Лоихи (Гавайские острова) позволили изучить кинетику влияния внешних редокс условий на состав захваченного расплава. Методом ионного зонда (Нанси, Франция) показано, что процесс потери включением воды не зависит от редокс условий, а контролируется температурой и длительностью эксперимента. Уже после 60 минут при температуре 1230 С происходит потеря примерно 1/5 ее исходного содержания. Практически полная потеря воды из включений отмечена после 12-ти часового эксперимента. Наряду с этим обнаружено, что окружающая оливин газовая среда с различным парциальным давлением кислорода вызывает быстрое и закономерное изменение степени окисления железа и серы в расплавных включениях. Полное переуравновешивание достигалось в экспериментах длительностью 12 часов. Таким образом скорости окисления/восстановления этих элементов в расплавах сопоставимы со скоростью потери/привноса воды через оливин-хозяин, но происходят по различным независимым механизмам.

ОЦЕНКИ ВАЛОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА В МАНТИИ ЛУНЫ ПО МАНТИЙНОМУ ПОТОКУ

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

va_kronrod@mail.ru; тел. 8 (499) 137 86 14

Исследования проведены при финансовой поддержке госзадания ГЕОХИ РАН

На основании сейсмических данных и условий отсутствия инверсии плотности в предыдущих работах авторов были получены величины градиента температуры на границе кора–мантия и проведены оценки валовых содержаний урана в мантии Луны. При этом предполагалось, что теплообмен в мантии описывается в квазистационарном приближении. Эволюционные модели теплового режима Луны показали, что число Юри для Луны значительно меньше единицы, поэтому при оценках концентраций радиоактивных изотопов по поверхностным потокам необходимо учитывать нестационарный температурный режим. Следует ожидать, что в оценках величины мантийных потоков также необходимо вводить поправки, учитывающие режим охлаждения. На основании численных экспериментов с различными теплофизическими свойствами коры показано, что мантийный тепловой поток на ~10% превышает ожидаемые стационарные значения, что требует соответствующей коррекции.

**МОДЕЛЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЛУННОЙ КОРЫ С УЧЁТОМ СТРУКТУРЫ
МЕГАРЕГОЛИТА И РАДИАЦИОННОГО ПЕРЕНОСА**

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

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

Работа выполнена в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

Представлена модель вертикального распределения теплопроводности в коре Луны, основанная на стратифицированной геологической структуре. Расчёты выполняются с учётом глубинного профиля пористости, определяемой уравнением сжатия пор при статическом давлении. Для оценки теплопроводности применена двухфазная модель мегареолита (решётчатая + радиационная компоненты). Теплопроводность композита определяется по модели Максвелла для двухфазной среды. Учитывается вклад радиационного переноса с зависимостью от пористости и температуры. Структурно нарушенная кора моделируется как переход от мегареолита к плотной породе с линейной зависимостью объёмной доли фаз.

Модель реализована в виде расчётной схемы, позволяющей получить распределение теплопроводности в пределах лунной коры.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРИДОТИТА С БОГАТЫМИ SiO₂ ФЛЮИДАМИ/РАСПЛАВАМИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИ 3.0-5.5 ГПА И 1200°C И ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРОЦЕССАМ МЕТАСОМАТОЗА В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ

Крук А.Н., Сокол А.Г. (ИГМ СО РАН)

krukan@igm.nsc.ru; тел: +7 (913) 914 63 01

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

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

Экспериментально изучены метасоматические реакции гранатового лерцолита с богатыми SiO₂, Al₂O₃ и щелочами сверхкритическими флюидами и расплавами, которые потенциально могли быть образованы в процессах дегидратации, декарбонатизации и плавления метаосадков в зонах субдукции. Показано, что реакция гранатового лерцолита с модельными субдукционными агентами приводит к изменениям, которые характерны для модального метасоматоза литосферной мантии. В результате реакции с расплавом при давлении 5,5 ГПа образуется флогопитсодержащий гранатовый лерцолит, а при давлении 3,0 ГПа флогопитсодержащий гранатовый гарцбургит. При увеличении содержания летучих во флюиде, реакция с ним идет за счет интенсивной карбонатизации перидотита с исчезновением оливина, образованием ортопироксена и магнезита. При давлении 3,0 ГПа и температуре 1200°C в образцах появляется богатый щелочами карбонатно-силикатный расплав. Наличие в богатом SiO₂ флюиде или расплаве значительного количества растворенного CO₂ вызывает метасоматические преобразования перидотита очень сходные с теми, которые происходят при их переработке карбонатитовыми расплавами. Причем, при мольной доле CO₂/(CO₂+H₂O)<0,23 образуется флогопит, а при >0,51 магнезит. Флогопит и магнезит в продуктах метасоматических реакций одновременно не образуются.

**О ФЛЮИДНОЙ СТАДИИ ВНЕДРЕНИЯ МАНТИЙНОЙ ИНТРУЗИИ В ЗЕМНУЮ КОРУ
ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ МОГТ И ГСЗ**

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

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

Моделирование процессов интрузивного магматизма проводится в геохимии, петрологии, тектонике, тектонофизике и в других разделах наук о Земле. Внедрение интрузии в земную кору рассматривается как непрерывный процесс. Параметры и характеристики сейсмического поля позволяют выделить в разрезе зоны преимущественно газо- и водонасыщения.

На фрагментах региональных сейсмических профилей (МОГТ, ГСЗ), проходящих через разновозрастные тектонические структуры (Балтийский щит, Восточно-Европейская платформа, Урал, Восточная Сибирь), в средней и нижней частях были выявлены области газонасыщенности, возможно связанные с интрузивным магматизмом. Совместное рассмотрение сейсмических данных и данных магнито-теллурических зондирований позволило выделить начальную стадию при внедрении интрузии, которая представляет собой вторжение мантийного флюида преимущественно в газовой фазе. На этой стадии происходит изменение физико-химических свойств геосреды, диспергация, аморфитизация, метасоматоз и др.

Таким образом, внедрение мантийной интрузии включает две стадии. 1. Вторжение флюида в основном в газовой фазе, вероятно, при высоких содержаниях легких газов. 2. Внедрение непосредственно магматического тела. Данная интерпретация предполагает возможность завершения процесса на стадии вторжения газа.

**О СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ФЛЮИДНЫХ ПОТОКОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

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

Вторжение флюида в земную кору оказывает не только существенное влияние на вещественный состав, но и приводит к образованию специфических структур земной коры. К ним относятся кольцевые и вихревые структуры. В зависимости от масштаба проявления процесса вторжения их происхождение связывают с интрузивным магматизмом, вулканизмом и плюмтектоникой. Овоидные (лепестковые) структуры, полученные при сейсмических наблюдениях по методу отраженных волн, могут быть образованы, помимо внедрения плюма (интрузии), и другими процессами: сменой механизма разрушения с глубиной, обтеканием более твердых неоднородностей в геосреде разрывными нарушениями.

Впервые на пересекающихся глубинных разрезах ГСЗ по значениям скорости продольных волн, отношению скорости продольных волн к скорости поперечных волн и по особенностям сейсмических границ была выделена вихревая структура, которая соответствует объемной модели внедрения плюма.

В дальнейшем геохимические исследования, проведенные в пределах контура этой вихревой структуры, могут позволить определить зональность распределения химических элементов и их соединений.

ОЦЕНКА ПЕРИОДА ЧАНДЛЕРОВСКОГО КОЛЕБАНИЯ МАРСА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАНТИИ

Кулик Е. А., Гудкова Т. В. (ИФЗ РАН)

kulik.ea@ifz.ru, gudkova@ifz.ru; тел.: +7 (909) 978 90 44; +7 (499) 254 30 44

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования ИФЗ РАН

В данной работе исследован вопрос, как минералогический состав мантии Марса влияет на значение периода чандлеровского колебания. В последнее время объем данных, используемых в качестве ограничений на модели внутреннего строения Марса, существенно вырос. Модель Марса должна удовлетворять таким геофизическим свойствам, как средняя плотность, момент инерции, приливное число Лява; данным, полученным в ходе сейсмического эксперимента SEIS (толщина и плотность коры, радиус ядра), и значению чандлеровского периода. Эти свойства предоставляют независимую информацию об объемном составе Марса, размере и составе ядра. Имеется некоторое несоответствие между геохимическими моделями и геофизическими параметрами: любая из имеющихся геохимических моделей требует дополнительных предположений. Модели состава недр Марса опираются на лабораторные данные геохимического анализа пород марсианского происхождения и космохимического материала, и отличаются, в основном, по количеству железа в мантии и количеству легких элементов в ядре. В работе построены фазовые диаграммы минералов для заданного химического состава мантии Марса, и рассчитаны приливное число Лява k_2 и чандлеровский период для ряда тестовых моделей.

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОКСИЛЬНЫХ
ДЕФЕКТОВ В ОЛИВИНЕ

Куприянов И.Н., Сокол А.Г., Крук А.Н. (ИГМ СО РАН)

spectra@igm.nsc.ru; тел.: +7 (913) 757 71 67

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

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

Оливин, обладая способностью инкорпорировать водород в виде структурных ОН дефектов, играет важную роль как резервуар воды в мантии Земли. Различные аспекты вхождения водорода в оливин активно исследуются на протяжении последних двух десятилетий. Однако, несмотря на значительный объем накопленной к настоящему времени информации, многие вопросы, связанные с механизмами растворимости H_2O в оливине, структурой соответствующих дефектов и их стабильностью, по-прежнему не имеют однозначного решения. В настоящей работе изучено поведение ОН дефектов в синтетическом оливине (форстерите) при отжиге в диапазоне температур 200-1000 °С. Установлено, что ОН дефекты в форме протонированных Mg вакансий ($V_{Mg}-2H^+$) отжигаются с эффективной энергией активации 1,4 эВ. На основании данных измерения низкотемпературных ИК спектров сделано предположение, что отжиг $V_{Mg}+2H^+$ дефектов сопровождается образованием кластеров, содержащих ОН/ H_2O компоненты. Показано, что полоса поглощения 3553 см^{-1} , предположительно отнесенная к проявлению ОН дефектов междоузельного типа, наиболее вероятно, связана с протонированными Si вакансиями ($V_{Si}-4H^+$).

ВОЗМОЖНОСТИ И НЕДОСТАТКИ МЕТОДА ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В
ИССЛЕДОВАНИИ МЕТЕОРИТОВ

Куюнко Н.С. (ГЕОХИ РАН)

ninakuyunko@gmail.com; тел.: 8 (499) 137 86 14

Работа выполнена в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН

Термолюминесценция относится к наиболее распространенным методам исследования метеоритов. Преимуществом метода является его экспрессность. Пробоподготовка не занимает много времени. Соединение компактной установки с компьютером увеличило чувствительность измерений и воспроизводимость кривых свечения. Измерения естественной (накопленной в космическом пространстве) и наведенной в лабораторных условиях от внешнего радиоактивного источника излучения термолюминесценции метеоритов различных химических классов сделали возможным оценку орбит, анализ эффектов ударно-теплого метаморфизма, идентификацию парных образцов и находок неизвестного генезиса. В неравновесных обыкновенных и углистых хондритах чувствительность индуцированной термолюминесценции позволяет надежно подразделять слабо метаморфизованные метеориты (типа 3) на подтипы 3.0-3.9. Установлена зависимость высоты пика и интенсивности термолюминесцентного свечения от ударного класса равновесных обыкновенных хондритов и рассчитана величина ударной нагрузки. Однако, для построения статистически значимых моделей часто недостаточно имеющихся объектов исследования (метеоритов). Поэтому выявленные с помощью метода термолюминесценции закономерности не всегда удается описать математически.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ИОНОВ КАДМИЯ НА ПРИРОДНОМ ТАЛЬКЕ

Лакштанов Л.З., Карасева О.Н. (ИЭМ РАН), Ханин Д.А. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ)
olga@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 54

Изучение адсорбции ионов кадмия на природном тальке Шабровского месторождения было проведено методом потенциометрического титрования в области рН от 4 до 9 при 25 °С. Получена зависимость адсорбции Cd^{2+} от рН раствора и исходной концентрации кадмия. Обработка экспериментальных данных проведена с помощью модели поверхностного комплексообразования (модель постоянной емкости двойного слоя 0.8 F/m^2). Концентрации адсорбционных центров $>\text{SiOH}$ и $>\text{MgOH}$ рассчитанные из кристаллографических данных, составили 4 и 5.5 nm^2 , соответственно. Константы кислотно-основных равновесий взяты для аморфного SiO_2 и MgO (Sverjensky & Sahai, 1996). Наилучшее согласие с экспериментальными данными было получено в модели, предполагающей образование поверхностного комплекса $>\text{MgOCd}^+$ ($\log K = -3.7$), для которого рассчитаны термодинамические константы. Созданная модель позволяет прогнозировать загрязнение кадмием сточных и шахтных вод на предприятиях по добыче и обогащению руд, а также деконтаминацию кадмия при инфильтрации вод через отвалы, содержащие тальк.

ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДНЕОРДОВИКСКИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Леонова М.А., Марков Г.П. (ИФЗ РАН)

gmarkov@yandex.ru; тел.: 8 (905) 531 86 99

Грант РФФ №24-27-00370

В настоящее время предполагается, что событие Великой ордовикской диверсификации связано с распадом астероида L-хондрита в поясе астероидов между Марсом и Юпитером примерно 465 млн. лет назад и последующим поступлением продуктов этого распада на Землю. Следы этих продуктов были обнаружены во многих разрезах среднеордовикских пород по всему миру (Россия, Швеция, Китай).

