

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-2024)

Москва, 16-17 апреля 2024 г.



Председатели семинара

дгмн Олег Александрович Луканин

(ГЕОХИ РАН)

дгмн, проф. РАН

Олег Геннадьевич Сафонов

(ИЭМ РАН, МГУ)

Оргкомитет

дгмн, проф. Алексей Алексеевич Арискин

(МГУ, ГЕОХИ РАН)

дгмн, проф. Андрей Викторович Бобров

(МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ)

дгмн Алексей Рэдович Котельников

(ИЭМ РАН)

чл.-корр. Олег Львович Кусков

(ГЕОХИ РАН)

дхн. Юрий Андреевич Литвин

(ИЭМ РАН)

дхн, проф. Евгений Григорьевич Осадчий

(ИЭМ РАН)

чл.-корр. Юрий Николаевич Пальянов

(ИГМ СО РАН)

дхн Борис Николаевич Рыженко

(ГЕОХИ РАН)

чл.-корр. Юрий Борисович Шаповалов

(ИЭМ РАН)

дгмн, проф. Антон Фарисович Шацкий

(ГЕОХИ РАН)

кгмн Олег Иванович Яковлев

(ГЕОХИ РАН)

Секретари:

кхн Елена Владимировна Жаркова

(ГЕОХИ РАН)

Екатерина Леонидовна Тихомирова

(ИЭМ РАН)

УЧЁТ БИОГЕННОГО И БИОГЕННО-ОПОСРЕДОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПОДЗЕМНОЙ БИОТЫ НА МАТЕРИАЛЫ МАТРИЦ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Абрамова Е.С., Сафонов А.В., Стефановская О.И. (ИФХЭ РАН)

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

В работе изучается оценка биогенного и биогенно-опосредованного воздействия подземной биоты на материалы матриц для радиоактивных отходов (РАО). Было проанализировано микробное обрастание различных типов матриц: цементных, магний-калий-фосфатных, на основе стекла (боросиликатных, алюмофосфатных, железоалюмофосфатных), а также матриц на основе муратаита. В качестве источника подземной биоты были использованы пробы с участка «Енисейский» (г. Железногорск, Красноярский край), который рассматривается как место для будущего глубинного подземного захоронения РАО. Проведена оценка биобрастания матриц и выщелачивания структурных элементов. Наибольший вклад в микробное обрастание вносят биофильные элементы в составе матриц, например, Mg, K, P – для магний-калий-фосфатных матриц, Fe, P, K – для железоалюмофосфатных стёкол. Микробные процессы приводят к выходу элементов из структурной решетки, растворению цементной матрицы, снижению механической прочности цементных компаундов и МКФ-матриц, что в конечном итоге приведет к нарушению целостности барьеров безопасности и сокращению срока изоляции РАО.

ВЕСЭПМГ 2024 – 002

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ НА ОБРАЗЦАХ
ИМИТАТОРА ЛУННОГО ГРУНТА**

Агапкин И.А., Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН), Матвеев Е.В. (НИИ ПМТ)

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

На сегодняшний день в рамках концепции использования ресурсов на месте (In-Situ Resource Utilization) применение аддитивных технологий с использованием лунного реголита в качестве основного строительного материала для создания инфраструктуры на поверхности Луны выглядит наиболее перспективным. Одним из таких методов является селективное лазерное спекание, главное преимущество которого заключается в достаточно быстром производстве прочных деталей различной формы без использования дополнительного связующего вещества.

В данной работе представлен результат начального этапа исследований по применению селективного лазерного спекания на образцах лунного грунта аналога. В качестве лунного грунта используется вулканический пепел с полуострова Камчатка, который имеет схожие химико-минералогический и гранулометрический составы с морским лунным реголитом.

ПЕРЕНОС И ОСАЖДЕНИЕ КРЕМНЕЗЕМА ПРИ РАСТВОРЕНИИ БАЗАЛЬТА

Алексеев В.А., Мохов А.В., Громяк И.Н. (ГЕОХИ), Белохин В.С. (МГУ)

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

После опытов при 200 и 300°C с брусками массивного базальта, полностью погруженными в воду в течение четырех месяцев, концентрация растворенного кремнезема (m) была выше растворимости кварца, однако осаждение кремнезема не наблюдалось. В таких же опытах с брусками, погруженными в воду наполовину, значения m были ниже растворимости кварца, однако кремнезем осаждался на брусках выше уровня воды. При 200°C он был представлен немногочисленными выделениями некристаллического опала-А, а при 300°C наблюдалось массовое образование опала-А, кристобалитового опала и кварца. В аналогичном опыте при 300°C с цилиндром пористого базальта новообразованный кремнезем обнаружен не только на поверхности, но и внутри верхней половины цилиндра (рентгеновская компьютерная микротомография). Необычные результаты опытов объясняются дистилляцией, которая инициируется преимущественным испарением тонкого, более теплопроводного слоя воды на границе вода–стенка–пар и усиливается при смачивании водой шероховатой или пористой стенки. Действие этого механизма в природных условиях может приводить к образованию агатов.

ВЕСЭПМГ 2024 – 004

**ПЕРЕНОС W И Mo ПРИ КОНТАКТОВО-РЕАКЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
ФТОРСОДЕРЖАЩЕГО ГРАНИТНОГО РАСПЛАВА И КАЛЬЦИТА ПРИ 750°C И 1 КБАР**

Алферьева Я.О., Григорьева Е.И. (геол. ф-т МГУ)

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

При заданных параметрах показана возможность взаимодействия фторсодержащего гранитного расплава и кальцита с интенсивным перераспределением компонентов и образованием новых фаз. Исходное содержание воды в системе не превышает 10% от массы навески. Исходное содержание рудных компонентов WO_3 и MoO_3 в силикатной части составляет по 0,3 мас% каждого в пересчете на металл.

В продуктах экспериментов в апокарбонатной части новообразованные фазы представлены куспидином, волластонитом, флюоритом и расплавом LCF карбонатно-фторидного состава. Рудные компоненты W и Mo выносятся из алюмосиликатного расплава и отлагаются преимущественно на контакте с апокарбонатной частью в виде молибдошеелита.

РОЛЬ ГЛУБИННЫХ ГАЗОВЫХ ФЛЮИДОВ В ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ
НЕФТЕГАЗМАТЕРИНСКИХ ТОЛЩ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Антоновская Т.В. (независимый исследователь-геолог: (25.00.12) - геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений; Ухта, Республика Коми)

tat-atv@yandex.ru; тел.: 8 (912) 184 25 09

Планомерная добыча нефти и газа в России производится более ста лет. В основе поисков и разведки месторождений углеводородов (УВ) лежит правило онтогенеза нефти и газа, включающего генерацию, миграцию, аккумуляцию и консервацию. В состав месторождения могут входить от одной до десяти и более залежей, приуроченных как к зонам тектонических разломов (залежи тектонически экранированные), в том числе глубинных, мантийных, так и к областям полного их отсутствия (залежи литологически- и/или стратиграфически экранированные, или линзовидные). В формировании залежей УВ опосредованно принимают участие пластовые флюиды (жидкие и газообразные) глубокопогруженных горизонтов земной коры (возможно, и мантии), ещё на стадии генерации микронефти из органического вещества, захоронённого в нефтегазоматеринской толще, чаще – глинистой или карбонатно-глинистой. Изобилие биомаркеров в нефти подтверждает её биогенную природу. Роль газовых молекул-теплоносителей CO_2 , H_2 , H_2O , CH_4 , H_2S , NH_3 поступающих в материнскую породу извне, значима, поскольку данные газы не только приносят дополнительное тепло, но и являются пищей для анаэробных микроорганизмов, которые осуществляют свой метаболизм, используя CO_2 , H_2 , и др., а также органическое вещество (преимущественно морское сапротелевое) материнской породы; процессы метаболизма также происходят с выделением тепла в среду материнской породы. В результате формируются углеводородные ионы, адсорбирующиеся на глинистых минералах с образованием молекул микронефти, способными покинуть материнскую породу в породы-коллекторы. Специалистами (Шеховцева и др., 2019) исследовались глубокие горизонты Тюменской сверхглубокой скважины (6840 м) до забоя. Выделяется пять основных групп микроорганизмов (концепция Н.В. Верховцевой), в том числе хемолитоавтотрофы, олиготрофы и др., что позволяет сказать: микронефть в материнской породе формируется, благодаря активной жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов, нуждающихся в CO_2 , H_2 и др. Доказано активное функционирование анаэробного бактериального мира до глубины 6840 м (Шеховцева и др., 2019). Рекомендуется поставить эксперимент в лабораторных условиях, чтобы смоделировать процесс генерации микронефти в результате взаимодействия газовых молекул CO_2 , H_2 , H_2O , CH_4 , H_2S , NH_3 (выборочно), сапротелевого органического вещества и микроорганизмов.

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ ПЕЛИТ-СО₂ ПРИ 3-6.5 ГПА

**Арефьев А.В., Шацкий А.Ф., Бехтенова А.Е.,
Виноградова Ю.Г. (ГЕОХИ РАН), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)**

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

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 21-77-10057)

В данной работе детально исследованы фазовые взаимоотношения в системе пелит-СО₂ при 3-6.5 ГПа и 850-1500 °С. Субсолидусная ассоциация в изученном интервале давлений представлена Qz/Сое, Ку, Срх, Grt, Rt, Kfs и Mg-Cal. При 3 ГПа солидус пелита установлен при 1025 °С. Плавление пелита приводит к образованию СО₂-содержащего алюмосиликатного расплава риолитового состава с весовым отношением К/Na ~ 2. При 4.8 ГПа/1075 °С, 5.3 ГПа /1300 °С и 6.5 ГПа /1400 °С пелит плавится с образованием щелочного

кальцит-доломитового (Са#60-67) и фонолитового расплавов с весовым отношением К/Na >>

2. При 6.5 ГПа и 1200 °С фонолитовый расплав исчезает, оставляя ультракалиевый доломитовый расплав в сосуществовании с эклогитовой ассоциацией. Таким образом в работе определены составы фаз, температуры солидуса и границы устойчивости карбонатного, силикатного и двух несмесимых расплавов в системе пелит-СО₂ в интервале 3-6.5 ГПа.

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ ЛИТОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И
ВАРИАЦИИ ОТНОШЕНИЙ ПАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ -Zr/Hf Nb/Ta В РАВНОВЕСИЯХ С
РАСПЛАВОМ МЕЛИЛИТОВОГО НЕФЕЛИНИТА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ
ДАНЫМ

Асавин А.М., Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН)

aalex06@inbox.ru; тел.: 8 (499) 137 31 16

Вблизи верхней границы ликвидуса мелилитового нефелинита (1220-1260) исследовано распределение Zr, Hf, Nb, Ta и других редких элементов между оливином, клинопироксеном и расплавом. В опытах искусственно изменяли концентрацию указанных микроэлементов в широких интервалах (три порядка величин) от природных концентраций до первых процентов. В ряде опытов наблюдалась кристаллизация собственных циркониевых фаз, бадделеита и гафнона, что свидетельствует о достижении уровня насыщения цирконием в расплаве.

Оценены коэффициенты распределения редких элементов (Кр) оливина и клинопироксена. Установлено, что коэффициенты распределения литофильных достаточно чувствительны к температуре равновесия. Например, с понижением температуры с 1260 до 1230 градусов величина Кр Zr для оливина повышаются на порядок с 0,008 до 0,03. Влияние температуры особенно заметно для Кр Ni для оливина от 14-15 при температурах 1220 градусов до 2-4 для температур 1260 градусов.

В отличие от пироксена Кр парных элементов (Zr-Hf, Nb-Ta) для оливина близки. Различие Кр парных элементов для клинопироксена незначительны, в целом Кр Hf больше Zr.

Впервые обнаружена слабая прямая зависимость величины Кр этих элементов от концентрации. С учетом этой зависимости возможны при низких температурах и высоком содержании литофильных элементов величины Кр пироксена близкие к 1.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ ЛИТОФИЛЬНЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАВНОВЕСИЯХ ГРАНАТ-КЛИНОПИРОКСЕН ИЗ МАНТИЙНЫХ НОДУЛЕЙ В КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБКАХ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РАВНОВЕСНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ РЕДКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ МАНТИЙНОМ МЕТАСОМАТОЗЕ

Асавин А.М., Воробей С.С. (ГЕОХИ РАН)

aalex06@inbox.ru; тел.: 8 (499) 137 31 16

Процессы мантийного метасоматоза широко развиты в области генерации щелочных магм и кимберлитовых расплавов. Прямым свидетельством этих процессов являются в первую очередь геохимические характеристики мантийных нодулей - обогащение источников редкоземельными и литофильными элементами. Нами изучено распределение редких элементов в гранате и клинопироксене из мантийных нодулей трех типов пород – эклогитовый, перидотитовый и пироксенитовый. Анализы были выполнены методом LA-ICP-MS в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), что позволило оценить концентрации элементов в минералах от центра к краю.

Используя полученный материал и литературные данные по коэффициентам распределения редких элементов (Кр) граната и клинопироксена в условиях равновесия можно оценить степень равновесности распределения редких элементов в природных образцах из глубин мантии.

Наиболее оптимальным для оценки степени равновесности Grt-Cpx в отношении редких элементов является Кр Zr. В эксперименте Кр Zr близко или больше 10, такие значения были установлены для ряда пар граната-клинопироксен перидотитовых и пироксенитовых парагенезисов в ряде изученных образцов. В эклогитовом типе пород в большинстве образцов Кр Zr меньше 1, что свидетельствует о неравновесности мантийных минералов в отношении литофильных элементов. По спектру TR наряду с традиционным - резко обогащенным тяжелыми TR спектром отмечается необычный спектр с Кр близким к 1 для всех элементов группы.

Это свидетельствует либо о различном исходном составе эклогитового субстрата в отношении TR, либо об активном участии в процессах метасоматоза подвижной фазы, обогащающей гранат тяжелыми редкими землями (например Кр Yb меняется от 23 до 99). В остальных нодулях, где величина Кр Zr, подтверждает достижение равновесия в парах Grt-Cpx по литофильным элементам, величина Кр Yb меняется, например от 4 до 65. Среди перидотитовых нодулей отмечены также неравновесные ассоциации аномально обогащенные Zr и TR (Кр Zr 183-275, Yb 276-296).

Полученные данные доказывают, что в процессе мантийного метасоматоза обогащение мантии редкими элементами осуществляется преимущественно в неравновесных условиях (т.е. достаточно быстро), причем степень обогащения редкими элементами в зонах генерации кимберлитовых расплавов может на 2-3 порядка превышать нормальные содержания мантийного субстрата.