До сих пор обнаружение палеометеоритных следов было основано на весьма трудоемком выделении из большой массы породы небольшого количества зерен хромшпинели предположительно космического происхождения.

В данной работе сделана попытка обнаружения петромагнитных признаков идентификации импактных слоев в ряде разрезов среднеордовикских осадочных пород Ленинградской области, в одном из которых (р. Лынна) достоверно определено положение импактного слоя. Полученные предварительные результаты показывают, что явного различия петромагнитных характеристик образцов из импактного слоя от образцов из других стратиграфических слоев пока не обнаружено.

ГИПОТЕЗА ГЕНЕЗИСА ВТОРИЧНОГО МИНЕРАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЛУННОЕ МОЛОКО», ВЫДВИНУТАЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МОРФОЛОГИИ КРИСТАЛЛОВ

Мазина С.Е. (ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА РОССИИ, РУДН), Федоров А.С.,

Назаров С.И. (РУДН), Головин М.Л. (ГЕОХИ РАН)

conophytum@mail.ru; тел.: 8 (915) 461 94 46

В рамках изучения природной кристаллизации было исследовано вторичное минерального образования «лунное молоко» из пещер (тиксотропное, часто имеет антибактериальную активность). Проанализирован химический состав и кристаллическая структура отложения методом сканирующей электронной микроскопии. Содержание воды составляло 76-95%, карбоната кальция 86-96%, а органического углерода до 4% от сухого веса.

В структуре «лунного молока» выделено четыре типа образований. Первый - удлиненные кристаллы кальцита с послойным ростом, образующие рыхлую пространственную сеть и имеющие широкую функцию распределения размеров по ширине (от 0,3 до 2 мкм). В данной сети обнаружены плоские изометричные агрегаты, отнесенные к кристаллам арагонита (второй тип). Третий тип - тела неправильной формы из известняковых конгломератов. Четвертый – нитевидные образования (шириной до 0.1 мкм) вокруг конгломератов известняка. Гибкие нити сегментного строения, концы нитей закреплены на гранях крупных кристаллов. Можно предположить, что центрами кристаллизации нитей выступают бактериальные клетки.

Образование отложения происходило из пересыщенных растворов. Формирование тонких нитевидных структур связано с активным транспортом из крупных кристаллов и процессами биокристаллизации.

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФРАГМЕНТОВ: ОБЪЕКТ, ВЗРЫВ, ГИПОТЕЗА
ЖЕЛЕЗНОГО БОЛИДА**

Максе Л.П. (ОДО «СТРИМ), Могилев, Беларусь),
larissa_maxe@rambler.ru; тел: +3 (752) 984 282 09

Морфологический анализ фрагментов взорвавшегося в атмосфере объекта проведен на основе базы данных, которая включила предоставленные в цифровой форме сведения, характеризующие фрагменты, научно-исследовательскую информацию целевого поиска. Очевидец наблюдал яркий, светящийся объект, который летел с высокой скоростью до момента взрыва и разлета фрагментов. Зеленое свечение колец, расходящихся за объектом, находки на месте, факты, характеризующие взрыв и разлет фрагментов, отвергли версии техногенного или терригенного происхождения объекта. Предоставленные данные показали, что анализируемые фрагменты близки по составу и подобны метеоритам, но имеют отличия. Фрагменты зафиксировали разрушительную деформацию металла при взрыве, который сопровождался высокоскоростным протеканием процессов. Фрагменты отразили сверхбыстрое нагружение (растяжение, кручение) материала объекта, локализованный вязкопластический сдвиг, сверхпластичность, воздействие ударных волн. Автором предложена гипотеза взрыва железного болида, исходный астероид мог пройти длительную эволюцию после разрушения планетезимали. Отмечена главная особенность и научная ценность фрагментов – физико-химическая визуализация воздействия взрыва на тело железного болида, зафиксированная в формах, рельефе, отпечатках на коре плавления фрагментов, образовавшихся при низко атмосферном взрыве.

ЭВОЛЮЦИЯ ВУЛКАНИЗМА ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА НА ВЕНЕРЕ

Малышев Д.Г., Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН)

malyshev@geokhi.ru; тел.: 8 (922) 208 06 95

На Венере обнаружены многочисленные вулканические центры, включая щитовые вулканы и короны. Вулканы отличаются куполообразной формой и радиальными лавовыми потоками, а короны — кольцевыми структурами с тектоническими разломами, часто без явных вулканических признаков. Хотя модели формирования этих объектов разнообразны, их относительный возраст изучен слабо. Предварительные данные указывают на изменение стиля вулканизма со временем: щитовые вулканы, как правило, моложе корон. Ранее было установлено, что только 17% корон являются источниками молодых лавовых потоков. Это позволяет предположить, что на ранних этапах эволюции Венеры потеря тепла происходила преимущественно через формирование корон, а на поздних — через крупные вулканы. Цель исследования — связать эти процессы с существующей стратиграфической моделью планеты, что требует дальнейшего анализа локальной стратиграфии вулканов и корон в глобальном масштабе.

СОДЕРЖАНИЕ СО₂ В РОДОНАЧАЛЬНЫХ МАГМАХ ТОЛБАЧИНСКОГО ДОЛА
(КАМЧАТКА) ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ
РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНЕ – ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

**Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН), Портнягин М.В. (GEOMAR, Kiel, Germany),
Гуренко А. (CRPG-CNRS, Nancy, France), Крашенинников С.П. (ГЕОХИ РАН),
Хольцц Ф. (Institute fur Mineralogy, Hannover, Germany)**

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

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-55-12013

Для расшифровки исходного содержания СО₂, растворенного в первичных островодужных магмах нами была проведена экспериментальная гомогенизация расплавных включений в оливине одного из образцов магнезиальных базальтов Толбачинского дола на Камчатке (извержение 1941 года). Полное растворение газовой фазы во включениях было получено в эксперименте при Т=1330 °С и Р=0.4 ГПа, проведенного на установке типа «газовой бомбы» (ИНРВ) в Институте Минералогии г. Ганновер, Германия. Содержание СО₂ и Н₂О в экспериментальнозакаленных стеклах включений, проанализированных на ионном зонде (г. Нанси, Франция) составили соответственно 0.4-0.5 и 4-6 мас.% при вариациях магнезиальности оливина-хозяина F₀₈₈₋₉₁. С уменьшением магнезиальности оливина происходит снижение концентрации СО₂, что указывает на дегазацию магм при их кристаллизации и подъеме. Оценка глубины кристаллизации показывает, что родоначальные магмы кристаллизовались в нижнекоровых условиях и на границе нижней и верхней коры (~20 км). В докладе обсуждаются вопросы какой тип магм является родоначальным для Толбачинского дола и как изменяются окислительно-восстановительные условия при образовании и кристаллизации магм на различных геологических уровнях.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАЗЛОЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СМЕСИ СУЛЬФАТА И БИФТОРИДА АММОНИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА**

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

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>

Разработана новая методика пробоподготовка образцов горных пород для элементного анализа методами атомно-эмиссионной (ИСП-АЭС) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). В качестве объектов исследования служили международные стандартные образцы состава горных пород GM (гранит), JA-2 (андезит), BHVO-1 (базальт) и JR-1 (риолит), в которых методом ИСП-АЭС определяли основные элементы (Ti, Al, Mn, Ca, Mg, Fe, Na, K, P) в пересчёте на оксиды, а методом ИСП-МС — микроэлементы (Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th и U). Для полного разложения минералы подвергали взаимодействию со смесью бифторида и сульфата аммония при нагревании.

ПРОЯВЛЕНИЕ НЕЕОДНОРОДНОСТИ ВЕЩЕСТВА И ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ В
ФОРМАХ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОБЫКНОВЕННЫХ
ХОНДРИТОВ

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

К одному из важнейших результатов, полученных в исследованиях физико-механических свойств каменных метеоритов (Царев, Ghubara, SaU-001), относится вывод о способности фрагментов поразному сопротивляться разделению на части. При массовых определениях прочности ортогонально ориентированных образцов эффект анизотропии прочности, не очевидный на фоне хондритовой структуры каменных небесных тел, был установлен экспериментально. Кроме того, при постпиковом сбросе нагрузки образцов в режиме неуправляемой «запредельной» деформации были получены аномалии локального упрочнения, свидетельствующие о переходе раздробленного материала в режим неустойчивого взрывоподобного динамического разрушения.

С исследованиями этих эффектов и связаны детальные структурно-минералогические исследования, выполненные с использованием комплекса методов оптической и электронной микроскопии. Объектами сравнительного изучения явились образцы метеоритов с ненарушенной исходной структурой (шлифы) и пробы продуктов дробления образцов (пыль, обломки) после испытаний на одноосное объемное сжатие (схема Кармана).

Теоретическую базу исследований составили представления обобщенной двухфакторной модели прочности, по Иоффе-Давиденкову-Фридману, позволившие разделить структуры хрупкого и вязкого разрушения.

Результатом оптических наблюдений явились выводы о наличии в строении хондритов взаимосвязи механизмов разрушения, заложенных в процессах конденсации хондр в ходе автобрекчирования. В хондрах и их окрестности обнаружены следы очаговых форм взрывоподобного разрушения «камуфлетного» и «кумулятивного» типа. Структуры хрупкого разрушения, представляются в виде семейств микротрещин, контролируемых единым очагом разрушения и, представляются в виде роя дефектов, фрактографически фиксируемого на сколах обломков.

Полученные данные позволяют рассматривать процессы динамической самоорганизации метеоритного вещества, как одну из форм взрывной активизации болидов при их входе в атмосферу.

О ГЕНЕЗИСЕ КУЛАРИТА

Новиков М.П., Некрасов А.Н., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН)

novikovi@chgnet.ru; тел.: 8 (496) 522 31 43

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН FMUF-2022-0003

Куларит - (ортофосфат редких земель Се-подгруппы) в массовом количестве был найден в Куларском кряже на северо-востоке Якутии в пределах Верхоянской складчатой системы пермских и триасовых черносланцевых отложений, обогащённых фосфатным веществом. Изначально первооткрывателями он был классифицирован как аутигенная разновидность монацита, где наряду с редкими землями содержится как правило торий и кремнезем. При детальном исследовании с помощью микронзондовоно анализа было установлено, что в образцах с повышенным количеством кремния (больше 3,6 мас%) существует прямая корреляция содержаний ThO_2 с SiO_2 . Данное обстоятельство даёт повод утверждать, что образуется самостоятельная фаза ThSiO_4 в виде хаттонита (хэттонита). Таким образом, собственно микроконкреции куларита представляют собой поликристалл. Хаттонит кристаллизуется в моноклинной сингонии, что даёт возможность легко входить в идентичную структуру, такую как куларит. Важно отметить, что параметры элементарных ячеек обоих минералов практически совпадают. Так, для куларита $a=6.77\text{Å}$, $b=7.04\text{Å}$, $c=6.46\text{Å}$, а для хаттонита $a=6.77\text{Å}$, $b=6.96\text{Å}$, $c=6.49\text{Å}$ соответственно. Сходство пространственных групп и параметров элементарных ячеек позволяет говорить об изотипии этих соединений. Поскольку хаттонит минерал высокотемпературный, можно говорить о магматическом происхождении куларита с последующим преобразованием его в метаморфических толщах.

СИНТЕЗ АМФИБОЛА ПАРГАСИТОВОГО РЯДА ИЗ ТРАХИАНДЕЗИБАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВА В НЕДОСЫЩЕННЫХ И НАСЫЩЕННЫХ ВОДОЙ УСЛОВИЯХ

**Новикова А.С. (ИЭМ РАН, ИГЕМ РАН), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН),
Козловский А.М. (ИГЕМ РАН), Родионова С.А. (геол. ф-т МГУ)**
anovik@iem.ac.ru

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания

Лаборатории редкометального магматизма ИГЕМ РАН (FMMN-2024-0016)

Для установления глубин магматического очага, а также определения стадийности эволюции силикатного расплава был проведён эксперимент по плавлению трахиандезибазальтов и трахиандезитов могодской серии Орхон-Селенгинского прогиба при $p = 3$ кбар и $T = 950^\circ\text{C}$ при 1.5 и 3 % H_2O . Образцы были дегидратированы в присутствии графита в муфельной печи при 900° . Гомогенизация длилась 2 часа при 1200°C и 5 кбар, а сам синтез происходил при сбросе давления до 3 кбар при $T = 950^\circ\text{C}$ в течении трёх дней в УВГД.

В результате эксперимента во всех продуктах опыта образовались закалочные стёкла (15-20%) тёмно-серого света и новообразованные кристаллы амфибола (20-40%), плагиоклаза (30-60%) и магнетита. Наименьшее содержание амфибола <5 % наблюдалось в опытах с 3 % H_2O . Состав амфибола из опытов соответствует паргаситу и близок к природному составу вкрапленников. Полученные результаты согласуются с данными по геотермобарометрии амфибол-содержащих пород могодской серии, 2.2-4.5 кбар и $958-1015^\circ\text{C}$ и лучше всего описываются амфиболовыми геотермобарометрами Putirka, 2016 и Ridolfi, 2010.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАНГАНИЛЬВАИТА

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., Зубкова Н.В.,
 Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)
ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Проведено комплексное физико-химическое исследование природного образца манганийльваита из Первого Советского рудника (Дальнегорск, Приморский край) методами электронно-зондового, рентгено-структурного и термогравиметрического анализов, мёсбауэровской и ИК спектроскопии. На основе результатов проведенных исследований рассчитана химическая формула минерала, которая имеет вид $\text{Ca}_{1.0}(\text{Mn}_{0.7}^{2+}\text{Fe}_{0.3}^{2+})(\text{Fe}_{1.0}^{2+}\text{Fe}_{1.0}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})_{1.0}$. Термохимическое изучение выполнено на микрокалориметре Кальве (SETARAM, Франция) методом высокотемпературной калориметрии растворения при $T=973$ К в расплаве бората свинца $2\text{PbO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$. Получена энтальпия образования из элементов манганийльваита равная -3746.3 ± 7.3 кДж/моль. Рассчитаны значения $\Delta_f H^0(298.15 \text{ К})$ для крайних членов изоморфной серии ильваит $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+})(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$ – манганийльваит $\text{Ca}(\text{Mn}^{2+})(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$ (-3739.9 ± 8.7 и -3749.0 ± 6.8 кДж/моль соответственно). Оценены значения стандартной энтропии изученного манганийльваита (294.1 ± 1.2 Дж/(К·моль) и манганийльваита идеализированного состава (294.9 ± 1.6 Дж/(К·моль) с использованием справочных данных по $S^0(298.15 \text{ К}) = 292.3 \pm 0.6$ Дж/(моль·К) для ильваита идеализированного состава. Рассчитаны величины энергии Гиббса образования конечных членов серии манганийльваит – ильваит, а также изученного минерала промежуточного состава (-3492.5 ± 6.8 , -3484.1 ± 8.7 и -3490.0 ± 7.3 кДж/моль соответственно).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ И ПОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ БАБИНГТОНИТА

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.,

Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)

ygritsenko@rumbler.ru; тел.: 8 (495) 939 49 64

Образец бабингтонита (Херборн, Земля Гессен, Германия) исследован методами электронно-зондового анализа, порошковой рентгенографии, мёссбауэровской, КР и ИК спектроскопии. На основе результатов проведенных исследований рассчитана химическая формула минерала: $\text{Ca}_{2.0}(\text{Fe}_{0.5}^{2+}\text{Mn}_{0.2}^{2+}\text{Mg}_{0.2})_{\Sigma 1.0}\text{Fe}_{1.0}^{3+}\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})_{1.0}$. Термохимическое исследование бабингтонита выполнено на микрокалориметре Тиана-Кальве методом калориметрии растворения при $T = 973$ К в расплаве состава $2\text{PbO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3$. Определенная для изученного образца величина энтальпии образования из элементов получилась равной -6911.6 ± 10.2 кДж/моль. Оценено значение стандартной энтропии и рассчитана величина энергии Гиббса образования (338.8 ± 2.0 Дж/(моль·К) и -6464.0 ± 10.2 кДж/моль, соответственно). Оценены термодинамические константы конечных членов изоморфной серии бабингтонит $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})$ – манганбабингтонит $\text{Ca}_2\text{Mn}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})$: $\Delta_f H_{\text{el}}^{\circ}(298.15 \text{ K}) = -6868.0 \pm 10.4$ и -6876.9 ± 9.9 кДж/моль, $S^{\circ}(298.15 \text{ K}) = 341.2 \pm 1.8$ и 343.9 ± 2.6 Дж/(моль·К), $\Delta_f G_{\text{el}}^{\circ}(298.15 \text{ K}) = -6422.0 \pm 10.4$ и 6430.0 ± 9.9 кДж/моль, соответственно. Рассчитаны поля устойчивости бабингтонита и минеральных ассоциаций с бабингтонитом в условиях низкоградного метаморфизма и в поздних скарновых парагенезисах.

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ВОДОРОДА С Ag_xPd_{1-x} СПЛАВОМ МЕТОДОМ ЭДС

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

euo@iem.ac.ru; тел. 8 (496) 522 58 49

Госзадание ИЭМ РАН (FMUF-2022-0002)

В известной нам литературе, начиная с конца позапрошлого столетия, взаимодействие водорода с палладием и его бинарными сплавами описывается исключительно растворимостью водорода в кристаллической решетке металлов или сплавов. Так, бинарный сплав становится трехкомпонентным твердым раствором и так далее. В полностью твердотельной гальванической ячейке с общим газовым пространством:

$(-)Pt | C_{(graphite)} | Ag | RbAg_4I_5 | Ag_xPd_{1-x} | C_{(graphite)} | Pt(+)$ было установлено, что равновесное значение ЭДС ячейки при температуре $200^\circ C$ в вакууме резко снижается при изотермическом напуске в ячейку чистого водорода до атмосферного давления. Этот результат однозначно объясняется увеличением активности (концентрации) серебра в сплаве из-за образования второй твердой фазы - гидрида палладия. Далее твердые растворы реагируют между собой, образуя тройной гидрид. Об этом свидетельствует рост ЭДС относительно равновесного значения в вакууме.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ
БАЗАЛЬТОВЫЙ РАСПЛАВ - МЕТАН ВОДОРОДНЫЙ ФЛЮИД ПРИ УМЕРЕННЫХ
ДАВЛЕНИЯХ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)

**Персиков Э. С., Бухтияров П. Г. (ИЭМ РАН), Аранович Л.Я. (ИЭМ РАН, ИГЕМ РАН),
Некрасов А.Н., Шапошникова О.Ю. (ИЭМ РАН)**

persikov@iem.ac.ru

В работе выполнено экспериментальное моделирование процесса образования самородных металлов (Fe) в земной коре при взаимодействии базальтовых расплавов с флюидом (H_2+CH_4) при температурах (1100-1250°C), давлениях флюида (1-100 МПа) в сильно восстановительных условиях - $f(O_2)=10^{-13}-10^{-14}$. Эксперименты проведены с использованием установки высокого газового давления, снабженной уникальным устройством, которое обеспечивает проведение длительных экспериментов при высоких температурах и давлениях восстановительного флюида. На основе экспериментального моделирования установлены следующие особенности процесса взаимодействия восстановительного флюида с базальтовыми расплавами: 1. Как ранее установлено для системы базальтовый расплав – водород, первоначально гомогенный магматический расплав также становится гетерогенным: образовавшаяся H_2O растворяется в расплаве и во флюидной фазе, образуются расплавы более кислого состава и металлические обособления ликвационной структуры. 2. Установлено, что углерод, который образуется в опытах за счет разложения CH_4 , растворяется в металлической фазе. Тем самым экспериментально обоснован механизм, ответственный за присутствие углерода в самородном железе в природе.

НОВЫЙ МЕТОД КОРРЕЛЯЦИИ И ПРЕДСКАЗАНИЯ ЭНЕРГИЙ ГИББСА ВОДНЫХ ИОНОВ ПРИ ВЫСОКИХ Т И Р

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

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

Работа выполнена по Госзаданию ГЕОХИ РАН

Термодинамическое моделирование геохимических процессов в гидротермальных растворах требует величин энергий Гиббса растворённых веществ в стандартном состоянии (т.е. при бесконечном разбавлении в воде) при высоких Т и Р. Для вычисления стандартных энергий Гиббса водных ионов (или констант равновесия соответствующих реакций) необходимо знать их парциальные мольные изобарные теплоёмкости, $C_{p,2}$ как функции Т и Р. Величины $C_{p,2}$ сильно зависят от Т и Р, что создаёт трудности при их экстраполяции на неисследованные параметры состояния. Нами показано, что в отличие от изобарных теплоёмкостей, парциальные мольные изохорные теплоёмкости водных ионов, $C_{v,2}$, при температурах более 200 °С изменяются весьма слабо и практически не зависят от давления. Необходимые для расчётов величины $C_{p,2}$ и $C_{v,2}$ вычислены из формулировки для константы ионизации воды (Arcis et al., 2024), справедливой вплоть до 1000 °С и давления 1 ГПа. Таким образом, изохорные теплоёмкости водных ионов являются весьма удобным параметром для экстраполяции термодинамических свойств на высокие Т и Р. Пересчёт величин $C_{v,2}$ в величины $C_{p,2}$ может быть выполнен при условии, что известны парциальные мольные объёмы ионов как функции Т и Р. После этого расчёт энергий Гиббса ионов выполняется обычными методами интегрирования $C_{p,2}$. Полагаем, что предложенный метод заслуживает дальнейшего исследования.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОНОТЕЛЛУРИДА ПЛАТИНЫ

Полотнянко Н.А. (Гос. Универ. «Дубна»), Тюрин А.В. (ИОНХ РАН),

Чареев Д.А. (ИЭМ РАН, Гос. Универ. «Дубна»),

Шкурлятьева А.В. (Гос. Универ. «Дубна»)

polot.nat@gmail.com; тел.: +7 (903) 110 10 98

Работа продолжает исследования соединений переходных металлов, встречающихся в природе, и посвящена изучению термодинамических характеристик монотеллурида платины. Порошок PtTe получен методом «сухого синтеза» из простых веществ с минимальным избытком халькогена, анализ образца показал отсутствие примесных элементов и посторонних фаз.

С помощью адиабатической калориметрии в интервале 5-353 К впервые измерена изобарная теплоемкость. На основании экспериментальных данных рассчитаны стандартные термодинамические функции для монотеллурида платины: теплоемкость, энтропия, изменение энтальпии и приведенная энергия Гиббса. Полученное значение энтропии $S^0(\text{PtTe}, \text{к}, 298.15) = 81.40 \pm 0.16$ Дж/(моль·К) хорошо согласуется с литературным значением (Каржавин, 2007). Термодинамические характеристики монотеллурида платины необходимы для изучения фазовых отношений в системе Pt-Te, в которой присутствуют минералы мончеит (PtTe₂) и митрофановит (Pt₃Te₄).

СУЛЬФИДНАЯ ГЛОБУЛА И ЛОКАЛИЗИРОВАННЫЙ ДОМЕН, УЛЬТРАОБОГАЩЕННЫЙ МИНЕРАЛАМИ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В АНОРТОЗИТЕ ИЗ ГЛАВНОГО РИФА ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА

**Пшеницын И.В. (ГЕОХИ РАН), Арискин А.А. (ГЕОХИ РАН; геол. ф-т МГУ),
Соболев С.Н. (ГЕОХИ РАН)**

lotecsi@gmail.com; тел.: 8 (915) 976 51 41

Грант РФФ № 23-77-01036

При изучении анортозита из главного ЭПГ-рифа Йоко-Довыренского массива методом компьютерной томографии (КТ) была обнаружена сульфидная глобула (около 5 мм). При ее дальнейшем детальном изучении было установлено, что, несмотря на ассоциацию МПГ с сульфидами, наибольшая их концентрация проявлена не в самой глобуле, а в небольшом домене тонких рассеянных сульфидов, который находится в нескольких мм от нее. При оценке среднего сульфида было обнаружено систематическое различие между глобулой и обогащенным МПГ доменом: последний богаче медью и немного обеднен никелем (10 и 14 % Cu, и 7 и 5 % Ni в глобуле и домене, соответственно). При этом редкие, относительно небольшие МПГ в глобуле — это, преимущественно, мончеит, в то время как крайне богатая ассоциация МПГ в 4-мм домене рассеянных сульфидов, состоит, главным образом, из тетраферроплатины (PtFe), с подчиненным потаритом (PdHg), изоферроплатиной (Pt₃Fe), и звягинцевитом (Pd₃Pb), а пентландит содержит до 1.6 мас.% Pd. Нахождение поблизости двух комплементарных минералогических «аномалий» может свидетельствовать об их первичной генетической связи, и перераспределении в пространстве ЭПГ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
МЕЖДУ ФАЗАМИ В СИСТЕМЕ $P_2O_5 - CaO - Na_2O - SiO_2$ С ФТОРОМ ПРИ 500 МПа

Расс И.Т., Полозов А.Г. (ИГЕМ РАН)

rass@igem.ru; тел.: 8 (965) 363 51 39

Экспериментально изучено распределение Ti, Zr, Nb, La, Sm, Yb и Y между фосфатно-карбонатными расплавами с различными содержаниями Ca и Na, и силикат-содержащими расплавами (при добавлении силиката в исходные смеси) в двух опытах и сосуществующими фазами – апатитом в четырех опытах, и в двух опытах апатитом и накафитом – $Na_2Ca(PO_4)F$. Проведены 7 опытов в фосфатно-карбонатно-силикатно-щелочной системе с разными пропорциями составляющих в исходных смесях. Эксперименты проводились на установках высокого давления с внутренним нагревом (газостатах) при строго одинаковых P (500 МПа), T и продолжительности. РЗЭ распределяются в апатит и в меньшей степени в накафит в зависимости от доли P_2O_5 в сумме P_2O_5 и CaO (CO_2) в исходных смесях, тогда как TiO_2 , ZrO_2 , и Nb_2O_5 распределены в расплавах. В бессиликатных опытах, в зависимости от молекулярного количества P_2O_5 в исходной смеси ($P_2O_5 + CaO(CO_2)$) получили натриевокарбонатный фосфатный расплав с апатитом в двух опытах, и с апатитом и накафитом тоже в двух опытах. При добавлении силиката в исходные смеси получили несмешиваемые натриево-алюминиевый фосфатный расплав без SiO_2 и алюмосиликатный с некоторым количеством P_2O_5 , с резко различными концентрациями TiO_2 , ZrO_2 и Nb_2O_5 . Коэффициенты распределения этих элементов между этими расплавами вдвое (или более) выше в фосфатном расплаве, чем в алюмосиликатном.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ NaF С ОКСИДНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ
НИОБИЯ В
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

Редькин А.Ф., Котова Н.П., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)

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

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерацией в лице
Минобрнауки России № проекта 13.1902.24.44*

Исследования, проведенные в NaF-содержащих гидротермальных флюидах, показали, что оксидные соединения Nb^{5+} не устойчивы при 300 – 900°C, $P_{\text{общ}} = 100 – 200$ МПа, активно взаимодействуют с NaF, образуя соединения $Na_xNb_2O_{2.5}F_y$, где $x=1.5\pm 0.2$, $y=1.1\pm 0.2$ при 300 – 550°C и $x=0.25 – 0.5$, $y=0.2\pm 0.1$ при 800 – 900°C. Установлено, что при 300 – 550°C образуются пирохлороподобные фтор-ниобаты натрия со структурой $Fd\bar{3}m$, тогда как при 800 – 900°C растут игольчатые кристаллы низшей сингонии.