ВЕСЭПМГ 2024 – 009

**МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВЕЧНО ТЕМНЫХ ДНИЩ ЮЖНОПОЛЯРНЫХ
ЛУННЫХ КРАТЕРОВ ХАУОРТ, ШУМЕЙКЕР И ФАУСТИНИ**

Базилевский А.Т. (ГЕОХИ РАН), Ли Юань (Сучжоуский университет, Китай)
atbas@geokhi.ru; тел.: 8 (906) 792 78 55

Потому что ось вращения Луны почти перпендикулярна плоскости эклиптики, в лунных полярных областях на дне кратеров вечная темнота. Там очень холодно и конденсируются пары воды и других летучих, которые выделяются при ударах по Луне метеоритов и комет, и при магматических извержениях. Там в порах лунного реголита накапливаются льды летучих компонентов, в том числе, лёд воды, который интересен как источник воды для будущих лунных баз и как исходный материал для горючего для будущих полетов с Луны к другим телам Солнечной системы. Нами по цифровым моделям поверхности, полученным по данным лазерного альтиметра LOLA, изучена морфология поверхности днищ южнополярных кратеров Хауорт ($D = 51$ км), Шумейкер (51 км) и Фаустини (39 км), а также «нормально» освещенных районов работы Лунохода-2 и Аполлона-16. Во всех пяти изученных районах морфология поверхности определяется преобладанием ударных кратеров диаметром менее 1 км. Относительные глубины этих кратеров в изученных районах примерно одинаковы. Эта информация важна для будущего освоения Луны.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГАЛОТОЛЕРАНТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПЕРХЛОРАТА НАТРИЯ

Барбашин Д.Д. (ГЕОХИ РАН, ф-т почвоведения МГУ),

Чепцов В.С. (ф-т почвоведения МГУ, ИКИ РАН),

Белов А.А. (фак. почвоведения МГУ)

fen.157@mail.ru; тел.: 8 (999) 735 32 79

Перхлораты стали предметом активных дискуссий в научном сообществе после их обнаружения на поверхности Марса. Значимость этого открытия связана с возможностью перхлоратов поддерживать воду в жидком состоянии благодаря их особым свойствам. Этот факт позволяет предположить обнаружение новой потенциально обитаемой ниши на Марсе. В предыдущих исследованиях было установлено, что галотолеранты проявляют повышенную устойчивость к воздействию солей перхлоратов. Этот эффект объясняется способностью галотолерантных микроорганизмов справляться с осмотическим стрессом. Однако следует отметить, что перхлораты также воздействуют на клетки как фактор окислительного стресса.

Для проверки гипотезы о повышенной устойчивости галотолерантов и исследования механизмов адаптации к перхлоратам были выделены 65 чистых культур из 25 образцов почв и вод литорали Белого моря на среде R2A с добавлением 10% NaCl. На этих изолятах был проведен скрининг в широком диапазоне концентраций (от 0 до 10%) перхлората натрия. Для сравнения устойчивости на вышеуказанном градиенте также было протестировано 208 штаммов микроорганизмов, выделенных из различных местообитаний без добавления хлорида натрия в среду.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА ЛУНЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ *ASPERGILLUS TUBINGENSIS* В РАМКАХ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ

**Барбашин Д.Д. (ГЕОХИ РАН, ф-т почвоведения МГУ), Громяк И.Н. (ГЕОХИ РАН),
Миронов Д.Д. (ГЕОХИ РАН, ИЭ РУДН), Валяев Д.А. (ф-т почвоведения МГУ),
Иванова А.Е. (ф-т почвоведения МГУ, ИПЭЭ РАН),
Чепцов В.С. (ф-т почвоведения МГУ, ИКИ РАН),
Уварова А.В., Дудченко В.А. (ГЕОХИ РАН)**
fen.157@mail.ru; тел.: 8 (999) 735 32 79

Внимание ведущих космических агентств в последние десятилетия обращено на проекты создания обитаемых лунных баз, в рамках которых активно рассматривается применение принципа ISRU. Принцип ISRU предполагает использование широкого спектра местных ресурсов, в том числе реголита, который обладает огромным потенциалом для получения полезных материалов.

На реголите, доставленном Аполлоном-12, было показано, что лунный материал проявляет повышенную растворимость при обработке уксусной и салициловой кислотами по сравнению с аналогичными земными породами. Биологическое выщелачивание, осуществляемое грибами, предполагает образование низкомолекулярных кислот. Это позволяет предположить, что культуры микромицетов могут быть применены в технологиях биологического выщелачивания на Луне.

В рамках исследования проведен эксперимент по биологическому выщелачиванию аналога лунного реголита с использованием культуры *Aspergillus tubingensis* КВР.F-110 для оценки эффективности работы вышеописанной технологии. Эксперимент проводился на протяжении 28 дней с еженедельным отбором образцов для анализа, анализ выщелоченных элементов проводился при помощи прямого (эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой для растворов) и косвенного (рентгенофлуоресцентный анализ для грунта) методов анализа эффективности биологического выщелачивания.

ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С.Э. ШНОЛЯ: ОБНАРУЖЕНИЕ КОРПУСКУЛЯРНЫХ СВОЙСТВ ГРАВИТАЦИИ

Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН)

azary@mail.ru; тел: 8(499) 135-54-67

Обсуждается феномен макроскопических флуктуаций (МФ), обнаруженных С.Э. Шнолем при изучении вариаций биохимических реакций, распада радиоактивных ядер и шумов полупроводниковых устройств под действием околоземных космофизических факторов. В результате 60-летних экспериментальных исследований С.Э. Шноль установил, что спектры МФ во времени сложным образом меняются, но их тонкая структура в разных процессах оказывается одинаковой и повторяется с периодами осевого вращения Земли, Луны вокруг Земли, Земли вокруг Солнца и перемещения Солнца в Галактике. Тем самым было доказано, что МФ вызваны гравитационным влиянием на изучавшиеся процессы окружающей Землю космической среды. Однако этот важный факт не получил пока теоретического объяснения. Мы полагаем, что МФ являются следствием двойственной корпускулярно-волновой природы гравитации. Как и при электромагнитном, сильном и слабом взаимодействии в физике, энергию гравитации переносят соответствующие элементарные частицы, в данном случае – гравитоны. Эти частицы экспериментально обнаружил С.Э. Шноль, благодаря тому что при изучении МФ приемниками энергии гравитации являлись квантовые процессы в объектах микромира.

ТИТАН- И ХРОМСОДЕРЖАЩИЕ ФЛОГОПИТЫ ПРИ 1-7 ГПА И 373-1573К

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

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

a.bendeliani@outlook.com

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

В работе проведено атомистическое моделирование восьми механизмов вхождения ионов Ti^{4+} и Cr^{3+} во флогопит при 1–7 ГПа и 373–1573 К с использованием программы GULP (General Utility Lattice Program), в основу которой положен принцип минимизации структурной энергии кристалла с помощью полуэмпирических межатомных потенциалов. Обоснована надежность выбранного модельного потенциала, описаны термодинамические свойства смешения твердых растворов флогопита и гипотетических титан- и хромсодержащих миналов. Дана оценка изоморфной емкости флогопита по содержанию Ti^{4+} и Cr^{3+} , рассмотрено изменение геометрии структуры в зависимости от концентрации примеси. Это позволило выделить наиболее энергетически предпочтительные схемы: $^{VI}(Mg^{2+}) + 2^{IV}(Si^{4+}) = ^{VI}(Ti^{4+}) + 2^{IV}(Al^{3+})$, $^{VI}(Mg^{2+}) + 2^{IV}(Al^{3+}) = ^{VI}(\square) + 2^{IV}(Ti^{4+})$, $^{VI}(Mg^{2+}) + ^{IV}(Si^{4+}) = ^{VI}(Cr^{3+}) + ^{IV}(Al^{3+})$, $3^{VI}(Mg^{2+}) = ^{VI}(Al^{3+}) + ^{VI}(Cr^{3+}) + ^{VI}(\square)$.

Результаты атомистического моделирования не противоречат наблюдаемым в природе и в эксперименте закономерностям накопления примесей, и позволили рассмотреть флогопит в качестве яркой иллюстрации наследования минералом признаков состава протолита по содержанию TiO_2 и Cr_2O_3 .

ВЫДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ НАНОЧАСТИЦ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА

Бржезинский А.С., Ермолин М.С., Шилобреева С.Н., Федотов П.С. (ГЕОХИ РАН)

a.brzhezinskiy@gmail.com

Изучение наночастиц вулканического пепла – сложная междисциплинарная задача, решение которой требует применения ряда взаимодополняющих методов пробоподготовки и анализа. Основной проблемой является низкая эффективность выделения наночастиц из исходных образцов. В настоящей работе получена развитие ранее предложенная в ГЕОХИ РАН методология выделения наночастиц из сложных полидисперсных образцов методом проточного фракционирования во вращающейся спиральной колонке (ВСК) с использованием в качестве элюента деионизированной воды. Исследована эффективность 6 различных методик и двух элюентов (деионизированной воды и пирофосфата натрия) при извлечении наночастиц из образца пепла вулкана Карымский (извержение 2013 г.) в ВСК. Продемонстрирована наибольшая эффективность извлечения наночастиц с использованием в качестве подвижной фазы 2 мМ пирофосфата натрия. Удалось увеличить массу фракции наночастиц в 10 раз (с 0,1 мг до 1 мг). Стало возможным определение ряда элементов (Ag, Cs, Tl и др.), находящихся ниже предела обнаружения при анализе наночастиц, выделенных в деионизированной воде. Расширение возможностей изучения элементного состава наночастиц вулканического пепла перспективно для решения фундаментальных задач геохимии.

ТЕРМОДИНАМИКА РАВНОВЕСИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ Ag-Au-Te, ПОЛУЧЕННАЯ МЕТОДОМ ЭДС

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

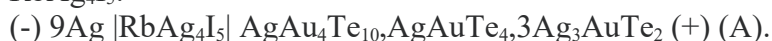
brichkina@iem.ac.ru; тел.: +7 (925) 350 81 59

FMUF-2022-0002

В системе Ag-Au-Te известны три трехкомпонентных фазы, существующие в природе в виде минералов: петцит (Ag_3AuTe_2), сильванит ($AgAuTe_4$) и креннерит (Ag_4AuTe_{10}). Равновесие этих фаз можно описать химической реакцией:



В ходе работы проведены измерения в электрохимической ячейке с твердым электролитом $RbAg_4I_5$:



Для температурного диапазона 360К-460К получена зависимость ЭДС (Е/мВ) в виде уравнения $E(A) = 0.18T + 131.4$.

Термодинамические функции изученной реакции (1) при $T = 298.15$ К и $p = 10^5$ Па:

$$\Delta G_r(1) = -160704 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}, \Delta_r H(1) = -114103 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}, \Delta_r S(1) = 156.3 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}.$$

ВЕСЭПМГ 2024 – 016

ЭПИТАКСИАЛЬНОЕ НАРАЩИВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО МАЛАХИТА НА ОБРАЗЦЫ ПРИРОДНОГО МАЛАХИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОЛВЕЗИ (ДР КОНГО)

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

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

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН 2022-0002

Эксперименты по наращиванию слоя синтетического малахита на природные образцы минерала проводили в растворах гидроокиси аммония 0.1 – 0.5 m NH₄OH в кристаллизаторах рециркуляционного типа. Установлено, что кристаллизация малахита происходит с малыми скоростями роста кристаллов (10 – 13 мкм/сутки). Характерной особенностью синтетического малахита является высокая плотность расположения кристаллов, отсутствие макропустот и свободных полостей с включениями кристаллизационного раствора. Наличие установленной анизотропии твердости второго рода малахита позволяет предположить возможность использования синтетического тонкокристаллического малахита для повышения износостойкости природного малахита, реставрации и восстановления редких образцов и изделий из малахита.

ВЕСЭПМГ 2024 – 017

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОСНОВНОГО
КАРБОНАТА МЕДИ В РАСТВОРАХ ГИДРООКИСИ АММОНИЯ**

**Бубликова Т.М., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН),
Терентьев А.А., Мумятова В.А. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН),
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 перекристаллизации основного карбоната меди в растворах гидроокиси аммония проводились в кристаллизаторах рециркуляционного типа в условиях градиента температур 45–50/70–75 °С (растворение/кристаллизация). Установлено, что в процессе перекристаллизации $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ в щелочных растворах 1.5–2.0 m NH_4OH происходит образование двух кристаллических фаз: малахита и тенорита. Методом растровой электронной микроскопии изучены морфология, форма и строение агрегатов синтезированных минералов. Показано, что синтезированный малахит представлен агрегатами радиально-волоконистой структуры, кристаллы малахита имеют призматический габитус. Тенорит сложен сфероподобными образованиями, состоящими из наноразмерных кристаллов пластинчатого облика. Исследование антибактериальных свойств синтезированных материалов, проведенное диско-диффузионным методом на грамотрицательных и грамположительных бактериях, показало, что образцы порошков тенорита и малахита вызывают подавление роста бактерий и проявляют таким образом антибактериальные свойства.

ПОСТАНОВКА МЕТОДИКИ ПО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ-ПОЛЛЮТАНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТВАЛОВ И ПЕРВЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

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

Были поставлены эксперименты по выщелачиванию элементов-поллютанты из техногенных отвалов, оставшихся после разработок месторождений, обогатительных фабрик и горнодобывающих предприятий для оценки влияния загрязнения на природные воды исследуемых рек и озер, и окружающей территории.

Были проведены две кинетические серии экспериментов с учетом особенностей отобранных проб и корректировкой самого эксперимента. Дополнительно проводился контроль изменения окислительно-восстановительных условий и фактора испарения раствора из системы. Для этого использовалось оборудование, измеряющее показатели pH, Eh и электропроводность (PH-200, ORP-200, COM-100 NM Digital соответственно).

Первые данные экспериментов показали, что данный метод можно использовать для проведения оценки влияния выщелачивая элементов-загрязнителей из техногенных отвалов, как антропогенный вклад в экосистему изучаемых территорий. Результаты эксперимента также позволяют провести предварительную оценку скорости и масштабов выщелачивания потенциально токсичных химических элементов из материала отвала. Первоначальные данные указывают на то, что даже не смотря на длительный срок экспозиции отвала, он, вероятно, может является источником поступления загрязнителей в природные воды района, и оказывает негативное влияние на экосистему района.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ РИХТЕРИТА/К-РИХТЕРИТА В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА K_2CO_3 -(+ Na_2CO_3)- CO_2 - H_2O ПРИ 5.0 ГПА

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

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

Поддержка: грант РФФ 23-27-00065

Минералом-индикатором, характерным для продуктов высокой степени мантийного метасоматоза (не считая флогопита) является рихтерит (Na) и К-рихтерит. Его образование, связанное с ростом активности щелочных компонентов, происходит в ходе реакции $8En + Di + [1/2K_2O + 1/2Na_2O + H_2O] = Rich/KRich + 2Fo$ в присутствии водно-углекислых флюидов и солевых компонентов. В рамках проекта была экспериментально изучена образовательная способность рихтерита/калиевого рихтерита в системе энстатит-диопсид в присутствии флюида K_2CO_3 -(+ Na_2CO_3)- CO_2 - H_2O , при температурах 700-900°C и давлении 5.0 ГПа.