СИСТЕМАТИКА ХАРАКТЕРА СВЯЗИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
УГЛЕВОДОРОДНЫХ, УГЛЕКИСЛЫХ И ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКИХ ФЛЮИДОВ С
СОСТАВОМ БИОТЫ И РАЗНЫХ ГОРИЗОНТОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

**Родкин М.В. (ИТПЗ РАН, ИПНГ РАН), Пунанова С.А. (ИПНГ РАН),
Прохорова, А.В. Рукавишникова Т.А. (ИТПЗ РАН)**

rodkin@mitp.ru; тел.: 8 (926) 324 95 75

*Работа выполнена в рамках планов ИТПЗ РАН тема 125021302095-2 и НИР ИПНГ РАН
ФММЕ-2025-0012 125021-2. Фундаментальный базис инновационных, цифровых технологий
прогноза, поиска, разведки и освоения нефтегазовых ресурсов (фундаментальные,
поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 года)*

Составлена база данных из более 400 анализов микроэлементного (МЭ) состава углеводородных (УВ), углекислых и грязевулканических флюидов с определением большого числа элементов. Ранее не предпринималось систематического сравнения МЭ состава разных типов флюидов между собой и с химическим составом основных георезервуаров: верхней, средней и нижней коры и разных типов биоты (растения и животные, водные и наземные). Рассчитаны коэффициенты корреляции логарифмов концентрации МЭ состава проб флюидов с химическим составом этих георезервуаров. Результаты расчётов анализируются в координатах – разницы связи с разными горизонтами земной коры – связь с биотой. Получено, что характер корреляционных связей МЭ состава типов флюидов с составом биоты и составом разных горизонтов земной коры качественно различен. В частности, хорошо различаются области УВ и углекислой дегазации. Область, характерная для грязевулканических флюидов, располагается на границе областей, характерных для УВ и углекислых флюидов. При этом область параметров для нефтей гидротермального происхождения отвечает части области УВ флюидов, примыкающей к области значений, характерных для грязевулканических флюидов.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЭНДОГЕННЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ НА ПРОЦЕССЫ НЕФТЕГЕНЕРАЦИИ

Родкин М.В. (ИПНГ РАН, ИМГиГ ДВО РАН), Пунанова С.А. (ИПНГ РАН)

rodkin@mitp.ru

Работа выполнена в рамках плана ИПНГ РАН 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)».

Целью исследования является применение новых практических методов комплексного использования информации по составу микроэлементов (МЭ) нефтидов при прогнозе выявления залежей углеводородов в глубоких горизонтах осадочного разреза нефтегазоносных бассейнов. Изучены коэффициенты корреляции между составами нефтей и составом земной коры разного уровня на примере нефтей Волго-Уральского и Западно-Сибирского регионов. Для нефтей Ромашкинской группы месторождений и нефтей месторождений Шаимского нефтегазоносного района и Среднеобской нефтегазоносной области зафиксирована более высокая связь МЭ состава нефтей с составом нижней коры, а не верхней, причем коэффициенты корреляции имеют тенденцию возрастать в нефтях более древних отложений, более глубокозалегающих, а также в нефтях регионов более тектонически активных. Таким образом, показано, что в ряде нефтегазоносных бассейнов более высокая связь МЭ состава нефтей с составами нижней, либо средней коры, а не с верхней, может свидетельствовать о вовлеченности в процессы нефтегенерации глубокопогруженных отложений, что повышает прогнозные оценки возможности выявления мегарезервуаров нефти и газа на больших глубинах.

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В КИСЛОМ СУЛЬФИДНОМ
ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ФЛЮИДЕ

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

Тарнопольская М.Е., Тагиров Б.Р. (ИГЕМ РАН)

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

Исследования выполнены за счет средств РНФ, проект № 23-17-00090

Задача работы – охарактеризовать формы переноса Au в кислых флюидах, богатых сероводородом, в кислой области pH при докритических температурах. Экспериментально изучена растворимость смешанных сульфидов $AgAuS + Ag_3AuS_2 (+Ag_2S)$ при 110, 175 и 220 °C и давлении насыщенного пара растворов в кислой области pH в зависимости от концентрации H_2S ($0.05 - 3.2m$, моль·(кг H_2O)⁻¹). Установлено, что основными формами Au являются комплексы $AuHS_{(p-p)}$ и $AuHS(H_2S)_{(p-p)}$. Определена константа реакции $AuHS_{(p-p)} + 3H_2S_{(p-p)} = AuHS(H_2S)_{3(p-p)}$, $\lg K^\circ = -1.03 \pm 0.36$ при 110 °C, 1.26 ± 0.33 при 175 °C и 1.02 ± 0.59 при 220 °C. Рассчитаны значения стандартных термодинамических свойств и параметры уравнения модели НКФ (Хелгесон-Киукхэм-Флауэрс) комплекса $AuHS(H_2S)_{3(p-p)}$. Устойчивость комплекса $AgHS(H_2S)_{3(p-p)}$ существенно ниже его Au аналога. Комплекс $AuHS(H_2S)_{3(p-p)}$ способен влиять на перенос Au в диапазоне температур 150 – 300 °C при высокой концентрации сульфидной серы $> 0.3m$ (1 мас.%) в кислой области pH (например, на эпитеермальных месторождениях кислотно-сульфатного типа).

ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ВОДЫ В КИСЛЫХ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛАХ
МЕТОДАМИ ИК И КР-СПЕКТРОСКОПИИ

Русак А.А. (ГЕОХИ РАН), Алферьева Я.О. (геол. ф-т МГУ),
Душенко Н.В., Федулов В. С. (ГЕОХИ РАН), Щекина Т.И. (геол. ф-т МГУ)
rusak@geokhi.ru; тел.: 8 (495) 939-70-75

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

Работа направлена на определение растворимости воды во фторсодержащих кварцнормативных алюмосиликатных расплавах. Проведены эксперименты при 800°C и 1 кбар с различным исходным содержанием в системе воды (3, 5, 7 мас. %) и фтора (0, 4, 8 мас. %) и постоянным соотношением Si/Al/Na/Li, близким к составу глубокодифференцированных топазсодержащих гранитов. Продукты экспериментов представлены прозрачным пористым алюмосиликатным стеклом. Для оценки содержания воды в алюмосиликатном стекле использовались методы ИК- и КР- спектроскопии. По данным ИК-спектроскопии выделяются три основные области: область 1400-1800 см⁻¹, которая отвечает колебаниям связей поверхностно-адсорбированной молекулярной H₂O на поверхности алюмосиликатного стекла; область 3450-3800 см⁻¹, отвечающая за поверхностно-абсорбированную воду, с добавлением ассиметричных колебаний ОН-групп и область 3200-3450 см⁻¹, в которой обнаружены 3 характеристических диапазона поглощения (3212-3275 см⁻¹, 3338-3383 см⁻¹, 3411-3438 см⁻¹), которые подразумевают, что гидроксильная группа была либо хемосорбирована в структуру алюмосиликатного стекла, либо смогла занять существующую вакансию в кристаллической структуре стекла. По данным КР-спектроскопии практически все спектры полученных нами образцов, находятся в диапазоне значений рамановского сдвига от 600 до 4000 см⁻¹. Колебания связи кремния (или алюминия) с кислородом отражаются в спектре в диапазоне 700-1280 см⁻¹. Колебания связи О-Н и H₂O отражаются в диапазоне 2800-3720 см⁻¹. При отсутствии фтора в системе количество растворенной в расплаве воды не превышает 2,4 мас. %. При исходном содержании фтора 7-8 мас. % количество растворенной воды увеличивается до 6-7 мас. %. Так как в проведенной серии экспериментов не фиксировалось появление флюидной фазы, дальнейшее увеличение исходного содержания воды в системе может привести к росту концентрации воды в расплаве.

КОРУНД, ГИБОНИТ, Mg-ДЕЛЬТАЛУМИТ СОДЕРЖАЩИЕ ОБЪЕКТЫ В СН 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; тел.: 8 (916) 350 69 50

В работе приводится описание ультратугоплавких объектов - отдельных зерен корунда и агрегатов корунд±гибонит±Mg-дельталумит, впервые обнаруженных в редком типе углистых хондритов СН3.0 в метеорите Sayh al Uhaumir 290 (SaU290). В литературе имеются описания ультратугоплавких включений в СН хондритах, содержащие оксиды и силикаты Zr и Sc, гибонит, гроссит и перовскит, однако корунд ранее не встречался, а Mg-дельталумит впервые обнаружен в природе (имеет структуру шпинели $Fd3m$). В четырех объектах с корундом и двух с Mg-дельталумитом измерен изотопный состав кислорода, который показал обогащение ^{16}O (среднее $\Delta^{17}\text{O} = -22\pm 3\text{‰}$). Два зерна корунда демонстрируют свидетельство значительного масс-зависимого фракционирования $\Delta^{18}\text{O} \sim +34\text{‰}$ и $\Delta^{18}\text{O} \sim +19\text{‰}$. Мы предполагаем, что богатые корундом объекты SaU290 были образованы путем испарения и/или конденсации в горячей небулярной области вблизи протосолнца.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОРТОКАРБОНАТА МАГНИЯ Mg_2CO_4 - $P2_1/c$ ОТНОСИТЕЛЬНО МАНТИЙНЫХ ФАЗ

Сагатов Н.Е. (ИГМ СО РАН, НГУ), Сагатова Д.Н. (ИГМ СО РАН),
Гаврюшкин П.Н. (ИГМ СО РАН, НГУ), Донских К.Г. (ИГМ СО РАН),
Литасов К.Д. (ИФВД РАН)

sagatovnye@igm.nsc.ru; тел.: 8 (952) 940 32 47

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект №23-73-10114)

Недавно с помощью *ab initio* расчетов и последующих экспериментов было показано, что при 75 ГПа и 2500 К магнезит реагирует с периклазом, образуя ортокарбонат магния Mg_2CO_4 - $P2_1/c$. Открытие новой углеродсодержащей фазы представляет интерес с точки зрения рассмотрения ее в качестве потенциальной фазы-концентратора углерода в мантии Земли.

В данной работе мы исследуем термодинамическую устойчивость Mg_2CO_4 - $P2_1/c$ относительно мантийных фаз в диапазоне давлений 75-140 ГПа при температурах до 2500 К в рамках теории функционала плотности с использованием метода решеточной динамики в квазигармоническом приближении. Согласно полученным результатам, ассоциация $Mg_2CO_4 + 2CaSiO_3$ термодинамически выгодна относительно $2MgSiO_3 + CaCO_3 + CaO$ в рассмотренном интервале давлений и температур. Учитывая, что при данных P - T параметрах $CaCO_3$ реагирует с CaO , образуя ортокарбонат кальция Ca_2CO_4 - $Pnma$, рассматриваемая реакция преобразуется в так называемую реакцию обмена катионов ортокарбонатов и силикатов $Mg_2CO_4 + 2CaSiO_3 = 2MgSiO_3 + Ca_2CO_4$. Наши расчеты показали, что данная реакция возможна при 132 ГПа и 1500 К. С ростом температуры до 2000 К давление устойчивости ассоциации $Mg_2CO_4 + 2CaSiO_3$ относительно $2MgSiO_3 + Ca_2CO_4$ возрастает до 147 ГПа. Также было показано, что Mg_2CO_4 может сосуществовать с SiO_2 до 93 и 101 ГПа при 1800 и 2500 К, где они реагируют между собой с образованием $MgSiO_3$ и CO_2 .

ФАЗОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В СИЛИКАТАХ КАЛЬЦИЯ Ca_2SiO_4 И CaSi_2O_5 ДО 100 ГПа И 2000 К НА ОСНОВЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Сагатова Д.Н. (ИГМ СО РАН), Сагатов Н.Е. (ИГМ СО РАН, НГУ),
Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН), Гаврюшкин П.Н. (ИГМ СО РАН, НГУ),
Литасов К.Д. (ИФВД РАН)

sagatovadn@igm.nsc.ru; тел.: 8 (961) 871 17 84

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект №23-73-10114)

В данной работе нами детально изучены фазовые соотношения в соединениях Ca_2SiO_4 и CaSi_2O_5 в рамках теории функционала плотности с использованием методов решеточной динамики, основанных на квазигармоническом приближении. При нормальных условиях Ca_2SiO_4 представлен в структуре кальциооливина (γ). С ростом давления для Ca_2SiO_4 наблюдаются два полиморфных перехода: $\gamma \rightarrow \beta$ при 4 ГПа и $\beta \rightarrow I4/mmm$ при 17 ГПа. Впервые рассчитаны пределы устойчивости высокобарической модификации Ca_2SiO_4 - $I4/mmm$. Полученные нами результаты свидетельствуют, что Ca_2SiO_4 - $I4/mmm$ сохраняет устойчивость вплоть до давления 65 ГПа, где наблюдается его распад на ассоциацию CaSiO_3 +CaO. Расчеты фазовых соотношений в CaSi_2O_5 показали, что это соединение образуется в результате реакции CaSiO_3 + SiO_2 в диапазоне 5–16 ГПа и 300 К и стабильно в структуре $C2/c$. Расчеты релаксации ранее известной низкотемпературной модификации CaSi_2O_5 - P -1 свидетельствуют о структурной перестройке в новую модификацию CaSi_2O_5 - P -1-II при сжатии в диапазоне 3–5 ГПа. CaSi_2O_5 - P -1-II является низкотемпературной фазой, которая устойчива ниже 300 К в узком диапазоне давлений 12.5–15.2 ГПа.

РТУТЬ В МАЛЫХ ВОДОТОКАХ Г. МОСКВЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕТУНЬ И РАМЕНКА)

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

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

Работа выполнена в рамках госбюджетного задания МГУ №121071200143-2

В условиях крупного мегаполиса ртуть является универсальным индикатором техногенного воздействия. Малые реки, являясь важным элементом природных водных систем, определяют общую экологическую ситуацию в верхних частях крупных речных бассейнов. Исторически сложилось так, что оценка содержания поллютантов в поверхностных водах производилась лишь на основании анализа проб воды. Однако часто содержание приоритетных загрязнителей в верхних слоях донных осадков и во взвеси превышают их концентрации в воде. Поэтому изучались различные компоненты природной среды малых рек Сетунь и Раменка: вода, взвесь, донные отложения, прилегающие почвы, снеговой покров, воздух и растительность. Ионные формы ртути при попадании в природные воды могут трансформироваться в термодинамически более устойчивые и миграционно подвижные. В связи с этим отделялись сосуществующие формы ртути в водах рек: растворенная нуль-валентная, растворенная ионная, связанная с органическими лигандами, адсорбированная на взвеси и валовая. Показано, что ртуть в малых реках Сетунь и Раменка переносится во взвешенном состоянии.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НОВОГО Ga,Ge-БОРОСИЛИКАТА АЛЮМИНИЯ СО СТРУКТУРОЙ ДЬЮМОРТЬЕРИТА

Сеткова Т.В., (ИЭМ РАН), Вайтиева Ю.А., (ФИЦ КНЦ РАН),

Аксенов С.М. (ИГ ФИЦ КНЦ РАН), Спивак А.В. (ИЭМ РАН)

ssetkova@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 76

Источники финансирования: тема НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0002 и грант РФФ № 20-77-10065-П

Надгруппа дьюмортьерита объединяет боросиликаты алюминия и содержит три основные группы минералов: дьюмортьерита, холгита и шкларьита. В представленной работе приводятся результаты первого успешного синтеза Ga-,Ge-представителя семейства дьюмортьерита и изучения его кристаллической структуры.

Синтез проводили в гидротермальных условиях при температуре 600/650 °С и давлении 100 МПа в растворе борной кислоты 30 масс % H_3BO_3 . Шихтовая смесь состояла из кристаллических кварца и корунда, и порошкообразных оксидов галлия и германия (99,9%) в соотношении 3:3:1:1 соответственно. Продолжительность опытов 14 дней. В результате получены игольчатые кристаллы до 350 мкм в длину. Параметры гексагональной элементарной ячейки: $a = 23.9427(1) \text{ \AA}$, $c = 4.7923(1) \text{ \AA}$, $V = 2379.1(1) \text{ \AA}^3$; пр. гр. $R\bar{6}_3mc$. Структурная модель получена и уточнена до итогового $R = 5.79$ для 2053 $I > 2\sigma(I)$. По аналогии с другими представителями структурного семейства дьюмортьерита кристаллохимическая формула нового Ga-,Ge-представителя может быть записана в виде ($Z = 8$): $\text{Al}[(\text{Al,Ga})_2\text{O}]_3[(\text{Si,Ge})\text{O}_4]_3(\text{BO}_3)$.

Т-Х ДИАГРАММЫ Fe-S и Ni-S ПРИ 6 ГПа

Сидько Д.Е., Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН)

shatskiy@geokhi.ru

Исследования выполнены в рамках проекта РФФ № 24-17-00253

Эвтектика Fe-FeS установлена при 1000 °С и 33 мол% S. Fe_{1-x}S не испытывает плавления по меньшей мере до 1500 °С. Эвтектика Fe_{1-x}S-FeS₂ расположена при 1350 °С и 63 мол% S. FeS₂ плавится конгруэнтно при 1375 °С. В интервале 450-1100 °С растворимость Fe в S не превышает 0.5 мол % и возрастает до 10 мол % при 1300 °С. При 1400 °С фиксируется непрерывный переход от расплава серы к сульфидному расплаву.

Система Ni-S при 6 ГПа и 450 °С имеет пять промежуточных соединений: Ni₃S, Ni₃S₂, Ni₄S₂, NiS и NiS₂. Фаза Ni₃S разлагается при 450 °С, с образованием Ni и Ni₃S₂. Эвтектика Ni-Ni₃S₂ установлена при 525 °С и 31 мол% S. Ni₄S₃ плавится инконгруэнтно при температуре 700 °С с образованием NiS и расплава с 39 мол% S. NiS плавится конгруэнтно при 1375 °С. Эвтектика NiS-NiS₂ расположена при 1300 °С и 54 мол% S. NiS₂ плавится конгруэнтно при 1425 °С.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ
О-ВА ЖОХОВА, АРХИПЕЛАГ ДЕ ЛОНГА, ВОСТОЧНАЯ АРКТИКА

Силантьев С.А., Бадюков Д.Д., Ахметшин А.Г. (ГЕОХИ РАН),

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

silantyevev@geokhi.ru

Проведенное исследование осуществлялось за счет средств, выделяемых из бюджета на исследования в рамках госзадания ГЕОХИ РАН, ведущиеся по теме «Процессы, контролируемые образованием и эволюцию литосферы Земли».

Остров Жохова, входящий в состав архипелага Де Лонга (Восточная Арктика), представляет собой молодой вулканический центр и сложен лавовыми покровами щелочных оливин-порфировых базальтов и подчиненных лимбургитов. Эти вулканы выносят к поверхности мантийные ксенолиты шпинелевых лерцолитов. Пять ксенолитов, отобранных из образцов щелочных базальтов о-ва Жохова, были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа. Во всех изученных ксенолитах было установлено присутствие расплавных включений, представленных закалочными стеклами и обнаруживающих значительные вариации состава. Изученные закалочные стекла по составу относятся к двум группам: натровой ($\text{Na}_2\text{O} \geq 4$ мас. %) и калиевой, в которой при низком содержании натрия ($\text{Na}_2\text{O} \leq 0.3$ мас. %) содержание K_2O варьирует от 10 до 16 мас. %. Образование высоконатровых стекол связано с реакционным взаимодействием шпинелевых лерцолитов с магматическим расплавом, родительским для вмещающих оливинных базальтов. Высококалиевые стекла, присутствующие внутри мантийных ксенолитов, были образованы *in situ* при плавлении первичной калийсодержащей фазы.

НАНО-РАЗМЕРНЫЙ УГЛЕРОД В НЕФЕЛИНАХ ХИБИНСКОГО МАССИВА ПО
ДАНЫМ КР СПЕКТРОСКОПИИ

Симакин А.Г., Девятова В.Н. (ИЭМ РАН), Гойчук О.Ф. (ЦНМ КНЦ РАН),
Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН), Коноплёва Н.Г. (ЦНМ КНЦ РАН, ГИ КНЦ РАН)
simakin@iem.ac.ru; тел.: 8 (910) 492 63 62

Гос. темы: FMUF-2022-0004, FMEZ-2025-0051 и FMEZ-2024-0008

Методом Рамановской микро-спектроскопии в нефелинах Хибинского массива в спектре фотолюминесценции установлена необычная полоса с максимумом при длине волны $\lambda = 595\text{-}600$ nm. Этот пик интерпретирован нами как пик структурного нано-углерода. На это указывают наши экспериментальные данные по альбитовым стеклам, восстановленным водородом при высоких РТ условиях. На начальной стадии восстановления при летучести кислорода менее буфера ССО стекла сереют и появляется пик фотолюминесценции при $\lambda = 595\text{-}600$ nm, которой при длительной выдержке дополняется Рамановскими линиями аморфного углерода, а стекло приобретает черный цвет. Предполагается, что в нефелинах Хибинского массива происходит восстановление магматического CO_2 водородом с образованием нано-фазы углерода, а при понижении температуры происходит синтез метана во флюидных включениях, структурного этана и высокомолекулярных органических веществ (битумов) в дефектах структуры. Минимальный вклад битумов и максимальный вклад нано-углерода отмечен в нефелине из ийолита Главной кольцевой структуры. При нагреве до 500°C нефелина из нефелиновых сиенитов, содержащего только битумы, появляется нано-углерод, а до 800°C – аморфный макро-углерод.

Pt И Pd ВМЕСТЕ И РАЗДЕЛЬНО: ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА

Симакин А.Г., Шапошникова О.Ю., Девятова В.Н. (ИЭМ РАН),

Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН)

simakin@iem.ac.ru; тел.: 8 (910) 492 63 62

РНФ 23-27-00252

Палладий легче окисляется, чем платина, в связи с чем, его растворимость в катионной форме во флюидах при высокой летучести кислорода больше, чем платины на 2-4.5 порядка. Согласно нашим экспериментальным данным, полученным при $T=950^{\circ}\text{C}$ и $P=200$ МПа и максимальной летучести хлора на уровне буфера Ag-AgCl , $f\text{O}_2=\text{CCO}$, растворимость палладия в маловодном расплаве NaCl в атмосфере CO-CO_2 (4 мол% H_2O) больше, чем платины всего в 3 раза: 78.7 ± 23.5 ppm и 23 ± 1 ppm, соответственно. При этом растворимость Pt при летучести хлора, отвечающей окислению HCl концентрированного рассола, составляет лишь 0.8-2 ppm. Растворимость платины в форме карбонильных и хлоридно-карбонильных комплексов при низкой летучести кислорода немного больше, чем палладия и составляет 316 ± 62 ppm. Высокая растворимость самородной платины в виде органо-металлических комплексов обеспечивает высокие коэффициенты распределения флюид-силикатный расплав $K_{d_{f/m}}=150-6500$ в зависимости от содержания CO , флюид-сульфидный расплав 0.13-260. Палладий лучше растворяется в расплавах для него максимальный $K_{d_{f/m}}=90$, $K_{d_{f/slf}}= 0.004-0.07$. В восстановительных условиях отношение Pt/Pd во флюиде растёт.

ПРОДУКТЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ УЛЬТРАОБОГАЩЕННОГО ПЛАТИНОИДАМИ
СУЛЬФИДНОГО РАСПЛАВА В АНОРТОЗИТАХ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА –
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ

Соболев С.Н., Пшеницын И.В. (ГЕОХИ РАН),
Арискин А.А. (геол.ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН),
Николаев Г.С., Кубракова И.В., Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН),
Япаскурт В.О. (геол.ф-т МГУ), Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН)
ssn_collection@bk.ru; тел.: 8 (910) 469 33 47

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 23-77-01036

В такситовых анортозитах Йоко-Довыренского интрузива геохимическими методами выявлен особый тип сульфидно-платинометалльной ассоциации, встречающийся в пойкилитовых доменах ортопироксена. Его характеризует высокое содержание легких платиноидов (Pd-Pt-Rh, в сумме до 10,5 г/т) на фоне крайне низких содержаний сульфидов (<0.06 мас. % S). Это резко контрастирует с составом «обычных» рифовых сульфидоносных анортозитов, содержащих до 4.3 г/т Pt и 2.8 г/т Pd при вариациях серы 0.3-1.5 мас. %. Образование такого пироксенового интеркумулуса, содержащего вещество богатое ЭПГ по отношению к сере, находит объяснение как результат локального скопления поздних продуктов фракционирования сульфидов, образованных при кристаллизации несмесимой жидкости в условиях флюидонасыщенности остаточной силикатной системы.

СВИДЕТЕЛЬСТВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАМАФИТОВ И ФЛЮИДА НА ПОЗДНЕМАГМАТИЧЕСКОМ ЭТАПЕ ФОРМИРОВАНИЯ РАССЛОЕННЫХ МАСИВОВ БУШВЕЛЬДА

Соловова И.П., Юдовская М.А. (ИГЕМ РАН), Аверин (ИФХЭ РАН)

solovova@igem.ru; тел.: 8 (499) 230 84 15

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 21-17-00119

Методом экспериментальной термобарогеохимии в оливине ультрамафитов массива Уиткомст Бушвельдского комплекса изучены два типа первичных расплавных включений контрастного состава. В закристаллизованных включениях М1-1 доминируют оливин и ортопироксен. Установлено, что обедненный летучими компонентами первичный расплав М1-1 генерировался при 1590°C и 2.5 ГПа и отвечает высококремнистому коматииту. Среди дочерних фаз другого типа включений, М1-2, определены стекло, альбит, кварц, диопсид, амфибол и Si-содержащие фазы. Расплав имеет высокощелочной фельзитовый состав. Накопление легких REE в М1-2 сочетается с положительной аномалией Eu, что отличает их от расплавов включений М1-1. Появление расплавных включений фельзитового состава (М1-2) в мантийном оливине Fo92 ультрамафитов носит аномальный характер. Предполагается, что генерация расплава М1-2 связана с анатектическим плавлением корового вещества под влиянием флюидов. Метасоматизирующее воздействие флюидов на уже сформированное магматическое тело является важным процессом, который значительно меняет геохимические свойства пород. Перекристаллизация оливина при температуре формирования пойкилитовой структуры при 1090-1100°C является основным механизмом появления в оливине фельзитовых расплавных включений псевдопервичного характера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА СФЕРУЛ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА В ЧАСТИЦАХ ЛУННОГО ГРУНТА МИССИИ ЧАНЬЕ-5 И СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

**Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН), Герасимов М.В., Зайцев М.А. (ИКИ РАН),
Рязанцев К.М., Яковлев О.И., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)**
egorgeohim@ya.ru; тел.: 8 (903) 963 28 26

В работе описываются результаты исследования частиц реголита Луны доставленных в рамках миссии Чанье-5. В частности, приводятся результаты исследования наносферул (от 8 нм диаметром) методом STEM (сканирующая просвечивающая электронная микроскопия) EDX. Результаты анализа показывают накопление таких сидерофильных элементов как Ni (до 4,5 вес %), P (до 6 вес %) и S (до 8 вес %) в этих наносферуах по сравнению с окружающей их стеклянной матрицы. Также приводится сравнение полученных результатов по частицам лунного грунта с экспериментальными данными. В мишенях из базальтового стекла после лазерного удара возникали россыпи нано- и субмикроскопические сферулы металлического железа. Анализ кратеров мишеней осуществлялся сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) TESCAN MIRA (ГЕОХИ РАН). Наиболее крупные сферулы металлического железа были проанализированы методом ЭДС. Такие сферулы содержали около одного весового процента никеля, до 5 вес % кремния, фосфора до 14 вес%, серы до 0,2 вес %.

СИНТЕЗ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВОГО СОЕДИНЕНИЯ
GaGeO₃OH - АНАЛОГА ФАЗЫ ЭГГ

**Спивак А.В., Искрина А.В., Сеткова Т.В., Захарченко Е.С., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН),
Хасанов С.С., Кузьмин А.В. (ИФТТ РАН)**

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

Источники финансирования: Грант РНФ № 24-27-00078

Геохимическое сходство алюминия с галлием и кремния с германием позволяет использовать Ga,Ge–содержащие структурные аналоги минералов в качестве высокобарных моделей для изучения фазовых соотношений в соответствующих силикатных и алюмосиликатных системах. Впервые кристаллы GaGeO₃OH синтезированы при 7 ГПа и 1000 °С на аппарате высокого давления типа «наковальня с лункой» в ИЭМ РАН. В результате эксперимента образовалась мелкокристаллическая фаза в виде белых кристаллов изометричной формы псевдокубического габитуса. Размер отдельных кристаллов достигает 5-8 мкм. Химический состав определен как Ga₂O₃ 40,9 ± 0,8, GeO₂ 43,8 ± 0,8 мас.%. Полученное соединение GaGeO₃OH кристаллизуется в той же моноклинной структуре с пространственной группой $P2_1/n$, что и фаза Эгг AlSiO₃OH. Параметры элементарной ячейки ($a = 7,5785(1)$, $b = 4,4605(3)$, $c = 7,2469(4)$ Å, $\beta = 97,519(2)$ °, $V = 242,87(02)$ Å³) характеризуются большими значениями по сравнению с природной и синтетической фазой Эгг. Экспериментально полученный КР-спектр GaGeO₃OH имеет топологию, схожую с КР-спектрами фазы Эгг AlSiO₃OH. В высокочастотной области спектров зарегистрирована группа широких полос OH колебаний, что указывает на наличие нескольких позиций водорода в кристаллической структуре GaGeO₃OH. Таким образом, по своим структурным и спектроскопическим характеристикам синтетическое соединение GaGeO₃OH можно рассматривать как аналог фазы Эгг AlSiO₃OH.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ GaGeO₃OH и AlSiO₃OH ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ (до 30 ГПа)

Спивак А.В., Сеткова Т.В., Захарченко Е.С., Искрина А.В. (ИЭМ РАН)

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

Источники финансирования: Грант РФФ № 24-27-00078

Выполнено изучение барической стабильности синтетического соединения GaGeO₃OH методом *in situ* спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) при давлении до ~30 ГПа. В результате прослежена эволюция 15 КР-полос в процессе сжатия в диапазоне 150-1000 см⁻¹. В целом все полосы КР смещаются в область более высоких волновых чисел и становятся менее интенсивными с ростом давления. В результате обработки полученных спектроскопических данных выявлены изменения коэффициентов зависимости сдвигов частот мод КР с ростом давления. На основании этого выделены три диапазона давлений в зависимости от величины $\partial\nu/\partial P$ (см⁻¹/ГПа) с границами при ~4 и ~14 ГПа. Предыдущие работы по изучению стабильности структурных характеристик фазы AlSiO₃OH при высоком давлении показали, что ось *b* является наиболее сжимаемым направлением при давлениях до 16 ГПа, при этом значение угла β уменьшается. Это связано с тем, что расстояние связи Si-O4 быстро уменьшается вплоть до давления 16 ГПа, усиливая указанную связь и ослабляя связь O4-H. Подобный эффект также наблюдается и для полосы валентного колебания Ge-O4 соединения GaGeO₃OH; во всех трех областях давления эта полоса имеет наибольшее значение $\partial\nu/\partial P$, что свидетельствует о более сильном сжатии связи Ge-O4.

СИНТЕЗ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ГЕРМАНАТОВ: α - Mg_2GeO_4 ОЛИВИН И γ - Mg_2GeO_4 ШПИНЕЛЬ

Спивак А.В., Сеткова Т.В., Кузюра А.В., Искрина А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)

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

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

Геохимическое сходство кремния с германием позволяет использовать германаты в качестве аналогов планетарных силикатов. Кроме того, как правило, германаты претерпевают аналогичные фазовые переходы, но при значительно более низких давлениях, чем подобные им силикатные минералы. В связи с этим, был проведен тестовый высокобарный синтез магнезиальных германатов. Кристаллы α - Mg_2GeO_4 оливина размером до 100 мкм были получены в системе $Mg(OH)_2$ - $MgCO_3$ - GeO_2 при 5 ГПа и 900°C. Кристаллы γ - Mg_2GeO_4 шпинели размером до 50 мкм были синтезированы в системе MgO - GeO_2 - H_2O при 7 ГПа и 900°C. Идентификация фаз осуществлена методами электронно-зондового анализа и КР-спектроскопии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ДОЛОМИТА С
КЛИНОПИРОКСЕНОМ В СИСТЕМАХ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2\pm\text{NaAlSi}_2\text{O}_6\pm\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ПРИ 3-6 ГПа

Степанов К.М. (ГЕОХИ РАН), Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН)

fakekostya@mail.ru тел.: 8 (913)730 47 04

Работа выполнена по государственному заданию ГЕОХИ РАН FMMZ-2024-0056

Транспорт углерода в мантию Земли осуществляется посредством субдукции карбонатов в составе гидротермально измененных океанических плит. Частичное плавление этих плит определяет количество и глубину погружения углерода и сопровождается образованием карбонатных расплавов. Предполагается, что эти расплавы играли важную роль в мантийном метасоматозе и генерации кимберлитовых магм, а также обеспечивали образование природных алмазов. Вместе с тем, существующие экспериментальные данные имеют значительные расхождения по температурам солидуса системы эклогит- CO_2 (Hammouda 2003, Yaxley and Brey 2004, Dasgupta et al. 2004), достигающие нескольких сотен градусов при 3-7 ГПа. Возможно, что эти расхождения связаны с различием в концентрациях натрия в исследованных системах. Чтобы это выяснить в данной работе были изучены системы $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2\pm\text{NaAlSi}_2\text{O}_6\pm\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ при 3-6 ГПа, в диапазоне температур от 850 до 1700 °С. В результате были определены реакции плавления, составы карбонатных расплавов и температуры их образования. На основании этих данных сделаны выводы о реакциях плавления в сложных эклогитовых системах и о влиянии натрия на эти реакции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ СФАЛЕРИТА В АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ ПРИ $T=900^{\circ}\text{C}$ И $P=2$ КБАР

Сук Н.И., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

Экспериментально изучалась растворимость сфалерита (ZnS) в алюмосиликатных расплавах различной щелочности при $T=900^{\circ}\text{C}$ и $P=2$ кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас. % H_2O . Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпаитности (1–2.5), а также природный сфалерит. Было обнаружено, что растворимость сфалерита зависит от состава алюмосиликатного расплава, увеличиваясь с увеличением его агпаитности ($(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$). При исходной агпаитности стекла ~ 1.5 в сухих системах образуется сульфидный расплав, при этом в стекле повышается щелочность и содержание Zn. При исходной агпаитности стекла ~ 2 наблюдается образование кристаллов сульфида цинка, отличающихся по составу от исходного сфалерита.

В водосодержащих системах происходит частичное окисление сульфидной серы до сульфатной с образованием каплевидных выделений щелочного сульфатного расплава. В стекле также наблюдается образование крупных кристаллов щелочных силикатов цинка.

ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ СУБЩЕЛОЧНЫХ БАЗАЛЬТОВ О. ПОССЕСЬОН
(ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН)

Суцевская Н.М., Шишкина Т.А. (ГЕОХИ РАН), Щербаков В.Д. (геол. ф-т МГУ),
Лоренц К.А., Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН)

nadyas@geokhi.ru

Работа выполнена в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН

По данным петролого-геохимического изучения вулканических пород о. Поссесьон, расположенного в восточной части поднятия Крозе (юго-западная часть Индийского океана), установлено, что они имеют субщелочную специфику и могут быть отнесены к базанитам. Установленная последовательность кристаллизации расплавов: оливин–оливин+клинопироксен+плагиоклаз+магнетит (основная масса), что типично для многих островных магм. Проведенное моделирование показало, что ассоциация оливина (Fo_{84}) и клинопироксена ($Mg\#85$), соответствующая составу вкрапленников базанитов, может кристаллизоваться при давлениях около 8-9 кбар и температуре $1300^{\circ}C$, что отражает более глубокие условия по сравнению с типичными океаническими магмами. Отмеченная во вкрапленниках клинопироксена обратная зональность может свидетельствовать о том, что более железистые разности ($Mg\#68-72$) могли кристаллизоваться из высококристаллической магмы (crystal mush) ремобилизованной впоследствии новой порцией магнезиальной магмы с близкими геохимическими характеристиками, что фиксируется в спектрах распределения литофильных элементов в клинопироксенах. Геохимические и изотопные характеристики пород указывают на то, что образование восточной части поднятия Крозе происходило под влиянием горячей точки Крозе-Марион, которую можно рассматривать как сателлитную от крупного Африканского плюма, существенно повлиявшего на всю историю Южного океана.

ОЦЕНКА ДИФФУЗИИ КАТИОНОВ K^+ И NH_4^+ В МЕЖСЛОЕВЫХ СЛОЯХ ФЕНГИТА В ШИРОКИХ ДИАПОЗОНАХ ДАВЛЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР

Тарарушкин Е.В., Глушак А.А. (НИУ ВШЭ), Рудмин М.А. (отдел. геол. НИ ТПУ)

evgeny.tararushkin@yandex.ru; тел.: 8 (926) 070 58 26

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ

К-фенгит, $K(Al, Mg)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$, относится к диоктаэдрической слюде, которая состоит из октаэдрических и тетраэдрических слоев (Т-О-Т). Из-за наличия в межслоевых слоях этой слюды негидратированных моновалентных катионов в количестве 0.85-1.0 фенгит по структуре близок к мусковиту. Фенгит представляет интерес как наиболее глубинная гидратированная фаза ответственная за транспорт воды в мантии Земли в зонах субдукции. Однако кроме К-фенгита представляет интерес также фенгит с катионами аммония в межслоях (NH_4 -фенгит). NH_4 -фенгит уже может выступать не только в качестве транспортера воды, но также и в качестве транспортера азота. Оценка диффузии катионов K^+ и NH_4^+ в межслоях фенгита производилась с помощью компьютерного атомистического моделирования. В результате расчетов были определены значения барьеров смещения негидратированных катионов и их коэффициенты диффузии в широких диапазонах температур и давлений ($T=298-1373$ К и $P=0.001-10$ ГПа). Те же характеристики были определены для гидратированных катионов. Полученные теоретические результаты могут быть полезны для описания транспорта катионов в зонах субдукции литосферных плит.