Данная работа является продолжением предыдущих работ (выполненных при 3.0 ГПа) по экспериментальному изучению образования рихтерита/калиевого рихтерита.

Эксперименты были проведены на установке высокого давления НЛ-13Т в ИЭМ РАН им. Д.С.Коржинского, г.Черноголовка, Московская область.

Установлено, что образование К-рихтерита зависит как от $(K_2CO_3+Na_2CO_3)/(H_2O+CO_2)$, так и от $K_2CO_3/(K_2CO_3+Na_2CO_3)$ во флюиде. Высокая концентрация щелочных компонентов во флюиде приводит к разложению клинопироксена, образованию оливина, а также изменению компонентного состава пироксена и амфибола. При наибольшей концентрации щелочей во флюиде обменная реакция полностью выполняется.

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАГЕНЕЗИСОВ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ УЛЬТРАМАФИЧЕСКИХ
ЛАМПРОФИРОВ: ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВЫСОКИХ РТ ПАРАМЕТРАХ

Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Ван К.В. (ИЭМ РАН)

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

Поддержка: тема FMUF-2022-0001

Магматические щелочные породы с высоким содержанием летучих компонентов, такие как карбонатиты, лампрофиры, кимберлиты несут большой объём информации о поведении щелочных, редких и несовместимых элементов в различных оболочках Земли. Лампрофиры – очень большая и разнообразная группа пород, классификация которых сложна и неоднозначна (например, Le Maitre et al., 2002; Tarpe et al., 2005). В современной классификации лампрофирами принято считать субвулканические породы со вкрапленниками оливина, диопсида, пироксена, амфибола и флогопита, основная масса представляет собой те же минералы, а также хотя бы частичны первичный карбонат и перовскит. Однако, важно, что в лампрофирах отсутствует мелилит. Экспериментальное изучение щелочных пород позволяет выявить минеральные парагенезисы, кристаллизовавшиеся из исходных расплавов. Экспериментальные работы по плавлению вещества, в основном, касаются кимберлитов (Girnis et al., 1995, 2011) и частичного плавления карбонизированных перидотитов (Kei 1997, Brey et al., 2008).

Задачей данной работы является экспериментальное изучение парагенезисов, характерных для ультрамафических лампрофиров (айликитов) Сибирского кратона при давлениях 4 и 5 ГПа и температурах 1100 – 1500^oС. Подобные эксперименты позволяют выявить минеральные парагенезисы при различных давлениях и подтвердить полученные термодинамические условия образования айликитов. Эксперименты проведены на установке типа «наковальня с лункой» НЛ-13Т в Институте экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН (ИЭМ РАН).

В результате плавления айликитов при 4 и 5 ГПа выявлены минеральные парагенезисы, характерные для различных РТ условий, обозначены основные парагенезисы системы, смена парагенезисов в зависимости от наличия флюида (щавелевой кислоты) в системе, а также выявлены некоторые закономерности химических составов минералов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ РИХТЕРИТА/К-РИХТЕРИТА В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА K_2CO_3 -(+ Na_2CO_3)- CO_2 - H_2O ПРИ 5.0 ГПА

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

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

Поддержка: грант РФФ 23-27-00065

Минералом-индикатором, характерным для продуктов высокой степени мантийного метасоматоза (не считая флогопита) является рихтерит (Na) и К-рихтерит. Его образование, связанное с ростом активности щелочных компонентов, происходит в ходе реакции $8En + Di + [1/2K_2O + 1/2Na_2O + H_2O] = Rich/KRich + 2Fo$ в присутствии водно-углекислых флюидов и солевых компонентов. В рамках проекта была экспериментально изучена образовательная способность рихтерита/калиевого рихтерита в системе энстатит-диопсид в присутствии флюида K_2CO_3 -(+ Na_2CO_3)- CO_2 - H_2O , при температурах 700-900°C и давлении 5.0 ГПа.

Данная работа является продолжением предыдущих работ (выполненных при 3.0 ГПа) по экспериментальному изучению образования рихтерита/калиевого рихтерита.

Эксперименты были проведены на установке высокого давления НЛ-13Т в ИЭМ РАН им. Д.С.Коржинского, г.Черноголовка, Московская область.

Установлено, что образование К-рихтерита зависит как от $(K_2CO_3+Na_2CO_3)/(H_2O+CO_2)$, так и от $K_2CO_3/(K_2CO_3+Na_2CO_3)$ во флюиде. Высокая концентрация щелочных компонентов во флюиде приводит к разложению клинопироксена, образованию оливина, а также изменению компонентного состава пироксена и амфибола. При наибольшей концентрации щелочей во флюиде обменная реакция полностью выполняется.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АТАКАМИТА ИЗ ПАЛЕОФУМАРОЛ МОНОГЕННОГО
ВУЛКАНА – КОНУС ВЫСОТА 1004 (ТОЛБАЧИК, КАМЧАТКА, РОССИЯ)

Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В., Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ),

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

Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ)

vigasina55@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 13 49

Процесс термического разложения атакамита $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ исследован на дериватографе «Q-1500D» (Венгрия) с привлечением методов порошковой рентгенографии и ИК-спектроскопии. На термогравиметрической кривой зафиксирован многостадийный процесс потери массы: при 100–300°C (~3.1%), при 300–420°C (~16.5%), при 420–515°C (~5.4%) и при 515–1000°C (~37.5%), суммарно – 62.5%. На ДТА-кривой зарегистрированы соответствующие эндотермические эффекты ($t_{\text{max}}=340, 470^\circ\text{C}$), экзотермический эффект при 500–900°C ($t_{\text{max}}=790^\circ\text{C}$). На основании данных рентгенографического и ИК-спектроскопического изучения продуктов постадийного преобразования атакамита его разложение происходит следующим образом: при нагревании до 300°C минерал теряет воду с образованием оксида меди CuO и промежуточной фазы – оксихлорида меди Cu_2OCl_2 , разлагающегося при 450–530°C с образованием кислорода и монохлорида меди CuCl , который возгоняется в интервале 500–1000°C. Весь процесс термического преобразования атакамита может быть описан суммарной химической реакцией: $4\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3=4\text{CuO}+4\text{CuCl}\uparrow+\text{O}_2\uparrow+6\text{H}_2\text{O}\uparrow$. Потеря массы в соответствии с реакцией составляет 62.8% за счет удаления летучих компонентов, в том числе и монохлорида меди CuCl , что согласуется с результатами проведенного нами термогравиметрического анализа изученного образца.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ И ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДЕСТИНЕЗИТА
 $\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Вигасина М.Ф., Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ),
Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН),
Дедушенко С. К. (НИТУ МИСИС), Ксенофонтов Д.А., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)
vigasina55@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 13 49

Природный водный основной сульфатофосфат железа $\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ является гипергенным вторичным минералом – продуктом сернокислотного выветривания сульфидо- и фосфатоносных пород. Исследования выполнены на образце из карьера Высочаны (Чехия). На основании результатов электронно-зондового и термического анализов, ИК, КР и мёссбауэровской спектроскопии кристаллохимическая формула изученного дестинезита имеет вид: $(\text{Fe}^{3+}_{1.97}\text{Al}_{0.02})(\text{PO}_4)_{0.99}(\text{SO}_4)_{0.90}(\text{OH})_{1.20}\cdot 5.97\text{H}_2\text{O}$ и соответствует теоретическому составу дестинезита. Методом расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве «Setaram» (Франция) определена энтальпия образования дестинезита $\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ из элементов $\Delta_f H^0(298.15 \text{ K}) = -4258 \pm 12$ кДж/моль. Оценено значение его абсолютной энтропии $S^0(298.15 \text{ K}) = 462.0$ Дж/(моль·К), рассчитаны энтропия образования $\Delta_f S^0(298.15 \text{ K}) = -2054$ Дж/(моль·К) и энергия Гиббса образования из элементов $\Delta_f G^0(298.15 \text{ K}) = -3646$ кДж/моль. Полученные нами первые данные по энтальпии образования дестинезита могут быть рекомендованы для внесения в международную базу термодинамических констант минералов и использованы при моделировании процессов вторичного минералообразования при сернокислотном выветривании сульфидо- и фосфатоносных пород в зоне гипергенеза.

ВЕСЭПМГ 2024 – 024

КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ В КАРБОНАТ-ОКСИДНЫХ СМЕСЯХ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

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

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

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 21-77-10057)

В экспериментах при высоких давлениях широко распространен прием моделирования геологических систем с помощью химических реагентов. Считается, что карбонат-оксидные смеси реагируют достаточно быстро, поэтому длительность экспериментов с ними выбирается исходя из технических особенностей и удобства исследователя и часто не превышает 24 часов. В нашей работе показано, что для достижения равновесия в карбонат-оксидной смеси может потребоваться значительно больше времени. Кроме того, в результате быстрых экспериментов возможно получение метастабильных фаз. Их состав значительно отличается от состава стабильных фаз, а количество не всегда можно считать пренебрежимо малым, из-за чего могут возникать ошибки в интерпретации результатов экспериментов. На примере реакций в системе $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ в работе продемонстрированы варианты получения метастабильных фаз и их изменения при увеличении длительности экспериментов.

ВЕСЭПМГ 2024 – 025

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ СОХРАНЕНИЯ ВОДЫ В ОЛИВИНАХ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ НАГРЕВЕ В ГЕЛИИ ДО 1000°C

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

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

С помощью газовой хроматографии сделана количественная оценка выделения воды при ступенчатом нагреве в гелии до 1000°C оливинов из Авачитов (Камчатка) и кимберлитов трубки Мир (Якутия). Методами КР- и ИК спектроскопии рассмотрен процесс перестройки кристаллической структуры минералов в ходе теплового метаморфизма без доступа кислорода, сопровождающийся выделением гематита, Fe₂O₃. На примере оливинов, кристаллизующихся из магмы с различной фугитивностью кислорода, fO₂, показана структурная роль гидроксильных групп –ОН и железа переменной валентности Fe²⁺/Fe³⁺. Проведен анализ пространственного распределения гематита на поверхности Луны по данным прибора МЗ Чандраян-1 (Индия) и сделана привязка к выходам магматических пород.

ЭПР ИССЛЕДОВАНИЕ АМБЛИГОНИТА ИЗ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ
ВОРОНЬИХ ТУНДР (КОЛЬСКИЙ П-ОВ, РОССИЯ)

Вяткин С.В. (*геол. ф-т МГУ*),

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

vyt_box@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 38 43

Методом ЭПР спектроскопии исследован образец амблигонита состава $\text{Li}_{1.12}\text{Al}_{0.98}(\text{PO}_4)_{1.02}\text{F}_{0.47}(\text{OH})_{0.53}$. Зарегистрированы парамагнитные центры: дырочный $\text{Al} - \text{O}^- - \text{Al}$ ($g = 2.015$, константа суперсверхтонкого взаимодействия $A_{\text{сств}} = 7.83$ Гс) и электронный $(\text{OH}/\text{F}) - \text{Ti}^{3+} - (\text{OH}/\text{F})$ ($g = 1.943$, $A_{\text{сств}} = 8.5$ Гс). Ранее описанные центры этого типа, согласно литературным данным, были получены в результате воздействия лабораторного ионизирующего облучения. В настоящем исследовании впервые были зарегистрированы такие ЭПР-центры, образовавшиеся в значительных количествах в природных условиях при длительном нахождении образца в породах, содержащих радиоактивные изотопы, что согласуется с возрастом этих вмещающих пород (≈ 2.6 млрд. лет). Полученные данные демонстрируют возможность использования амблигонита в качестве минерала-геохронометра в методиках ЭПР-датирования. Сильный дисбаланс в интенсивностях линий двух парамагнитных центров и, соответственно, в их концентрациях (кратное превышение O^-), доказывает несостоятельность предполагаемой ранее модели перехода электронов от O^- центров именно к Ti^{3+} при природном или лабораторном облучении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЧАРОИТЕ

Гавриличева К.А., Баркалов О. И., Ионов А. М. (ИФТТ РАН),
 Шулятев Д. А. (НИТУ МИСИС)
xenia.gavrilicheva@issp.ac.ru

Проведены исследования превращений, происходящих в чароите при нагреве методами масс-спектрометрии, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК-ТГ), рентгеновской дифракции и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Нагрев чароита приводит к потере кристаллизационной воды, при 500÷800°C происходит разложение карбонатной составляющей минерала с выделением CO₂. При температурах выше 800°C начинается превращение чароита в псевдоволластонит [1], завершающимся плавлением псевдоволластонитной фазы при температуре около 1100°C.

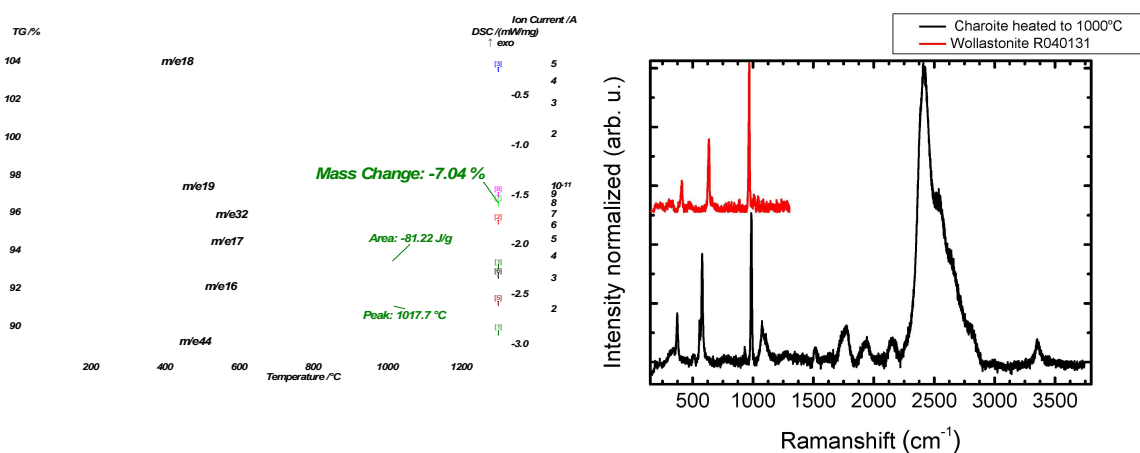


Рис.1. Спектры ДСК-ТГ и КРС чароита после нагрева

Однофазное состояние исходного чароита и плавленого образца было подтверждено рентгеновской дифракцией и КРС спектроскопией. В спектрах КРС как исходного, так и конечного состояний наблюдалась полоса 2300÷3000 см⁻¹ ($\lambda \sim 610$ нм), вызванная люминесценцией элементов, входящих в состав чароита и псевдоволластонита.

Литература

1. M. V. Marchuk et al., Geodynamics & Tectonophysics 2016. Vol. 7. Issue 1. P/ 105–118.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЦИРКОНА В ИМПАКТИТАХ ЛОГОЙСКОЙ СТРУКТУРЫ
(БЕЛОРУССИЯ)

Глазовская Л.И. (*геол. ф-т МГУ*),
Пиразев А.А. (*хим. ф-т МГУ, ИПХФ РАН, Черноголовка*),
Щербаков В.Д. (*геол. ф-т МГУ*)

Преобразование циркона в импактитах Логойской структуры включает в себя образование гранулярных текстур, переход циркона в рейдит - высокоплотную модификацию циркона, образование планарных элементов и распад циркона на ZrO_2 и SiO_2 (Glazovskaya et al., 2024). Присутствие в импактитах Логойской структуры зерен полностью гранулированного циркона с импактным расплавом между кристаллитами позволяет оценить температуру импактного расплава как превышающую $2000^\circ C$.

Нами получены петрологические доказательства плавления циркона в зювитах Логойской структуры. В каймах циркона из матрицы зювитов доказаны диаплектовые и плавленные стекла по циркону методом микрорамановской спектроскопии. До этого были известны только косвенные свидетельства плавления циркона в природных импактитах: кристаллизация бадделеита из импактного расплава (Болтышский кратер), нахождение доменов циркона не соответствующих по ориентировке кристаллическому циркону и рейдиту (метод EBSD картирования для циркона из импактитов структуры Вредефорт, ЮАР). Аморфизация циркона была достигнута под давлением в 60 GPa в экспериментах до полного отсутствия спектральных полос рамановской спектроскопии в периферических частях и каймах (Gucsik A., et al., 2002). Аморфизация циркона в виде диаплектового стекла была также найдена в импактном цирконе из расслоенного массива Ярва-варака (Кольский полуостров) (Каулина Т.В. и др., 2017).

ЕДИНЫЙ ДЛЯ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ И БЕЗВОДНЫХ СИСТЕМ ПЛАГИОКЛАЗОВЫЙ
ЛИКВИДУСНЫЙ КОМПОЗИТОМЕТР

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

На основании литературных источников сформирована выборка водонасыщенных экспериментов с известным и не известным содержанием воды в расплаве, а также водосодержащих и безводных экспериментов, воспроизводящих равновесие плагиоклаз-расплав, содержащая результаты 841 закалочных опытов, характеризующих силикатные системы в широком диапазоне интенсивных параметров. Для водонасыщенных экспериментов, в которых не было указано содержание воды в расплаве, содержание воды было рассчитано на основании предложенного нами ранее уравнения.

В результате оптимизации получен плагиоклазовый композитометр, (система уравнений) воспроизводящий содержание главных миналов с точностью не хуже, чем ± 2.3 мол. % на 95% уровне доверия для всех экспериментов как в сухих, так и в водосодержащих системах. Композитометр верифицирован путем сравнения рассчитанных и экспериментальных составов и температур ликвидуса плагиоклаза. Ширина доверительного интервала оценки температуры с вероятностью 95% не превышает значения ± 4.5 °С. Средние отклонения расчётных концентраций миналов от экспериментальных в мол. % не превышают 0.224, что свидетельствует о несмещённости оценки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ С-О-Н-S ФЛЮИДА НА ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ БАЗАЛЬТ-(FeS+Fe): МЕТАЛ-СУЛЬФИДНОЕ РАССЛОЕНИЕ FeS-Fe-C РАСПЛАВА, МЕЖФАЗОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИДЕРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

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

Экспериментально изучено влияние флюида С-О-Н-S состава на фазовые соотношения в системе базальт-(FeS+Fe) при 1250°C, 0.5 ГПа. Эксперименты проводили на УВГД в ИЭМ РАН в Pt ампулах, футерованных графитом. В качестве стартовых составов использовали стекло мокулаевского базальта Сибирского траппа (75%), смесь синтетического пирротина и металлического железа в соотношении 2 : 1 (21.5%), с добавлением металлических Re, Os, Co, Ni (0.5%) и S-содержащей нефти (3%) в качестве источника С-О-Н-S флюида. При плавлении исходной смеси силикатный расплав сосуществовал с сульфидным расплавом, претерпевшим расслоение на Fe-сульфидную (Ms) и Fe-металлическую (Mc) жидкости. Mc расплав обогащался сильно сидерофильными элементами Re, Os, с $D_{Mc/Ms} > 1000$, и умеренно сидерофильными элементами Co, Ni с $D_{Mc/Ms} < 500$. Наблюдалось насыщение Mc расплава Re и Os с выделением в Mc матрице избыточной фазы переменного Fe-Re-Os состава. Результаты проведенных исследований показали, что нефть является надежным источником С-О-Н-S флюида с восстановительными свойствами, оказывая эффективное и сложное влияние на фазовый состав рудной фракции.

ВЕСЭПМГ 2024 – 031

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ХОНДРИТОВОЙ СТРУКТУРЫ МЕТЕОРИТОВ**

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

Проведенные эксперименты были направлены на моделирование хондритовой структуры каменных метеоритов с использованием модельного состава, состоящего из металлических, оксидных и силикатных фаз, отвечающему углистым хондритам C1. Эксперименты проводили в герметически заваренных Pt ампулах, футерованных графитовой капсулой на установке высокого газового давления с водородной поддержкой, в присутствии обогащенного водородом флюида при $T=1000^{\circ}\text{C}$, $P=1$ кбар в ИЭМ РАН. Экспериментальные образцы состояли из микрозернистой матрицы полиминерального состава с включениями глобуль базальтового силикатного стекла (хондр), овальной формы Fe-Ni металлических и Fe-сульфидных фаз. Структура закаленных образцов, их фазовый состав сходны со структурой хондритов.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ САНТАБАРБАРАИТА ИЗ КАМЫШ-БУРУНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, КРЫМ

Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Огородова Л.П., Вигасина М.Ф., Ксенофонтов Д.А., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ),

Дедушенко С.К. (НИТУ МИСИС)

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

Сантабарбарайт – аморфный водный основной фосфат трёхвалентного железа $\text{Fe}^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, образует псевдоморфозы по кристаллам **вивианита** $\text{Fe}^{+2}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в процессе его окисления. Природный образец из Камыш-Бурунского железорудного месторождения (Крым) был изучен методами микронзондового и термического анализов, ИК и мёссбауэровской спектроскопии. По данным проведенного физико-химического исследования изученный минерал имеет состав (мас.%): 0.92 Na_2O , 0.33 K_2O , 0.76 MgO , 45.07 Fe_2O_3 , 29.42 P_2O_5 , 23.5 H_2O . Рассчитанная на сумму атомов металлов и фосфора ($\Sigma=5$) химическая формула сантабарбарайта $(\text{Fe}^{3+}_{2.74}\text{Mg}_{0.09}\text{Na}_{0.14}\text{K}_{0.03})_{\Sigma=3.00}(\text{PO}_4)_{2.00}(\text{OH})_{2.57} \cdot 5.02\text{H}_2\text{O}$ близка к теоретической $\text{Fe}^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. На микрокалориметре Кальве методом растворения в расплаве состава $2\text{PbO} \cdot \text{V}_2\text{O}_3$ получены первые данные по энтальпии образования из элементов сантабарбарайта теоретического состава $\text{Fe}^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: -4900 ± 12 кДж/моль. Оценено значение абсолютной энтропии сантабарбарайта (494.4 Дж/(моль·К)) и рассчитана величина энергии Гиббса его образования: -4257 кДж/моль.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ВОДНОГО ОСНОВНОГО
ФОСФАТА ЖЕЛЕЗА – САНТАБАРБАРАИТА

Гриценко Ю.Д. (*геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН*), **Мельчакова Л.В.,**
Вигасина М.Ф., Ксенофонтов Д.А., Огородова Л.П. (*геол. ф-т МГУ*)

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

Для исследования выбран образец сантабарбараита из Камыш-Бурунского месторождения (Керчь, Крым). Термический анализ проведен на дериватографе «Q – 1500D» (Венгрия) в интервале температур от комнатной до 800°C со скоростью нагревания 20°/мин, масса образца составляла 192.0 мг. На термогравиметрических кривых зарегистрировано два этапа потери массы: при 60–300°C ($t_{\max} \sim 150^\circ\text{C}$) удаление молекулярной воды, при 300–800°C ($t_{\max} \sim 375$ и $\sim 420^\circ\text{C}$) удаление оставшейся воды и ОН-групп. Суммарная потеря массы составила 23.5%. На кривой ДТА зафиксировано два эндотермических эффекта, связанных с процессами дегидратации и дегидроксилирования сантабарбараита, и несколько экзотермических эффектов в интервале 630–800°C. На ИК-спектре образца после нагревания до 800°C зарегистрировано полное отсутствие воды и гидроксильных групп в образце и присутствие вновь образованной фазы со структурой граттаролаита $\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)$. Рентгendifракционный спектр образца, прокаленного при 850°C зарегистрировал наличие трёх фаз – гематита, родоликита FePO_4 и граттаролаита $\text{Fe}_3^{3+}\text{O}_3(\text{PO}_4)$, диагностированных в соответствии с базой данных ICDD (The International Centre for Diffraction Data, 2013).

ПРОСТРАНСТВЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ КОРОН-ИСТОЧНИКОВ
ВУЛКАНИЗМА И ВУЛКАНОВ ВЕНЕРЫ

Гусева Е.Н., Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН)

guseva-evgeniya@ya.ru

Мы проанализировали особенности пространственного распределения: корон, крупных кольцевых структур, поверхностных проявлений магматических диапиров и вулканов, центров активности с расходящимися из них лавовыми потоками.

Изучаемые структуры являются источниками потоков лопастных равнин – наиболее молодых проявлений эндогенной активности на планете. Короны-источники составляют ~ 17% от всех корон Венеры. Они характеризуются тремя топографическими классами (D, W, U), которые соотносятся со стадиями эволюции этих структур. Вулканы на Венере также характеризуются тремя топографическими классами: наиболее крупные уплощенные ($d \sim 360-740$ км), средние ($d \sim 185-425$ км) и малые ($d \sim 70-240$ км) конические.

Цель исследования – определить основные области распространения изучаемых структур на поверхности Венеры и установить возможную генетическую связь в их формировании.

Нами выявлено, что: (1) короны-источники, крупные уплощенные и средние вулканы конической формы распространены на поверхности Венеры преимущественно в двух областях БАФ (Бета-Атла-Фемида) и Эйстлы; (2) сводовые короны-источники (D класса) и крупные уплощенные вулканы часто пространственно связаны на поверхности Венеры и, вероятно, такие вулканы представляют собой переходные формы рельефа от корон к вулканам.

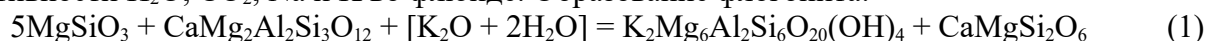
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ФЛОГОПИТИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ГРАНАТ-ЭНСТАТИТ-ОЛИВИН В ПРИСУТСТВИИ CO₂-H₂O-KCl ФЛЮИДА ПРИ 5 ГПа И 1100°C

Давыдов А.А., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН)

davydov_andrey@internet.ru; тел.: 8 (496) 522 58 51

Поддержка: FMUF-2022-0001

Модальный мантийный метасоматоз – взаимодействие пород мантии с флюидами и расплавами с изменением составов первичных минералов и образованием новых, в первую очередь – флогопита (главный минерал-индикатор процесса). Факторы флогопитизации: активности H₂O, CO₂, Na и K во флюиде. Образование флогопита:



В предшествующих экспериментах использовались синтетические компоненты, в природных же минералах встречаются зональность и случайные вариации составов, поэтому в системе с перетертыми природными оливином, ортопироксеном и гранатом (60:25:15) из УО ксенолитов кимберлитовой трубки, щавелевой кислоты (источник H₂O и CO₂) и KCl в качестве солевого компонента проводились эксперименты на установке высокого давления «наковальня с лункой» (5 ГПа, 1100 °С, выдержка 24 часа). Продукты изучались на электронном зонде (20кВ, 20.0±0.1 нА). Изучены фазы, их соотношения и закономерности составов.

ИНТЕРМЕТАЛЛИДЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФУГИТИВНОСТИ

Девятова В.Н., Симакин А.Г. (ИЭМ РАН)

simakin@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 53

В серпентенизированных передотитах широко распространёнными аксессуориями являются интерметаллические соединения: Fe-Ni, Pt-Fe, Cu-Au и др. Появление сплавов связывается с восстановленной обстановкой, возникающей при взаимодействии океанической коры и водного флюида. Находка интерметаллидов может служить индикатором температуры и fO_2 одной из стадий серпентенизации. Оценку температуры, можно провести для пары интерметаллидов различного состава. Например, Fe-Ni и Fe-Co, Fe-Ni - Fe-Pt с учетом фазовой диаграммы трехкомпонентной системы. Оценка максимальной фугитивности кислорода при серпентенизации проводится по равновесию $Me^{alloy} + O_2 = Me_xO_y$. Активность металла в сплаве оценивается по уравнению $RT \ln \gamma_{me1} = G_{alloy}^{ex} + (1-x_{me1})(dG_{alloy}^{ex}/dx_{me1})_{P,T}$ с использованием расчетных значений $G_{alloy}(X)$. По описанной методике оценена температура и fO_2 для найденного нами в офиолитах Рай Иза сростка интерметаллидов $Ni_{0,67}Fe_{0,33}$ и $Fe_{0,57}Co_{0,43}$. Наилучшее согласование составов сосуществующих интерметаллидов получено для $T \approx 200-300^\circ C$. Фугитивность кислорода для этих условий не превышала QFM-2.6.

РАСТВОРЕННЫЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В РЕКАХ И ОЗЕРАХ

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

[drozdova@geol.msu.ru](mailto:drozдова@geol.msu.ru); тел.: 8 (495) 930 29 61

При поддержке РНФ, проект № 21-77-10028

Редкоземельные элементы (РЗЭ) являются незаменимыми для некоторых технологических производств (в радиоэлектронике, приборостроении, атомной технике и др.), так как обладают уникальными свойствами. Антропогенная деятельность может привести к повышению уровня этих элементов в поверхностных водах. В этом исследовании изучались геохимические характеристики и нормированные закономерности содержания РЗЭ в 16 пробах вод, взятых из рек и озер умеренных и бореальных регионов России. Для измерения концентрации растворенных РЗЭ использовали масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой. Получено, что исследованные воды содержат типичный набор РЗЭ, соответствующий правилу Оддо-Харкинса, при этом легкие РЗЭ присутствуют в большем количестве, чем тяжелые. Между концентрациями РЗЭ, растворенным органическим углеродом и железом наблюдалась положительная корреляция в водах озер, что указывает на потенциальную роль органоминеральных коллоидов в транспорте РЗЭ. Также наблюдались отчетливые аномалии Се и Еи, связанные с окислительно-восстановительными процессами и вкладом подземных вод. Это исследование способствует пониманию динамики РЗЭ в пресноводных экосистемах и подчеркивает важность дальнейших исследований для оценки долгосрочного воздействия на окружающую среду.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЯХ ЖЕЛЕЗОКАМЕННОГО ЯДРА
ТИТАНА

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

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

Плотность Титана 1881.46 кг/м^3 указывает на примерно равные массовые пропорции водно-ледяного и каменного вещества в составе спутника. Кроме того, в состав Титана может входить значительное количество органического вещества (ОВ), которое имеет широкую распространенность на объектах Солнечной системы. Низкая плотность ($1300\text{-}2200 \text{ кг/м}^3$), сравнительно низкая вязкость, равномерное распределение и предполагаемое высокое содержание ОВ в железокластическом веществе спутника должны, вероятно, влиять на плотность, реологические характеристики и тепловой режим его внутреннего ядра.

В работе построены тепловые модели железокластического ядра Титана C1 или L/LL хондритового состава с примесью низкоплотной органической компоненты. Рассмотрена возможность и определены основные параметры тепловой конвекции в ядре. В соответствии с полученным распределением температуры рассмотрены вероятные формы нахождения и рассчитана плотность органического вещества. Проведен анализ возможной внутренней структуры спутника и получены оценки допустимых значений содержания ОВ в Титане.

Р-Т ПАРАМЕТРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИСХОДНОЙ МАГМЫ МОНЧЕГОРСКОГО КОМПЛЕКСА В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Еремин Д.Д. (МГУ), Арискин А.А. (МГУ, ГЕОХИ РАН), Соболев С.Н. (ГЕОХИ РАН), Коротаяева Н.Н. (МГУ)

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

Информация о параметрах исходной магмы Мончегорского комплекса «записана» в составах минералов из наиболее примитивных пород, вскрытых структурной скважиной М1 (глубиной 2,5 км) на границе Мончеплутона и габбро-анортозитового массива Мончетундры. На глубине 2037-2377 м эта скважина пересекает тело ультрабазитов, которое рассматривается в качестве подводящего канала Мончеплутона (Смолькин и др., 2022). Представлены результаты исследований составов пород и породообразующих минералов из 21 образца по разрезу этого 340-м тела. Полученные данные показывают, что наиболее магнезиальные феррические минералы (Ol, Орх и Срх, mg# до 91) характерны для гарцбургитов, слагающих центральную часть данного тела. Аналогично распределение хромистости шпинели. Используя 11 популярных термобарометрических моделей, описывающих равновесия Орх-Срх, Ol-Sp и состав ликвидусного Срх, получены оценки вероятного давления и температуры при кристаллизации наиболее примитивной исходной магмы. В отношении давления оценки варьируют от 2 до 5 кбар при стандартных отклонениях примерно от 0,4 до 3 кбар.

ВЕСЭПМГ 2024 – 040

НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД - ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЛОИДНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

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

vil@igem.ru; тел.: 8 (499) 230 84 21

Разработан новый метод, позволяющий в одном эксперименте установить проницаемость образцов и параметр Клинкенберга, который характеризует структуру порового пространства пород. На основе этих данных можно выявить распределение эффективных диаметров проходного сечения поровых каналов (математического ожидания и среднеквадратического отклонения).

Проверка метода выполнена на образцах участка Нижнеканского массива, где ведутся исследования по созданию подземного хранилища остеклованных высокоактивных отходов, ВАО. При контакте стекломатрицы ВАО и подземных вод образуются актинид-содержащие коллоиды. Показано, что более 99% таких частиц будет задержана породами данного участка, что имеет большое значение для долговременной безопасности хранилища.

СИНТЕЗ АЛМАЗА ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ АНТРАЦЕНА В ПРИСУТСТВИИ Fe-Ni-РАСПЛАВА ПРИ ВЫСОКИХ P-T ПАРАМЕТРАХ

Жимулев Е.И., Сонин В.М., Чепуров А.И., Чепуров А.А. (ИГМ СО РАН)

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

Работа выполнена при финансовой поддержке: грант РФФ № 23-27-00129

Ключевым вопросом в генезисе природных алмазов является источник углерода. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются доминирующим углеродсодержащим компонентом в межзвездной среде галактик. Можно предположить, что и при аккреции Земли участвовали ПАУ, при этом происходило удаление флюидной фазы, а твердый углерод мог быть задействован в генезисе алмазов.

Проведены двухстадийные эксперименты с исходным источником углерода в виде антрацена в присутствии Fe-Ni-расплава при 5.5 ГПа, 1450°C. Первая стадия заключалась в разложении антрацена с образованием графита и удалением флюидной фазы, т. к. выделяющийся флюид может оказывать отрицательное воздействие на синтез алмаза. Во время второй стадии экспериментов из новообразованного графита получен алмазный агрегат. Морфология синтезированных алмазов типична для кристаллов, выращиваемых в системе Fe,Ni – графит, а именно представляет комбинацию форм {111}, {100}, {311}.

Таким образом, образующийся из антрацена графит имеет высокую степень структурной упорядоченности, достаточной для синтеза из него алмазной фазы при 5.5 ГПа в присутствии Fe,Ni-расплава, поэтому при удалении флюида из зоны реакции возможна кристаллизация алмаза.

ЭФФЕКТ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ТЕМПЕРАТУРНОМ ГРАДИЕНТНОМ ПОЛЕ

Зуев Б.К., Зайцева А.Е. (ГЕОХИ РАН)

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

В процессе исследования термодеструкции полипропилена методом окситомографии был обнаружен эффект перемещения вещества в градиентном температурном поле. При введении образца в высокотемпературный реактор, находясь в градиентном температурном поле, образец переходил из твердого в жидкое состояние, а затем в виде «жидкой капли» остается на поверхности кварцевой трубки, держателя лодочки, куда первоначально помещали образец. «Капля» в пространстве оставалась на месте, а держатель лодочки, к которому прикреплялась капля, перемещался. Капля относительно кварцевой трубки перемещается из области с большой температурой в область с меньшей температурой (см. фото прикрепленное к тезисам). Эффект напоминает явление открытое П.Л. Капицей – «сверхтекучесть гелия».

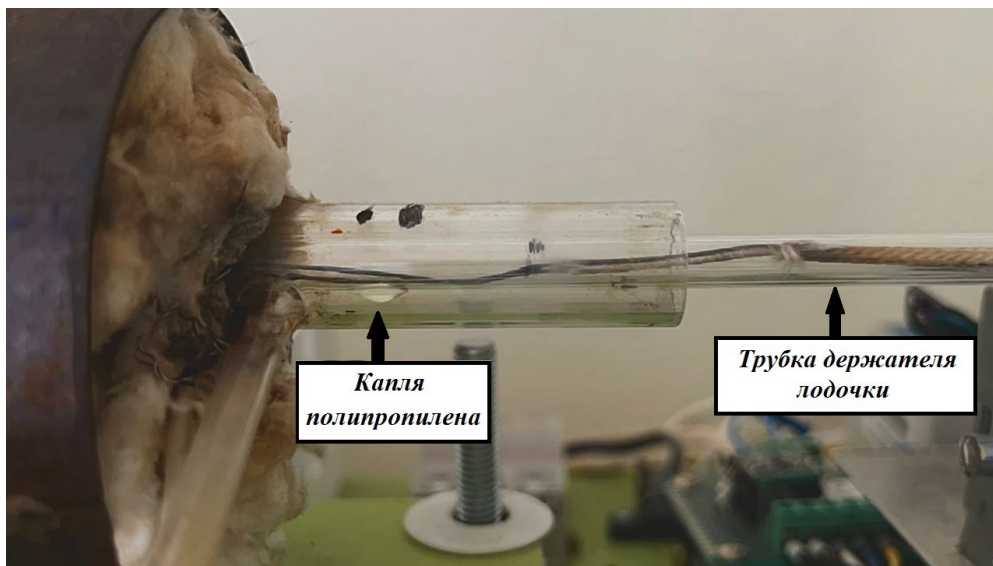


Фото капли ПП на держателе лодочки в виде кварцевой трубки. Капля остается в пространстве, отмеченном черными линиями, нанесенными на внешнюю сторону кварцевой трубки реактора. Держатель лодочки (кварцевая трубка) перемещается внутрь печи реактора.

Капля ПП находится в градиентном температурном поле, незначительно меняя свое положение в пространственном диапазоне.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
АКВАКОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Иванова А.Н., Москаленко И.В., Новиков А.С. (Университет ИТМО)

anivanova@itmo.ru; тел.: 8 (906) 220 79 85

Как известно, значительное накопление тяжелых металлов наблюдается в заливах, находящихся под влиянием сточных вод предприятий. Тритий, являясь одним из продуктов деления ядер и активации дейтерия потоком нейтронов на энергетических предприятиях, выделяется в окружающую в составе воды. Поэтому остается актуальной задача защиты окружающей среды от техногенных загрязнений.

Цель работы - выявить термодинамические характеристики аквакомплексов металлов в зависимости от изотопного состава, температуры и давления. Для этого предложена квантово-химическая модель для расчета термодинамических характеристик на примере аквакомплексов кобальта как в легкой воде, так и в тяжелой и сверхтяжелой воде. Расчеты параметров изучаемых соединений проведены с использованием теории функционала плотности, уровень теории PBE0. Использовались следующие базис сеты: def2-SVP, def2-TZVPPD, 6-311G*. Расчеты были проведены в программе ORCA 5.0.4. По полученным данным разработан комплексный подход к выявлению роли лигандов различных изотопмеров в реакциях комплексообразования.

Работа была выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса» НИЦ «Курчатовский институт», <http://ckp.nrcki.ru/>

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КРУПНЫХ
ВУЛКАНОВ ВЕНЕРЫ

Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН), Хэд, Дж.У. (Университет Брауна, США)
mikhail_ivanov@brown.edu; тел.: 8 (495) 137 49 95

Крупные вулканы Венеры (>100 км) представляют важный компонент ее вулканической эволюции. Форма вулканов, отражающая совокупное действие основных факторов вулканической активности, меняется в широких пределах. Важной проблемой, связанной с формированием крупных вулканов, является их морфологическая и топографическая классификация: (1) существуют ли отчетливые группы вулканов? или (2) они образуют непрерывный морфо-топографический ряд образований? В первом случае можно предположить, что рост вулканов контролировался специфическими комбинациями внешних и внутренних факторов. Во втором, можно говорить о том, что факторы, влияющие на рост вулканов, менялись постепенно. Мы провели многомерный статистический анализ форм вулканов методами анализа главных компонент и дискриминантных функций. В качестве входных параметров использовались независимые морфометрические переменные, такие как диаметр вулканов, их высота, диаметр кальдеры, высота основания вулкана. Результаты анализа позволили выделить три отдельные группы крупных вулканов, значительно различающихся по общей форме. Это указывает на большую вероятность первого предположения о том, что определенные сочетания факторов контролировали рост крупных вулканов на Венере.

МОЩНОСТЬ МОРСКОГО ЗАПОЛНЕНИЯ МОРЯ ИЗОБИЛИЯ НА ЛУНЕ

**Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН), Хэд, Дж.У. (Университет Брауна, США),
Хизенгер, Х. (Мюнстерский Университет, ФРГ)**
mikhail_ivanov@brown.edu; тел.: 8 (495) 137 49 95

Мощность морского заполнения лунных бассейнов представляет собой важную характеристику вулканической эволюции Луны. Мы оценили мощность вулканитов в регионе Моря Изобилия, где совершила посадку станция Луна-16, используя спектральные, морфометрические и статистические методы. В окрестностях места посадки видны полузатопленные кратеры в интервале диаметров 10-20 км. Их морфометрические параметры позволяют оценить мощность морского заполнения величинами от 30 до 150 м вблизи места посадки. В других местах Моря Изобилия видны крупные затопленные кратеры диаметром десятки километров. Сравнение их глубины с глубиной не затопленных кратеров на материковой местности дает величину мощности вулканитов от 1.8 до 2 км. В региональном масштабе, Море Изобилия демонстрирует заметный дефицит кратеров диаметром менее 128 км по сравнению с типичной материковой местностью. Дефицит таких кратеров позволяет оценить мощность морского заполнения в региональном масштабе величиной 1.5 км. Значительные вариации мощности, вероятно, отражают крайне изменчивый рельеф подстилающей поверхности, а также разную длительность вулканических фаз, формировавших морское заполнение Моря Изобилия.

ВЕСЭПМГ 2024 – 46

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТРОЙНЫХ ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ H₂O-CO₂-NaCl И H₂O-CO₂-CaCl₂ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУР 150-350°C И ДАВЛЕНИЙ 0.2-1.4 КБАР

Иванов М.В. (ИГГД РАН)

m.v.ivanov@ipgg.ru; тел.: 8 (962) 698 07 95

Исследование выполнено в рамках темы НИР ИГГД РАН FMUW-2021-002

Созданы численные термодинамические модели тройных флюидных систем H₂O-CO₂-NaCl и H₂O-CO₂-CaCl₂ для температур ниже критической точки воды и давлений от 0.2 до 1.4 кбар. Модели сформулированы в терминах свободной энергии Гиббса. Для краевой системы H₂O-CO₂ разработана термодинамическая модель, основанная на уравнении Ван-Лаара. Описание бинарных краевых системы H₂O-NaCl и H₂O-CaCl₂ основано на ранее полученных (Иванов, Бушмин, Аранович, 2018) уравнениях состояния, с высокой точностью воспроизводящих термодинамику H₂O-NaCl и H₂O-CaCl₂ при температурах от 150 до 350°C, давлениях до 5 кбар и произвольных концентрациях солей. Данная возможность является отличительной чертой представленных моделей. Описывающие взаимодействие углекислого газа с солью дополнительные слагаемые в уравнении для свободной энергии определены на основе экспериментальных данных по растворимости CO₂ в соответствующем рассоле для давлений 0.2-1.4 кбар.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФЛЮИДА ВОДА-УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ ДЛЯ
ТЕМПЕРАТУР 50-350°C И ДАВЛЕНИЙ 0.2-3.5 КБАР НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ
ВАН-ЛААРА**

Иванов М.В. (ИГГД РАН)

m.v.ivanov@ipgg.ru; тел.: 8 (962) 698 07 95

Исследование выполнено в рамках темы НИР ИГГД РАН FMUW-2021-002

При температурах ниже критической точки воды и умеренно высоких давлениях смесимость нейтральных газов с водой, как правило, ограничена. Вследствие этого, для широкого диапазона P-T условий система вода-нейтральный газ может состоять из двух фаз, не смешивающихся между собой. Состав этих фаз определяется экспериментально. Широко используемое в термодинамике такого рода систем уравнение Ван-Лаара содержит два параметра A12 и A21. Наличие для некоторой комбинации P-T двух экспериментально определённых чисел, характеризующих составы сосуществующих фаз, позволяет однозначно определить параметры A12 и A21. Экспериментальные данные для набора комбинаций P-T позволяют свести построение термодинамической модели к численной аппроксимации зависимостей A12(P,T), A21(P,T). Такой подход для системы H₂O-CO₂ позволил получить высокоточную численную термодинамическую модель для температур 50-350°C и давлений 0.2-3.5 кбар.

ВЕСЭПМГ 2024 – 048

ПОЛЯРИТ ИЗ РУД НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

Иванова Л.А., Каримова О.В., Никольский М.С. (ИГЕМ РАН)

lidiksam@igem.ru; тел.: 8 (916) 917 13 69

Изучается полярнит из Талнахского рудного поля Норильского района, отличающийся повышенным содержанием свинца. Проведен анализ литературных данных о составах полярнитов из разных месторождений, данных о кристаллических структурах соединений в системе Pd-Bi-Pb. Выполнено исследование химического состава зерен полярнита методом сканирующей электронной микроскопии. Отобрано зерно для изучения особенностей кристаллической структуры разновидности минерала полярнита с повышенным содержанием свинца методом рентгеновской монокристалльной дифракции.

МИГРАЦИЯ ТЕЛ В ЭКЗОПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМАХ ПРОКСИМА ЦЕНТАВРА И ТРАППИСТ 1

Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)

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

Исследования проводились в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

Размер зоны питания планеты Проксима Центавра c обсуждается в [1]. Вероятность столкновения планетезимали, первоначально находившейся в зоне питания планеты c , с внутренней планетой b была получена равной примерно $2 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} при начальном эксцентриситете орбит планетезималей, равном 0.02 или 0.15 соответственно [2]. Эти значения вероятностей превышали вероятность столкновения с Землей планетезималей, мигрировавших из зоны планет-гигантов Солнечной системы [3]. Около 90% планетезималей, впервые достигших расстояния 500 а.е. от звезды, впервые достигли 1200 а.е. менее чем за 1 млн лет [4]. Если вблизи орбит планет в системе TRAPPIST-1 на поздних стадиях аккумуляции планет было много планетезималей, то внешние слои соседних планет могут включать аналогичный материал. [1] Ипатов С.И. *Астрономический вестник*. 2023, т. 57, N 3. 248-261. [2] Ipatov S.I. *Meteoritics and Planetary Science*. 2023. V. 58. 752-774. [3] Маров М.Я., Ипатов С.И. *Успехи физических наук*. 2023, т. 193. N 1. 2-32. [4] Ипатов С.И. *Астрономический вестник*. 2023, т. 57, N 6, 605-622.

МИГРАЦИЯ ТЕЛ, ВЫБРОШЕННЫХ С ЗЕМЛИ И ЛУНЫ

Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)

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

Исследования проводились в рамках госзадания ГЕОХИ им. Вернадского РАН

При выбросе тел с Земли при скоростях выброса $v_{ej} \leq 11.3$ км/с большая часть выброшенных тел выпадала обратно на Землю. На всем рассматриваемом интервале времени при v_{ej} , равном 11.5, 12 и 14 км/с, значения вероятности столкновения тел с Землей составляли примерно 0.3, 0.2 и 0.15–0.2, соответственно. Общее количество тел, доставленных на Землю и Венеру, вероятно, не сильно отличалось. Вероятности столкновений тел с Меркурием и Марсом были в диапазонах 0.02–0.06 и 0–0.02, соответственно. Вероятность столкновения тела с Луной находилась в основном в районе 0.01–0.016 при $v_{ej} \leq 11.4$ км/с и 0.005–0.01 при $v_{ej} \geq 12$ км/с. Полученные результаты свидетельствуют в пользу образования вблизи Земли крупного лунного зародыша [1]. Вероятность столкновения с Землей тела, выброшенного с Луны, в конце эволюции составляла около 0.3 при $v_{ej} = 2.5$ км/с, 0.2 при $v_{ej} = 5$ км/с и 0.1–0.14 при $12 \leq v_{ej} \leq 16.4$ км/с, если бы Луна двигалась по своей современной орбите. [1] Ипатов С.И. *Астрономический вестник*. 2024, т.58, N 1, в печати.

Камашева С.К. (МГРИ), Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН)

ryazankonst@gmail.com; тел.: 8 (916) 350 69 50

Метеорит Vaca Muerta, был найден в 1861 году в пустыне Атакама в Чили. Классифицирован был как мезосидерит (Graham, 1987). Метеорит представляет собой брекчию, содержащую крупные включения (ксенолиты) магматических горных пород (Kimura, 1991) в основной более тонкозернистой массе силикатов и никелистого железа.

В ходе экспедиции в январе-феврале 2022г. на место находки метеорита Рязанцев К.М. собрал коллекцию образцов ксенолитов, выпавших из основной массы метеорита при фрагментации и земном выветривании.

В данной работе мы сообщаем результаты петрографической классификации ксенолитов на основе подробного оптического и электронно-микроскопического исследования.

Образцы были разделены на 8 групп: монокристаллы пироксена 1) темные и 2) светлые), 3) пироксеновые агрегаты, 4) пироксен – троилитовые агрегаты, 5) оливиновые брекчии (с угловатым сульфидом и с округлым), 6) пироксен – плагиоклазовые породы с большим количеством рудных; 7) бедные рудными минералами пироксен-плагиоклазовые породы; 8) пироксен – плагиоклазовые брекчии с SiO₂.

Исследование показало большое разнообразие основных и ультраосновных пород, представленных в виде ксенолитов в метеорите Vaca Muerta, что указывает на сложное комплексное строение коры родительского тела.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕРМОАДСОРБЦИОННОЙ МАССПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ
ПОИСКА НЕСОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ В КРЕМНИИ

Клюева М.В. Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)

klyueva@geokhi.ru; тел.: 8 (495) 939 28 92

α -кварц переходит в β -кварц по механизму деформационного перехода путём искажения химических связей без их разрыва, а при поворотах кремний-кислородных тетраэдров изменяется объем пустот и, соответственно, парциальное давление. Температура скачка парциального давления данного газового компонента соответствует температуре фазового превращения в кварце. Экспериментально определенный тепловой эффект десорбции можно отождествить с теплотой образования данной фазы.

Измерения проводились на времяпролетном масс-спектрометре в интервале давления остаточных газов $P = 5 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-5}$ Па. Нагрев образца проходил последовательно в трех кинетических режимах с последующим охлаждением. Характер пиков на десорбционной кривой указал на 11 специфических участков, три из которых сопровождаются изменениями парциального давления и свидетельствуют о фазовом переходе. В результате эксперимента были выявлены три фазовых перехода: р-s переход, относящийся к фазовому превращению первого рода, и s-t и t-c относятся к фазовым превращениям второго рода с образованием промежуточных фаз.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ФЕНАКИТА Be_2SiO_4 И ГЕРМАНАТА БЕРИЛЛИЯ Be_2GeO_4 ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

**Ковалев В.Н., Спивак А.В., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), Томас В.Г.,
Гаврюшкин П.Н. (НГУ, ИГМ СО РАН), Фурсенко Д.А. (ИГМ СО РАН),
Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)**

kovvn99.msu16@gmail.com; тел.: +7(915) 208 01 79

Монокристаллы фенакита Be_2SiO_4 и изоструктурного германата бериллия Be_2GeO_4 синтезированы из смеси оксидов гидротермальным методом с применением методики прямого температурного перепада. Полученные образцы изучены методом *in situ* КР-спектроскопии в ячейках высокого давления с алмазными наковальнями до 30 ГПа. При анализе КР-спектров фенакита удалось подтвердить динамическую стабильность его кристаллической структуры в исследуемом диапазоне давлений. В свою очередь Be_2GeO_4 испытывает существенные изменения кристаллической структуры, фиксируемые в виде появлений новых колебательных мод и их сдвига с увеличением давления. Сопоставление экспериментальных данных с результатами первопринципного моделирования приводит к необходимости проведения дополнительных структурных исследований *in situ*.

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

Tatiana76@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 16 66

Опыты по синтезу цирконо- и титаносиликатов проводились при температуре 600°C и давлении 2 кбар в течение 10 суток в щелочных условиях на установке высокого газового давления. Для синтеза цирконосиликатов использовали приготовленные по гелевой методике золь-гели ловенитового состава $(\text{Na,Ca})_2(\text{Mn}_{0.75}\text{Fe}_{2+0.25})(\text{Zr,Ti})\text{Si}_2\text{O}_7(\text{O,OH,F})$ и $(\text{Na,Ca})_2(\text{Fe}_{2+0.75}\text{Mn}_{0.25})(\text{Zr,Ti})\text{Si}_2\text{O}_7(\text{O,OH,F})$.

По данным электронно-зондового микроанализа в результате синтеза цирконосиликатов с использованием смеси 1М NaF с 5% NaOH образовались паракелдышит, ловенит (или его Fe-доминантный аналог), эгирин и гематит). При использовании смеси 1М NaF с 10% NaOH образовались паракелдышит, ловенит, бурпалит, тефроит, эгирин, нефелин, циркон, пирофанит, сидерит, гематит, кварц. При добавлении смеси 1М раствора NaF с 20% раствором NaOH в качестве флюида образовались луешит, F аналог лакаргиита CaZrF_6 , гематит и кварц. В результате синтеза титаносиликатов с добавлением раствора 1М NaCl образовались титанит, луешит, серандит, пектолит и лоренценит. В случае с добавлением смеси 1М раствора NaCl с 15% раствором NaOH образовались лоренценит, титанит и луешит.

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕЛИЛИТОВОГО НЕФЕЛИНИТА ПРИ fO_2 СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ БУФЕРУ QFM

Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН)

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

по теме госзадания ГЕОХИ РАН

Проведенные экспериментальные исследования показали, что изменение окислительного потенциала приводит к изменению как порядка кристаллизации, так и фазовых ассоциаций мелилитового нефелинита, состав которого близок к первичным магмам Маймеча-Котуйской провинции. Ход кристаллизации расплава и пропорции сосуществующих фаз представлены на рис. 1. Массовые доли фаз рассчитаны методом наименьших квадратов из уравнений баланса масс на основе составов фаз при каждой температуре.

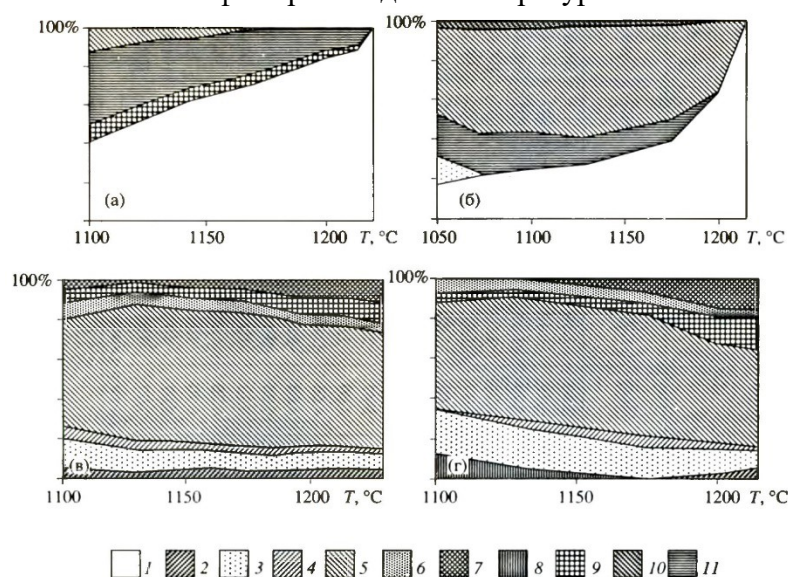


Рис. 1. Соотношение фаз (а, б) и нормативные составы равновесных расплавов (в, г) в ходе плавления турьяита (мас. %). а, в - при фугитивности кислорода, соответствующей буферу QFM; б, г - при фугитивности кислорода 0.2 атм. 1 - расплав; 2 - анортит; 3 - нефелин; 4 - калифилит; 5 - клинопироксен; 6 - ильменит; 7 - ларнит; 8 - лейцит; 9 - оливин; 10 - шпинель; 11 - мелилит.

Температура ликвидуса составляет 1220 - 1225°C, при этом одновременно на ликвидусе появляются оливин и мелилит, причем последний значительно преобладает в кристаллических фазах. Кристаллизация по котектике Ol + Mel продолжается до 1180°C, где к ним присоединяется клинопироксен, доля которого в составе твердых фаз постепенно увеличивается, однако по-прежнему преобладающей кристаллической фазой остается мелилит. Состав остаточных жидкостей в ходе кристаллизации обогащается железом, алюминием, калием, натрием, титаном и фосфором и обедняется кальцием. В нормативном составе жидкостей такое изменение химического состава отражается в том, что постепенно снижается содержание нормативного ларнита и оливина и увеличиваются доли фельдшпатоидов - нефелина и калиофилита (рис. 1).

Рост окислительного потенциала до 0.2 атм. принципиально меняет ход кристаллизации. В твердофазовой ассоциации отсутствует оливин, кристаллизация начинается при 1230°C с фазовой ассоциации расплав + шпинель (единичные кристаллы), к которой при 1215°C присоединяется клинопироксен с аномально низким содержанием кремнезема (41 - 42%) и высоким содержанием железа (>10%).