МОЛЕКУЛА CO₂ В МИНЕРАЛАХ СЕМЕЙСТВА ЛАЗУРИТА (МСЛ) КАК ИНДИКАТОР ФУГИТИВНОСТИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Таусон В.Л., Сапожников А.Н., Липко С.В., Шендрик Р.Ю.,

Бабкин Д.Н. (ИГХ СО РАН)

vltauson@igc.irk.ru; тел 8 (395) 254 64 29

Проект РНФ № 24-27-00114

МСЛ относятся к группе содалита и имеют в структуре полости, способные удерживать ионы, комплексы и молекулы, включая CO₂. Они могут быть индикаторами фугитивности двуокси углерода в метаморфических и иных процессах, в том числе – вулканических, что важно для анализа баланса CO₂. Схема эксперимента включает использование природной лазуритовой шихты и (в качестве источника CO₂) родохрозита, помещаемого в пережатой золотой или платиновой пробирке в кварцевую пробирку, которая запаивается. До и после опыта золотая пробирка взвешивалась, по потере массы определяли количество выделившегося CO₂ и рассчитывали его парциальное давление. Правильность метода проверялась при 800 °С на примере кальцита, для которого известно давление CO₂ при декарбонизации в закрытой системе (0.22 бар). Мольные содержания CO₂ в образцах МСЛ определяли по соотношению пиковых интенсивностей в ИК-Фурье спектрах валентных асимметричных колебаний CO₂ (~2340 см⁻¹) и валентных колебаний Al-Si-O каркаса (~1000 см⁻¹), стандартом служил МСЛ слюдянкаит. Полученные предварительные данные показывают, что исходные образцы МСЛ имеют широкий спектр содержаний CO₂ - от 0.05 до 0.3 формульной единицы, но зависимость содержания от *p*CO₂ и *T* имеет сложный характер и чувствительна к структуре исходного материала.

ВОПРОСЫ СУБДУКЦИИ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА КОРОВЫХ ЭКЛОГИТОВ

Федькин В.В. (ИЭМ РАН)

vfedkin@iem.ac.ru; тел.: 8 (905) 772 49 29

Госзадание FMUF-2022-0004, рег. № 1021051302305-5-1.5.2;

Программа Фулбрайт ИМО 2011-2015 г.

На примере Максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (МК) на Южном Урале **проведена апробация новых геодинамических идей** возникновения и развития субдукции коровых эклогитов: **концепции «Правило инициации субдукции»** и **геодинамической классификации океанических базальтов**.

В свете новых модельных воззрений, на основе новых аналитических данных о составе пород комплекса и зональности породообразующих минералов проведено комплексное изучение геохимических, петрологических и геодинамических особенностей формирования террейна, условий зарождения и развития в нем субдукционных процессов в сопоставлении с традиционными представлениями формирования подобных объектов.

Исследования показали, что основные признаки инициации субдукции отчетливо проявлены в МК.

Однако интерпретация полученных результатов в свете новаторских геодинамических идей выявляет ряд спорных вопросов в истории развития Максютовского комплекса, осложняющих восприятие установленных правил в качестве универсальной модели.

Предполагается, что эти особенности носят случайный характер, отражают специфику данного региона и не влияют на общие закономерности ИС.

Тем не менее, они требуют дополнительного изучения и уточнения, поскольку затрагивают принципиальные моменты формирования террейна: вопросы времени и длительности формирования МК, субдукционной полярности его развития, особенностей ретроградного метаморфизма на стадии эксгумации, источника и происхождения НР/УНР индекс минералов – алмаза и коэсита и др.

ФРАГМЕНТ УГЛИСТОГО ХОНДРИТА В ЖЕЛЕЗНОМ МЕТЕОРИТЕ ЭЛЬГА

Хисина Н.Р., Корочанцев А.А., Абдрахимов А.М. (ГЕОХИ РАН)

khisina@gmail.com; тел.: 8 (916) 113 35 42

Работа выполнена по Госзаданию ГЕОХИ РАН

Железный метеорит Эльга содержит силикатные включения в металлической FeNi матрице. В одном из силикатных включений ранее был обнаружен расплавный карман (область локального ударного плавления), состоящий из сидерита, саркопсида и шрейберзита, образующих структуру жидкостной несмесимости. Происхождение расплавного кармана и наблюдаемых в нем фаз оставалось неизвестным. Новые данные показывают, что минералогия и валовая химия расплавного кармана не согласуются с минералогией и химией силикатных включений в Эльге. Эти противоречия приводят к выводу, что расплавный карман представляет переплавленный инородный фрагмент (класт), захваченный родительским телом Эльги при столкновении с другим космическим телом. Идентифицированные в расплавном кармане углеродистые соединения позволяют отнести аккрецированный фрагмент к классу углистых хондритов.

ЧАСТИЧНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ ГАББРО-АНОРТЗИТОВ И СОПУТСТВУЮЩИЙ
МЕТАСОМАТОЗ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СОСТАВЕ ФЛЮИДНОЙ ФАЗЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ходоревская Л. И., Косова С. А., Вьююс А.А., (ИЭМ РАН)

khodorevskaya@mail.ru; тел.: 8 (916) 651 25 53

Высокотемпературные зональные жилы с большим количеством магнетита и ильменита, встречающиеся в габбро-анортозитовых комплексах Беломорья, могут служить одной из моделей, определяющей условия образования Fe-Ti пород в анортозитах. Целью данной работы являлось экспериментальное изучение преобразований анортозитов под воздействием H₂O-NaCl и H₂O - NaCl - CO₂ флюидов при T = 900°C, P = 5 кбар. Эксперименты моделируют преобразования анортозитов под воздействием соль – CO₂ содержащих флюидов, поступающих из внешнего источника в условиях гранулитовой фации.

ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЧАСТИЦ С ОЛОВОМ И МЕДЬЮ В МАГНИТНОЙ КОМПОНЕНТЕ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ АНТАРКТИДЫ, СОБРАННОГО МАГНИТНОЙ ЛОВУШКОЙ

Цельмович В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН), Кузина Д.М. (ФГАОУ ВО КФУ, Казань), Муфтахетдинова Р.Ф., Яковлев Г.А. (ФГАОУ ВО УрФУ, Екатеринбург), Ежов В.Ф., Четвериков О.Ю. (НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ), Булат С.А. (ФГАОУ ВО УрФУ, НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ)
tselm@mail.ru; тел.: 7 (906) 632 74 48

Работа выполнена по госзаданиям ИФЗ РАН, НИЦ КИ-ПИЯФЮ, по Программе «Приоритет-2030»

Условия Антарктиды, лучшего места для сбора космогенного вещества, позволяют отбирать пробы и определять в них тип и количество космических частиц, попавших в пробу за время сбора. Результат сбора будет зависеть от условий сбора и от конструкции ловушки. Нами был проведён сбор пыли при помощи ловушки из NdFeB магнитов на станции «Восток» с 27.12.2023 по 23.01.2024 г. Микроструктура и состав более 100 частиц анализировались микроскопическими методами в ГО «Борок», УрФУ, КФГУ. В пробах обнаружены частицы космической пыли и микрометеоритов, схожие с такими же частицами, ранее найденными разными авторами, выделившими их из различных источников. Особенностью частиц, обнаруженных нами в одной из проб, было содержание в них олова (в металлической и оксидной формах) и меди. С учетом того, что олово крайне редко встречается в метеоритах, а наши находки были множественными, было предположено, что они могут иметь как метеоритное, так и техногенное происхождение – из электронных компонентов отслуживших спутников, трасса затопления которых проходит над Антарктидой.

ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ РАВНОВЕСИЙ В ГАББРО КУМБИНСКОЙ ИНТРУЗИИ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

Чайка И.Ф. (ИЭМ РАН), Щербаков В.Д. (геол. ф-т МГУ),

Степанов С.Ю. (Институт минералогии УрО РАН)

ivanlab211@gmail.com; тел.: 8 (913) 772 32 24

Источники финансирования: Грант РФФ № 24-77-00099

Кумбинская интрузия представлена габброидами и, в подчиненном количестве, дунитами и клинопироксенами. Габбро предположительно являются продуктами двух импульсов, сформировавшими безрудные и Si-минерализованные серии. Как один из подходов к выявлению различий между ними, мы провели предварительную оценку P-T-f(O₂)-c(H₂O) условий с использованием расчетов по минеральным парам (классические алгоритмы) и отдельным минералам (алгоритмы, использующие машинное обучение). Термобарометрия по клинопироксену показала T 980–1020 °C для минерализованных габбро и 1000–1060 °C для безрудных при давлении 2-4 кбар для обоих типов. Параметры клинопироксен-ортопироксенового равновесия существенно не различались: 870-940°C при 3-5 кбар. Составы посткумулусного амфибола отвечают 900-950°C, ΔQFM=2–4% и H₂O_{расплав}=5–7% для минерализованных и 850–900°C, ΔQFM=3–5, H₂O_{расплав}=7–10% для безрудных. Температуры амфибол-плагиоклазового равновесия близки полученным только по амфиболу. Параметры, полученные по клинопироксену и амфиболу, не противоречат ожидаемым параметрам их кристаллизации при эволюции базальтового расплава, согласуются с ранее полученными оценками для подобных объектов и могут использоваться для дальнейшего моделирования формирования этих пород.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ F И Cl МЕЖДУ КРИСТАЛЛИЗУЮЩИМСЯ ИЗ
РАСПЛАВА БИОТИТОМ И ГРАНИТНЫМ РАСПЛАВОМ В СУБЛИКВИДУСНЫХ
УСЛОВИЯХ

Чевычелов В.Ю., Вирус А.А. (ИЭМ РАН)

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

Составы слюд (биотитов) весьма чувствительны к изменениям физико-химических условий минералообразования (кислотность-щелочность, флюидонасыщенность, T , f_{O_2} и др.), поэтому экспериментальные данные по фазовым равновесиям в силикатных системах с участием слюд и летучих представляют особый интерес для понимания условий образования магматических горных пород и связанных с ними руд. Нами были детально изучены химические составы природных биотитов Хангилайского массива (Восточное Забайкалье), включая содержания F и Cl. Затем были проведены эксперименты по кристаллизации биотита из расплава хангилайских гранитов в субликвидусных условиях ($T = 690 - 760^\circ\text{C}$ и $P = 100 - 500$ МПа).

В результате проведенных исследований установлено, что при кристаллизации Хангилайского гранитного массива в Восточном Забайкалье F/Cl отношения в расплаве составляли от 3 до 8.5. F/Cl отношения в составе биотитов этого массива были существенно выше от 23 до 34, что связано с большим сродством F к биотиту, а Cl к расплаву. При этом средние содержания F и Cl в биотите составляли приблизительно 1.4-1.6 мас.%, и 0.045-0.05 мас. %, соответственно.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И СОСТАВА РАСПЛАВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ F И Cl В СИСТЕМЕ БИОТИТ - ГРАНИТНЫЙ РАСПЛАВ

Чевычелов В.Ю., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН)

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

Экспериментально изучалось распределение F и Cl в системе биотит, кристаллизующийся из расплава, – гранитный расплав при температурах 690 - 760°C в присутствии хлоридно-фторидных водных растворов различной концентрации. С целью оценки влияния давления на составы биотита и расплава, эксперименты были проведены в широком диапазоне давлений от 100 до 500 МПа.

Установлено, что содержание фтора в кристаллизующемся в системе биотите существенно выше, чем в сосуществующем с ним гранитном расплаве (коэффициенты распределения варьируют от 4 до 10). Хлор в рассматриваемой системе ведет себя иначе: его содержание в биотите всегда ниже, чем в гранитном расплаве (коэффициенты распределения составляют 0.25 – 0.4). Изменение величины F/Cl отношения в составе гранитного расплава оказывает различное влияние на величину такого отношения в кристаллизующемся биотите. Так, при более низком (менее 50) F/Cl отношении в расплаве F/Cl отношение в биотите будет заметно выше (в 3 – 11 раз), а при более высоком (более 75) F/Cl отношении в расплаве данное отношение в биотите будет ниже, чем в расплаве.

СТРУКТУРА ДИГИДРАТА ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ: СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В ЯЧЕЙКЕ С АЛМАЗНЫМИ НАКОВАЛЬНЯМИ

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

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

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

Дигидрат щавелевой кислоты ((COOH)₂·2H₂O) широко применяется в петрологических исследованиях в качестве источника флюида в экспериментах, моделирующих взаимодействие горных пород и минералов с глубинным С-О-Н флюидом. В данной работе проведено изучение фазовых переходов дигидрата щавелевой кислоты при давлениях выше 10 ГПа до температуры 250 °С в ячейке с алмазными наковальнями с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния. Согласно полученным данным, при высоких давлениях в этой системе происходит расширение полей стабильности твердых фаз в область повышенных температур.

IN SITU ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ $KFeS_2$ ПРИ БАРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
ДО 30 ГПА

Шарапова Н.Ю., Спивак А.В., Захарченко Е.С., Воронин М.В. (ИЭМ РАН),

Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН)

sharapovani@iem.ac.ru; тел.: 8 (916) 347 74 95

Источники финансирования: тема НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0001

Нахождение таких минералов, как хансвилкеит ($KFeS_2$) и джерфишерит ($K_6(Fe,Cu,Ni)_{25}S_{26}Cl$), среди сульфидных включений в алмазах поднимает вопрос о стабильности калиевых сульфидов в условиях мантии Земли. Однако их поведение при высоких давлениях остаётся малоизученным.