МОРФОЛОГИЯ СПУТНИКА САТУРНА ГИПЕРИОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИССИИ CASSINI

**Козлова Н.А., Зубарев А.Э., Надеждина И.Е. (МИИГАиК),
Базилевский А.Т. (ГЕОХИ РАН), Иванов Б.А. (ИДГ РАН),
Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН)**

mexlab@miigaik.ru; тел.: 8 (499) 267 35 13

Наше исследование на основе анализа изображений, полученных КА Cassini, позволило получить 3D-модель этого спутника, глобальную ортомозаику и подобрать трехосный эллипсоид (355 x 257 x 213 км), наилучшим образом описывающий его фигуру, что позволяет количественно изучать его морфологию. На Гиперионе наблюдается «гигантский» кратер поперечником 200 x 250 км, глубиной 35 км и высотой центральной горки 5-7 км, а на большей части поверхности находятся многочисленные ударные кратеры диаметром от менее нескольких километров до 20-30 км. Для этих кратеров характерны довольно высокие отношения глубины к диаметру $\sim 0,3$, что, вероятно, связано с высокой пористостью материала Гипериона. Еще одной особенностью многих кратеров Гипериона является наличие прямолинейных участков их валов, что придает кратерам полигональную форму, вероятно, из-за наличия трещин/разломов в материале тела. Вещество поверхности Гипериона характеризуются двумя основными типами: доминирует визуально светлый материал, который состоит в основном из водяного льда, и в малых количествах присутствует визуально темный материал, который имеет спектральные признаки углеводородов.

ВЕСЭПМГ 2024 – 057

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНЕ-ФИОЛЕТОВЫХ АЛМАЗОВ ИЗ
РОССЫПЕЙ АНАБАРА (СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)**

Коногорова Д.В. (геол. ф-т МГУ), Титков С.В. (ИГЕМ РАН, РГГРУ),

Бардухинов Л.Д. (ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)),

Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ, музей Ферсмана)

diana-96perm@mail.ru; тел.: 8 (916) 855 35 56

Впервые проведено исследование трех сине-фиолетовых алмазов из россыпей Анабара. Установлено сходство структурных дефектов сине-фиолетовых алмазов из россыпей Анабара и из лампроитовой трубки Аргайл в Австралии. В спектрах поглощения наблюдается возрастающий в сторону УФ-волн континуум и две широкие полосы с максимумами 530 и 720 нм. В спектрах серо-фиолетовых алмазов интенсивности этих полос близки, а в спектрах сине-фиолетовых алмазов полоса 720 нм доминирует. Сине-фиолетовые алмазы Анабара уникальны и не были описаны среди кристаллов из трубки Аргайл, у которых всегда наблюдался серый оттенок. Алмазы из россыпей Анабара испытали воздействие посткристаллизационной пластической деформации. В них наблюдаются деформационные ламели с характерными зеркальными рефlekсами от границ, которые образуются в результате пластической деформации по механизму механического двойникования.

ВЕСЭПМГ 2024 – 058

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $AgPd_3Se$ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ ЭДС МЕТОДОМ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 373 - 773 К

Корепанов Я.И., Чареев Д.А., Осадчий В.О., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)

yakoff@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 48 -59

Работа выполнена при поддержке ведущих научных школ РФ в рамках проекта «Халькогениды: рост кристаллов, геохимия, термодинамика и физические свойства» (НШ-2394.2022.1.5).

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № темы FMUF-2022-0002

В тройной системе Ag-Pd-Se методом ЭДС в электрохимической ячейке с твердым электролитом AgI была определена температурная зависимость электродвижущей силы в гальванической ячейке

$C|Ag|AgI|(Ag_xPd_{1-x}, AgPd_3Se, Ag_{11+y}Pd_{11-y}Se_6)|C$

В ходе исследования наблюдалась воспроизводимость результатов в пределах 1% от абсолютного значения измеряемой величины.

На основании полученных данных и литературных данных показана возможность расчета

- 1) термодинамических свойств для фазы $AgPd_3Se$
- 2) активности серебра в серебро-палладиевом сплаве.

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

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

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

Продолжены исследования растворимости твердого раствора $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ в алюмосиликатном расплаве при температурах 800°C и 1000°C для давления 400 МПа в присутствии воды. Продолжительность экспериментов составляла 12 суток для 800°C и 5 суток для 1000°C. Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпаитности (1.10 – 2.05), 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 с ростом давления от 200 МПа до 400 МПа для обеих температур растворимость $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ уменьшается при близкой агпаитности. Отмечено, что агпаитность расплава оказывает более сильное влияние на растворимость твердого раствора $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$, чем давление и температура.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ БОРОСИЛИКАТНОГО РАСПЛАВА, СОДЕРЖАЩЕГО КАТИОНЫ
NA И CS

Королева О.Н. (ГЕОХИ РАН)

olgankoroleva@gmail.com;

Работа посвящена изучению структуры стеклокристаллических материалов, полученных в боросиликатной системе при различных температурных режимах охлаждения. С этой целью было проведено исследование структуры образцов общего состава $x\text{Na}_2\text{O} \cdot (30-x)\text{Cs}_2\text{O} \cdot 20\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 50\text{SiO}_2$, полученных при кристаллизации расплава в кварцевых тиглях в муфельной печи. Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света исследовано анионное окружение цезия и натрия в стекле и получены данные о структурных перестройках сетки при формировании кристаллических фаз. Рентгенограммы стеклокристаллических образцов позволили определить единственную кристаллическую фазу CsBSi_2O_6 , кристаллическая структура которого не была определена однозначно, поскольку не удалось найти дифракционного соответствия с какими-либо фазами. В результате исследований было показано, что фазовый состав полученных кристаллов не зависит от исходного соотношения щелочных катионов, тогда как под влиянием кинетической составляющей формируются различные по свойствам материалы.

ВЕСЭПМГ 2024 – 061

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВА С S-СОДЕРЖАЩИМИ НЕФТЕ-ГАЗОНАСЫЩЕННЫМИ ПОРОДАМИ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)

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

nastya@iem.ac.ru, gor@iem.ac.ru

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

Для изучения контаминации базальтовых расплавов серой и углеродом при взаимодействии с нефте-газонасыщенными породами платформенного чехла Норильского района была проведена серия экспериментов, при 0.2-0.5 ГПа, 1200-1250°C на УВД в ИЭМ РАН. В качестве исходных веществ использовали стекло базальта мокулаевской свиты и породы платформенного чехла Норильского района разного состава из разных стратиграфических уровней (углеродсодержащие: доломит, мергель, аргиллит и пирротин-содержащий песчаник). В качестве С-О-Н-S флюида использовали серосодержащую нефть. Взаимодействие базальтовых расплавов с породами платформенного чехла в зависимости от состава породы приводило к силикатно-сульфидной или силикатно-металлической ликвации силикатного расплава, или к сульфидно-металлическому расслоению сульфидного расплава. Результаты экспериментов позволят обосновать новые лито-стратиграфические критерии и факторы прогноза рудоносных интрузивов на ранее неизвестных структурных этажах.

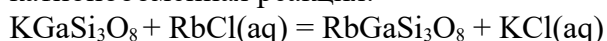
ИЗУЧЕНИЕ КАТИОНООБМЕННЫХ РАВНОВЕСИЙ (К,РВ)-ГАЛЛИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ

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

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0002

Методом гидротермальной кристаллизации при 550°C и давлении 1.5 кбар синтезированы галлий-содержащие полевые шпаты KGaSi_3O_8 и $\text{RbGaSi}_3\text{O}_8$. Галлиевые полевые шпаты изучены методами микрозондового и рентгеновского анализа. Получены значения параметров элементарных ячеек для конечных миналов. При указанных параметрах изучена катионообменная реакция:



Опыты проводили в золотых ампулах на установке УВД10000 конструкции ИЭМ РАН. Точность регулировки и контроля температуры $\pm 2^\circ\text{C}$ давления ± 0.05 кбар. Подход к равновесной изотерме осуществлялся с двух сторон. Длительность опытов составляла 28 суток. Составы продуктов опытов анализировали методами микрозондового анализа и атомно-абсорбционной спектроскопии. Рентгеновским методом определяли параметры элементарных ячеек твердых растворов. Получены коэффициенты распределения калия и рубидия между галлиевыми полевыми шпатами и флюидом. На основании экспериментальных данных рассчитаны избыточные функции смешения твердых растворов.

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ (Rb,Ba)-ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ

Котельников А.Р., Сук Н.И., 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

Рубидиевый полевой шпат был синтезирован из стекла состава $RbAlSi_3O_8$ методом гидротермальной рекристаллизации при 650°C и давлении 2 кбар. Бариевый полевой шпат ($BaAl_2Si_2O_8$) приготовлен методом пиросинтеза из смеси оксидов кремния и алюминия и карбоната бария. Температура синтеза составляла 1340°C , продолжительность 20 часов. После отжига образец перетирался и перекристаллизовывался при 850°C и давлении 3.5 кбар в 1М растворе $BaCl_2$. Синтетические полевые шпаты изучены методом рентгеновского анализа, проведено уточнение их параметров элементарных ячеек (ПЭЯ).

Методом катионнообменных реакций: $2RbAlSi_3O_8 + BaCl_{2(aq)} = BaAl_2Si_2O_8 + 4SiO_2 + 2RbCl_{(aq)}$ при 650°C и давлении 2 кбар синтезированы твердые растворы рубидий-бариевых полевых шпатов. Составы твердых растворов определяли методом микрозондового анализа. Проведено рентгеновское исследование синтезированных полевых шпатов, уточнены параметры элементарных ячеек. Построены концентрационные зависимости ПЭЯ. Рассчитаны избыточные объемы смешения твердых растворов (Rb,Ba)-полевых шпатов. Они достаточно хорошо описываются двухпараметрической моделью Маргулеса.

ФЛЮИДЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ИХ РОЛЬ В ТРАНСПОРТЕ ВЕЩЕСТВА
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ)

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

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

В докладе рассмотрены вопросы происхождения флюидов в земной коре, их роль в процессах минерало- и петрогенеза. Приводится обзор экспериментальных работ по физико-химическому исследованию различных флюидных систем при высоких РТ- параметрах. Показана роль флюидов в процессах дифференциации вещества в условиях коровых процессов петрогенеза.

Специально рассматриваются вопросы возникновения гетерофазного состояния. Особое внимание уделяется рассмотрению следующих вопросов: 1) кислотно-основное взаимодействие и распределение кислотных и щелочных компонентов в неомогенных системах; 2) взаимодействие флюидов с силикатными и рудными фазами и различное влияние кислотного и щелочного флюидов на расплавы и минеральные фазы; 3) растворимость флюидных компонентов в расплавах и поведение флюидно-силикатных систем при декомпрессии и уменьшении температуры.

Подчеркивается сложный состав рудогенного флюида. На оригинальном экспериментальном материале демонстрируется возможность моделирования процессов образования реальных рудных парагенезисов и разработки новых критериев для поиска месторождений полезных ископаемых.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА РУДНОГО ВЕЩЕСТВА И ОБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ

Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Дамдинов Б.Б. (ЦНИГРИ), Дамдинова Л.Б. (ГИН СО РАН)

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0003

Полиметаллические месторождения Озернинского рудного узла характеризуются комплексным составом руд: сульфидное оруденение (Pb, Zn), карбонатные (сидерит), оксидные (магнетит). Процессы образования месторождения и источники рудного вещества до сих пор являются дискуссионными. Однако большинство авторов склоняется к метасоматическому генезису.

Проведены поисковые эксперименты по моделированию рудных парагенезисов Озернинского месторождения. Опыты проводили в золотых ампулах, в которые загружали смеси исходных алюмосиликатных материалов с реактивами сульфидов цинка и железа, имитирующих хемогенные осадки (нижняя часть ампулы). В верхнюю часть ампулы загружали кальцит. Исходные растворы (концентрация солей до 45 мас%) задавали хлоридами (NaCl, KCl, NH₄Cl) и карбонатами (Na₂CO₃ и K₂CO₃). Кроме того, добавляли небольшое количество 1М растворов щелочей (NaOH, KOH). В опытах использовали растворы натриевой и калиевой спецификации. Опыты проводили в термоградиентных условиях: низ – 510°C, верх – 470°C и давлении 3.5 кбар. Опыты проводили на установке УВГД 10000 конструкции ИЭМ РАН. Продолжительность опытов 12 суток. Продукты опытов изучали микрозондовым методом. Методом встречной температурной диффузии компонентов получены парагенезисы, сходные с природными на Озернинском месторождении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДОЛЕРИТОВ КОСМОЗЕРА (ЗАОНЕЖЬЕ, КАРЕЛИЯ)

**Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Ананьев В.В. (ИВиС ДВО РАН), Сук Н.И. (ИЭМ РАН),
Криночкина О.К. (МГСТУ), Криночкин Л.А. (ИМГРЭ)**

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

Образцы долеритов отобраны из береговых обнажений оз. Космозера, Заонежье, Карелия. Кроме того, изучены образцы долеритов Максовского месторождения. Эти долериты находятся в пределах Онежской палеопротерозойской структуры, которая является частью Карельской структурно-фациальной зоны. Описываемые долериты, относятся к людиковийскому интрузивному комплексу, габбро-долеритовому подкомплексу (возраст 1.96 млрд лет). Образцы долеритов изучены оптическим, микрозондовым и рентгеновским методами. Состав образцов определяли методом ICP-ES-MS. Расчетными методами на основе имеющихся минеральных геотермобарометров и комплекса программ определены РТХ условия кристаллизации долеритов. Для верификации расчетных данных проведены опыты по плавлению и последующей кристаллизации долеритов. Опыты проводили при температуре 1230→1140°C и давлении 5.5→5.0 кбар. Состав фаз после опытов изучен методом микрозондового анализа. Состав фаз в продуктах опытов находится в хорошем соответствии с данными расчетов.

ВЕСЭПМГ 2024 – 067

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ Nb₂O₅ В РАСТВОРАХ LiF
ПРИ 550°C, 50 – 500 МПа**

Котова Н.П. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена по теме FMUT-2022-0003 и при поддержке гранта РФФИ N 20-05-00307

Получены экспериментальные данные по растворимости оксида ниобия в растворах LiF с концентрацией 0,03 и 0,1m при T= 550°C и P=50, 100, 200 и 500 МПа. Установлено, что. при повышении давления от 50 до 200 МПа содержание Nb в растворах 0,03m LiF практически не изменяется, оставаясь на уровне $10^{-3.2}$ моль/кг H₂O. При дальнейшем повышении давления до 500 МПа содержание ниобия уменьшается и составляет 10^{-4} моль/кг H₂O. В растворах 0,1 m LiF при изменении давления от 50 до 500 МПа содержание Nb уменьшается на порядок: с $10^{-2.6}$ моль/кг H₂O до $10^{-3.5}$ моль/кг H₂O. Сравнение результатов экспериментов по растворимости оксида ниобия в растворах LiF показало, что при T=550°C тренды зависимости растворимости оксида ниобия от концентрации F⁻ иона и давления флюида сопоставимы.