В данной работе мы исследовали фазовую стабильность $KFeS_2$ при давлениях до ~30 ГПа с использованием ячейки с алмазными наковальнями. Синтетические игольчатые кристаллы хансвилкеита $KFeS_2$ загружали в NaCl, который использовался как среда передачи давления, а кристалл рубина служил стандартом для его определения.

Методом КР-спектроскопии получено 29 спектров на этапе сжатия (с шагом 1–2 ГПа) и 28 — на этапе декомпрессии. Спектры комбинационного рассеяния объединённого набора данных проанализированы на предмет изменений в положении основных рамановских пиков. Установлено, что при давлениях ~8 и ~18 ГПа происходит изменение значений $\partial\nu/\partial P$ для большинства рамановских мод, что, вероятно, связано со структурным переходом и требует дальнейшего рентгенофазового анализа.

Т-Х ДИАГРАММА Fe-Ni-S ПРИ 6 ГПа

Шацкий А.Ф., Сидько Д.Е., Шацкая Д.В., Никитин М.А. (ГЕОХИ РАН)

shatskiy@geokhi.ru

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

Фазовые взаимоотношения в системе Fe-Ni-S исследованы в экспериментах на многопуансонном прессе при 6 ГПа в интервале 450-1550 °С. В системе установлены 9 промежуточных соединений: FeS, FeS₂, Ni₄S, Ni₃S, Ni₃S₂, Ni₄S₂, Ni₄S₃, NiS и NiS₂. Начало плавления системы Me-MeS₂ контролируется эвтектикой Ni-Ni₃S₂, расположенной при 525 °С и 31 мол% S. С увеличением температуры область расплава расширяется в сторону эвтектики Fe-FeS, которая установлена при 1000 °С и 33 мол% S. Растворимость металла в расплаве серы при 1200 °С составляет около 0.1 мол% и возрастает до 10-12 мол% при 1300 °С. Начало плавления на отрезке MeS-MeS₂ зафиксировано при 1300 °С. Учитывая концентрацию серы в мантии на уровне 600 г/т стабилизация металлической фазы, содержащей 60 мол% Ni, на глубине 250 км, должна сопровождаться образованием Fe-Ni-S расплава. Температурная область устойчивости такого расплава охватывает широкий диапазон геодинамических обстановок, от зон субдукции, до континентальной литосферы подстилающей конвективной мантии.

Т-Х ДИАГРАММА Fe-Ni-P ПРИ 6 ГПа

Шацкий А.Ф., Никитин М.А., Шацкая Д.В. (ГЕОХИ РАН), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)
shatskiy@geokhi.ru

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

Фазовые взаимоотношения в системе Fe-FeP₂-NiP₂-Ni исследованы в экспериментах на многопуансонном прессе при 6 ГПа в интервале 900-1600 °С. В системе установлены 5 промежуточных соединений: (Fe, Ni)₃P, (Fe, Ni)₂P, Ni₈P₃, Ni₅P₂ и Ni₁₂P₅. Начало плавления системы контролируется эвтектикой Ni-Ni₃P, расположенной при 950 °С и 20 мол% P. С увеличением температуры область расплава расширяется в сторону эвтектики Fe-Fe₃P, которая установлена при 1075 °С и 16 мол% P. В системе установлены 8 полей первичной кристаллизации фаз Fe-Ni, Fe₃P, (Fe, Ni)₂P, Ni₅P₂, Ni₈P₃ и Ni₃P. °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.

ПАРАМЕТРЫ КОНДЕНСАЦИИ ПЕРОВСКИТА, КАК НАИМЕНЕЕ ЛЕТУЧЕГО СОЕДИНЕНИЯ ВЕЩЕСТВА CAIs

Шорников С. И., Яковлев О. И. (ГЕОХИ РАН)sergey.shornikov@gmail.com; yakovlev@geokhi.ru

Многие исследователи придерживаются традиционного мнения, что вещество Ca-Al-включений хондритов (CAIs) образовалось при конденсации газа солнечного состава в ближайших окрестностях молодого Солнца. Согласно альтернативной точке зрения вещество CAIs образовалось при конденсации звездного газа за пределами и задолго до образования солнечной небулы в процессе разлета газа и конденсата (пыли) при взрыве Сверхновой типа TP-AGB (*Terminally Pulsing Asymptotic Giant Branch*) или богатой кислородом звезды типа белого карлика (*White Dwarf Star*). Из данных наблюдения изотопных аномалий в CAIs следует, что звездное вещество было заброшено в протосолнечную систему в виде газа и конденсата, оставивших память об короткоживущих изотопах – ^{26}Al , ^{41}Ca , ^{60}Fe , ^{107}Pd . Предполагается также возможность доставки из звезды типа белого карлика в протосолнечную небулу звездных тугоплавких минералов и, в частности, перовскита.

Полученные нами экспериментально величины парциальных давлений молекулярных форм газовой фазы над перовскитом в условиях, близких к равновесию, можно использовать для оценки *PT*-условий конденсации во внешней оболочке звезды перед ее взрывом или в процессе взрыва и разлета газа и конденсата. В частности, при температуре 1960 °C, что несколько ниже температуры плавления перовскита (1968 ± 10 °C), давления доминирующих компонентов пара составляют: $p(\text{TiO}_2) = 3.48 \times 10^{-6}$ атм, $p(\text{Ca}) = 2.60 \times 10^{-6}$ атм, $p(\text{TiO}) = 2.41 \times 10^{-6}$ атм.

В паре также наблюдается стехиометричная перовскиту молекулярная форма, парциальное давление которой составляет $p(\text{CaTiO}_3) = 2.94 \times 10^{-9}$ атм. Как следует из экспериментальных данных (Шорников, 2019), устойчивость молекулы CaTiO_3 растет с ростом температуры, что может служить подтверждением гипотезы о совместной доставке в одном соединении (минерале-носителе) богатых нейтронами аномальных изотопов ^{48}Ca и ^{50}Ti .

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ $\text{Li}_2\text{O}-\text{P}_4\text{O}_{10}$

Шорников С. И. (ГЕОХИ)

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

Физико-химические свойства фосфатов лития и их расплавов представляют значительный интерес для совершенствования технологий, связанных с безопасностью и стабильностью аккумулирования энергии. В настоящей работе были выполнены расчеты активностей оксидов в литиево-фосфатных расплавах в области температур 700–1800 К в рамках разработанной полуэмпирической модели (Шорников, 2019) с целью уточнения ее параметров. Параметрами модели являлись рассчитанные из экспериментальных и теоретических данных значения стандартных энергий Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (Li_2O и P_4O_{10}) и фосфатов лития (LiPO_3 , $\text{Li}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$, $\text{Li}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$, Li_3PO_4). Сопоставление рассчитанных величин парциальных давлений молекулярных форм газовой фазы (Li , LiO , Li_2O , Li_2O_2 , P_2 , PO , PO_2 , P_4O_{10} , LiPO_2 , LiPO_3 , O , O_2), а также активностей оксидов и энергии смешения в расплавах системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{P}_4\text{O}_{10}$ показывает удовлетворительное соответствие имеющимся экспериментальным данным.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$

Шорников С. И. (ГЕОХИ)

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

Силикаты лития и их расплавы обладают уникальными физико-химическими свойствами, являющимися перспективными для применения во многих промышленных областях (материаловедение, строительство, производство покрытий), а также представляющими значительный интерес для геохимии и космохимии. В настоящей работе были выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ в области температур 1000–2000 К с помощью полуэмпирической модели (Шорников, 2019) с целью уточнения ее параметров. Параметрами модели являлись рассчитанные из экспериментальных и теоретических данных значения стандартных энергий Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (Li_2O и SiO_2) и силикатов лития (Li_8SiO_6 , Li_4SiO_4 , $\text{Li}_6\text{Si}_2\text{O}_7$, $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, Li_2SiO_3). Вычисленные величины парциальных давлений молекулярных форм газовой фазы (Li , LiO , Li_2O , Li_3O , Li_2O_2 , SiO , SiO_2 , Si_2O_2 , Li_2SiO_3 , O , и O_2), а также активностей оксидов и энергий смешения в расплавах системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ соответствуют имеющимся экспериментальным данным.

КОНИЧЕСКИЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ И ИХ РОЛЬ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА В
МОЛОДЫХ УДАРНЫХ КРАТЕРАХ НА ЛУНЕ

Шпекин М.И. (*Казанский федеральный университет*),
Феррейра Р.Т. (*Национальный университет Аргентины, г. Кордова*),
Архипова А.А. (*Казанский федеральный университет*)
michaels1@yandex.ru; тел.: 8 (843) 292 77 97

В докладе рассмотрены вопросы распределения потока вещества, энергии и импульса между высокоэнергетическими ударниками и поверхностями планет. Показано, что физику и геологические процессы кратерообразования полезно анализировать совместно для более глубокого понимания механизма формирования сложных кратеров. Авторы обращают внимание на то, что ударные волны, формирующие кратеры на планетах трактуются исследователями, как плоские ударные волны. В докладе обсуждается альтернативная постановка задачи, когда вводится понятие «конической ударной волны». Введенное в рассмотрение новое понятие ставит новые вопросы: почему в случае формирования кратеров на планетах ударная волна получается конической, а не плоской; чем коническая волна отличается от плоской с точки зрения ее распространения; какова энергия конической ударной волны, а также и другие параметров, присущие ударным волнам. Перечисленные вопросы обсуждаются на примере молодого ударного кратера Эйткен, расположенного на краю большого центрального кратера бассейна «Южный Плюс – Эйткен».

ПОВЕДЕНИЕ ГЛАВНЫХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГРАНИТНОГО РАСПЛАВА С ДОЛОМИТОМ ПРИ 700°C И $P_{H_2O} = 1$ КБАР В ПРИСУТСТВИИ ФТОРА

**Щекина Т.И., Зиновьева Н.Г., Алферьева Я.О. (геол. ф-т МГУ),
Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Русак А.А. (ГЕОХИ РАН)**
t-shchekina@mail.ru; тел.: +7 (495) 939-20-40.

Работа выполнена по госбюджетной теме «Режимы петрогенеза внутренних геосфер Земли» геол.ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова и при поддержке государственного задания ИЭМ РАН и ГЕОХИ РАН

При контактовом взаимодействии фторсодержащего гранитного расплава с доломитом в присутствии водного флюида происходит интенсивный обмен компонентов между контрастными по составу средами. В результате эксперимента, проведенного при 700°C и $P_{H_2O} = 1$ кбар, образовалась метасоматическая колонка с четко выраженной зональностью. Было изучено поведение главных (Si, Al, Ca, Mg, Na, K), рудных (Mo и W) элементов, а также фтора по всем зонам колонки. Было показано, что характер зональности и минеральный состав зон, полученный в эксперименте, подобны образующимся в магнезиальных скарнах в природе. Выявлена закономерная смена минерального состава по колонке и прослежены изменения состава фаз, том числе, образующихся рудных минералов ряда шеелит – повеллит $Ca(W,Mo)O_4$. Были сделаны оценки подвижности главных и рудных элементов, а также фтора в условиях эксперимента. Показано, что Si и F перемещаются из гранитного расплава вплоть до последней зоны метасоматической колонки, фиксируясь в минералах группы гумита. Na и K присутствуют лишь эндоскарновых зонах колонки, входя в состав плагиоклаза и фторфлогопита. Рудные элементы проявляют различное поведение: вольфрам менее подвижен и осаждается в виде шеелита с отношением $W/(W+Mo)=0,88-0,92$ на границе расплава с плагиоклазовой и в пределах флогопитовой зоны эндоскарна. Молибден входит в состав молибдошеелита сначала в минимальном количестве, но по мере удаления от контакта содержание повеллитовой составляющей увеличивается вплоть до почти чистого $CaMoO_4$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ
ДЖЕРФИШЕРИТА КАК МИНЕРАЛА-ИНДИКАТОРА МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА

Якушик М.А. (ИЭМ РАН), Бутвина В.Г. (ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН),

Голунова М.А. (ИЭМ РАН)

yakush.mihail@yandex.ru; тел.: 8 (496) 522 58 51

Поддержка: тема FMUF-2022-0001

Работа направлена на моделирование условий формирования джерфишерита ($K_6(Fe^{2+}, Cu, Ni)_{25}S_{26}Cl$) — минерала - индикатора мантийного метасоматоза. Исследованы условия его стабильности совместно с бартонитом ($K_6Fe_{20}S_{26}(S, Cl)$) в системе Fe–S–Cl–K. Эксперименты проведены на газовой бомбе при 5 кбар, 600°C, 7 суток, с исходной смесью пирит:халькопирит:пентландит (5:1:2) и флюидом (в количестве 10 %) с соотношениями KCl: K₂CO₃ (1:1 и 1:2).

В результате поставленных экспериментов выявлено, что соотношение KCl:K₂CO₃ во флюиде является критерием для образования калиевых сульфидов в ряду джерфишерит-бартонит. Выявлено, что избыток K₂CO₃ во флюиде смещает равновесие к джерфишериту. В настоящее время (по литературным данным) исследователями предложено два возможных механизма образования джерфишерита в кимберлитах: (1) первичные Fe-Ni-Cu сульфиды, которые взаимодействуют с метасоматическими K-Cl богатыми расплавами/флюидами в мантии; (2) прямая кристаллизация джерфишерита из кимберлитового расплава, который ранее был карбонатным или карбонатно-силикатным и содержал большое количество щелочей и хлора. В данной работе рассмотрен механизм образования джерфишерита в результате калиевого модального мантийного метасоматоза.