ВЕСЭПМГ 2024 – 068

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО РАСТВОРИМОСТИ ПИРОХЛОРА И
ОКСИДА НИОБИЯ ВО ФТОРИДНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ**

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

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

Работа выполнена по теме FMUT-2022-0003 и при поддержке гранта РФФИ N 20-05-00307

Представлены экспериментальные данные по растворимости пирохлора и оксида ниобия в растворах HF, KF, NaF в диапазоне концентраций 0.01 - 2 м и в растворах LiF с концентрациями 0,03-0,1 м при $T=300-550^{\circ}\text{C}$, $P=50-100$ МПа и низкой фугитивности кислорода (буфер Co-CoO). Установлено влияние температуры и давления на растворимость оксида Nb и пирохлора. Проведен сравнительный анализ равновесных содержаний Nb во фторидных гидротермальных флюидах при растворении в них оксида ниобия и природного минерала пирохлора.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ВАНАДИЯ
МЕЖДУ ОЛИВИНОМ И РАСПЛАВОМ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЩЕЛОЧЕЙ

Кошлякова А.Н., Шишкина Т.А. (ГЕОХИ РАН),

Соболев А.В., Батанова В.Г. (ISTerre, France)

an.koshlyakova@gmail.com; тел.: 8 (909) 669 65 77

Была проведена серия экспериментов для изучения влияния щелочей на распределение ванадия между оливином и силикатным расплавом.

Эксперименты проводились в вертикальной трубчатой печи при температуре 1350°C и давлении 1 атм методом петли в тигле при окислительно-восстановительных условиях, соответствующих буферам NNO и IW. В качестве образцов использовались гавайские пикриты, допированные MgO, CaO или Al₂O₃. Для достижения высоких содержаний щелочей в расплаве образцы закреплялись внутри кварцевого контейнера над смесью K₂O-SiO₂ или Na₂O-SiO₂.

Было получено 30 равновесных пар оливин-расплав (до 7.5 вес% K₂O и до 6.5% Na₂O в расплаве), химический состав которых был определен методами электронного микрозонда (основные элементы) и лазерной абляции (примесные). Коэффициент распределения ванадия между оливином и расплавом ($D(V)^{ol-melt}$) приблизительно в 15 раз выше в восстановительных (IW) условиях (0.185-0.247), чем в окислительных (NNO) (0.008-0.023). Наблюдается отрицательная корреляция между $D(V)^{ol-melt}$ и суммой содержаний щелочей в расплаве. Уравнение Mallmann&O'Neill (2013) вычисляет $D(V)^{ol-melt}$ со средней ошибкой 0.006 для опытов при NNO и 0.048 – при IW.

ВЕСЭПМГ 2024 – 070

**МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЛУНЫ С УЧЕТОМ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОРЫ И ОГРАНИЧЕНИЙ, СЛЕДУЮЩИХ ИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

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 ГОСЗАДАНИЕ ГЕОХИ РАН

Для модели магматического океана определены распределения температуры, мощности тепловых источников (концентрации урана) в коре и мантии, согласованные с сейсмическими данными и одномерной квазистационарной теплофизической моделью. Теплопроводность и тепловыделение в коре определяются с учетом пористости. Валовые содержания урана в Луне для мощности коры 34 км и средней пористости ~12% составляют 18-23 ppb. Концентрации урана в коре могут находиться в интервале 80-240 ppb. Валовые концентрации, близкие к значениям для силикатной Земли (~19 ppb) соответствуют ~170 ppb в коре. Температура на границе кора–мантия составляет 250-300 °С. Величины поверхностных тепловых потоков составляют 6-9 мВт/м².

ВЕСЭПМГ 2024 – 071

СОВМЕСТНАЯ ИНВЕРСИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ЗАДАННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В МАНТИИ ЛУНЫ

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

Методом МСМС (метод Монте-Карло по схеме цепей Маркова) проведена совместная инверсия геофизических (сейсмических и селенодезических) и геохимических (валовый состав мантии Луны) данных. Рассматривается модель двухслойной в отношении состава мантии Луны, состоящей из верхней и нижней мантии. Верхняя мантия для расчета сейсмических скоростей и температуры разделена на три зоны. Температура в мантии задается линейным профилем $T(h) = T_a + T_b \cdot h$, h – глубина, коэффициенты T_a и T_b являются параметрами модели и определяются в результате расчетов на глубинах $h=150, 375, 625, 1000$ km. Определены вероятные распределения температуры, химического состава и сейсмических скоростей в мантии для двух типов моделей (Е – близких к земным по содержанию Al_2O_3 и М – обогащенных Al_2O_3 по сравнению с силикатной Землей).

МОДЕЛЬ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ВЕП И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УПРУГОЙ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГИЮ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

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

В докладе приводятся результаты, полученные за последние три года. Было переинтерпретировано 16 фрагментов профилей ГСЗ, проходящих через крупные месторождения углеводородов Прикаспийской впадины и Предуральяского краевого прогиба. Построены глубинные разрезы в изолиниях скорости продольных волн и отношения скоростей продольных волн к поперечным волнам (V_p/V_s). Под всеми месторождениями в консолидированной коре находятся блоки с существенно отличающимися по значениям V_p и V_p/V_s .

На основе интерпретации предложена модель, состоящая из системы твердых геологических тел, залегающих в осадочном чехле и фундаменте, но существенно с разными значениями коэффициента Пуассона (функционально связан с V_p/V_s). Волны деформаций и напряжений инициируют преобразование упругого взаимодействия блоков с низкими и высокими значениями коэффициентов Пуассона в электрическое поле. При конвекции флюида между осадочным чехлом и фундаментом происходит локализация и концентрация рассеянного органического (и неорганического) вещества под действием разности потенциалов электрического поля. Концентрация углеводородов происходит в осадочном чехле на жестком теле, которое обеспечивает стационарность физико-химических процессов. Модель объединяет глубинную и осадочно-миграционную гипотезы образования нефти.

**ОТНОШЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН, КАК
ВОЗМОЖНЫЙ ПРИЗНАК КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ
И КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЕ**

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

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

Одним из наиболее сложных вопросов в интерпретации сейсмических данных можно назвать выявление признаков преобразования геосреды под воздействием флюидов. В сейсмических исследованиях консолидированной коры основное внимание уделяется определению вещественного состава. Однако всё больше экспериментальных данных свидетельствует о значительном, если не определяющем факторе газовой фазы в переносе рудной минерализации. Анализ сейсмических данных показал, что параметр отношения скорости продольной волны к скорости поперечной волны (V_p/V_s) может служить прогнозным признаком рудной минерализации.

К рудным зонам с пониженными значениями V_p/V_s относятся: медно-колчеданные месторождения на Урале, медно-молибденовые и золоторудные в Армении, медно-полиметаллические в Грузии, апатитовые в Хибинах. На полиметаллических месторождениях в северо-западной части рудного Алтая, рудоносная область повсеместно выделяется пониженными значениями V_p/V_s достигающих значений 1,60, при средних значениях в неизмененных породах 1,70-1,80. Рассмотрение результатов региональных сейсмических исследований ГСЗ в рудных районах показал, что рудные области характеризуются пониженными значениями V_p/V_s .

Таким образом, выделение зон и областей пониженных значений V_p/V_s может служить признаком рудного процесса в глубинных горизонтах коры.

НАПРЯЖЕНИЕ МИНЕРАЛОВ-УЗНИКОВ В АЛМАЗЕ ИЗ ТРУБКИ ЗАПОЛЯРНАЯ ПО
ДАНЫМ КР-СПЕКТРОСКОПИИ

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

Криулина Г.Ю., Скрябина А.В. (геол. ф-т МГУ),

Корепанов В.И. (ИПТМ РАН)

shushkanova@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 776

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

Минеральные включения в алмазе Уд-7-5 из кимберлитовой трубки Заполярная были исследованы с применением КР-спектроскопии в плоскостях включений в алмазе и области алмаза. Анализ данных был выполнен на языке Python с использованием SciPy и NumPy и алгоритма вычитания базовой линии с открытым исходным кодом. Было показано, что включения-узники (оливины) находятся под остаточными напряжениями. Расчетное остаточное давление первичных включений достигает до ~1,86 ГПа. Сам алмаз-хозяин тоже испытывает остаточные напряжения. При этом распределение остаточных напряжений как во включениях-узниках, так и в алмазе-хозяине неоднородно. Это не противоречит наличию следов пластической деформации. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей оценки РТ-условий захвата оливиновых включений алмазами.

ОЦЕНКА ВЯЗКОСТИ В МАНТИИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ МАРСА

Кулик Е.А., Гудкова Т.В. (ИФЗ РАН)

kulik.ea@ifz.ru, gudkova@ifz.ru; тел.: +7 (909) 978 90 44; +7 (985) 589 56 20

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования ИФЗ РАН

В настоящем исследовании предпринята попытка оценить возможные значения вязкости мантии для моделей внутреннего строения Марса при различных значениях железистого числа.

Для построения упругих моделей используется химический состав Dreibus, Wanke 1985 (DW85). Ограничениями для моделей служат измеряемые геодезические параметры, такие как масса, средний радиус, момент инерции, приливное число Лява k_2 , а также чандлеровский период. Чандлеровским колебанием называется свободная нутация планеты.

Период данного колебания определяется главным образом температурой, реологией и составом мантии. Его значение было получено недавно с достаточно хорошей точностью из радионаблюдений аппаратами Mars Odyssey, Mars Reconnaissance Orbiter и Mars Global Surveyor.

Для учета неупругости в моделях использовалась реология Андраде. Несколько параметров данной реологии остаются неизвестными — это вязкость η и параметр Андраде α . Значение параметра α обычно оценивается в диапазоне 0.1-0.5. Для оценки вязкости требуется построить модели внутреннего строения и изучить, при каких значениях η они могут удовлетворять всем накладываемым на них ограничениям.

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АЗОТ СОДЕРЖАЩИХ
КОМПОНЕНТОВ В СИНТЕТИЧЕСКОМ К-КИМРИТЕ МЕТОДАМИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ

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

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

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 22-17-00005)

Глубинный цикл азота и его взаимосвязь с особенностями фракционирования азота между фазами-концентраторами в субдукцированных на мантийные глубины метаосадочных породах, является одной из центральных тем в современных исследованиях. В метаосадках азот транспортируется преимущественно благодаря замещению K^+ на $(NH_4)^+$ -ион в силикатах. В настоящей работе нами проведено детальное исследование кристаллов К-кимрита, синтезированных при высоких Р-Т параметрах в системах с различным содержанием азота и с различной степенью окисления. Полученные кристаллы с общим содержанием азота до 5 вес. % изучены методами инфракрасной спектроскопии и комбинационного рассеяния света. Показано, что вхождение азота в структуру К-кимрита может осуществляться по двум механизмам: (1) замещение $K^+ \rightarrow (NH_4)^+$ и (2) локализация нейтральных молекул N_2 и/или NH_3 в структурных полостях кристаллов (клатратный механизм). Установлено, что концентрация азота в форме нейтральных молекул в структурных полостях может существенно превышать концентрацию азота в виде ионов аммония, при этом эффективность клатратного механизма практически не зависит от редокс условий синтеза К-кимрита.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ,
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЭНСТАТИТОВОГО АХОНДРИТА ПЕСЬЯНОЕ

Лаврентьева З.А., Люль А.Ю. (ГЕОХИ РАН)

lavza@mail.ru; тел.: 8(496) 522 19 88

Методом ИНАА определены и проанализированы микроэлементные составы «матрицы» и 8 размерных фракций, выделенных из двух разновидностей обрита Песьяное. Распространенности и степень фракционирования РЗЭ широко варьируют: La (0.06–2.7)хСІ; Sm(0.6–2.5)хСІ; Eu(0.3–3.9)хСІ; Yb(0.9-3.4)хСІ; Lu(0.4-3.3)хСІ. Все десять проанализированных фракций обогащены тяжелыми РЗЭ относительно легких и СІ хондритов. В спектрах редкоземельных элементов наблюдаются как положительные, так и отрицательные Eu аномалии. Относительно распространенностей сидерофильных элементов во фракциях можно выделить три особенности. Первая – это очень низкие и варьирующие распространенности Ni (<0.003 – 0.07)хСІ, Co (0.006 – 0.03)хСІ и Ir (0.001 – 0.03)хСІ, свидетельствующие об их изоморфном вхождении в силикаты. Вторая – распространенности Ir намного ниже распространенностей Ni и Co, что согласуется с магматической моделью распределения этих элементов. Третья – наблюдаемые значительные вариации (от 0.05 до 1.0) в распространенностях Ir относительно Ni и СІ хондритов свидетельствуют о дифференциации вещества силикатной части родительского тела обритов.

ВЕСЭПМГ 2024 – 078

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ЗОЛОТА В СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНЫХ ФЛЮИДАХ С УГЛЕКИСЛОТОЙ (РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ).

Лаптев Ю.В. (ИГМ СО РАН)

laptev@igm.nsc.ru; тел.: 8 (903) 904 63 45

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН

Полученные нами ранее экспериментальные данные и результаты расчетно-термодинамического моделирования (база данных Uniterm - Шваров, 2008) свидетельствовали об аномально высокой растворимости золота в сульфатно-хлоридно-углекислотных флюидах в равновесии с пиритом и магнетитом при температурах 300-400°C. Принципиальным моментом настоящего этапа исследований послужила задача механизма влияния углекислоты на растворимость золота в концентрированных сульфатно-хлоридно-флюидах (22 мас. % Na_2SO_4 + 2,2 мас. % NaCl) в присутствии повышенных количеств углекислоты. По данным расчетов установлено, что температуры гомогенизации флюидов при значениях X_{CO_2} 0.07, 0.12, 0.17 достигаются в интервале 305, 332, 345°C и давлениях 280, 460, 600 бар, соответственно. Изменение состояния флюидов в широком диапазоне P-T условий определяет миграционную способность золота. Максимальные концентрации золота создаются при гомогенном состоянии флюидов. В этих условиях их равновесные содержания определяются степенью десульфидизации пирита с образованием гидросульфидных комплексов $\text{Au}(\text{HS})^\circ$ и $\text{Au}(\text{HS})_2^-$.

ВЕСЭПМГ 2024 – 079

**МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ШПИНЕЛИ В ЛУННЫХ МАТЕРИКОВЫХ МЕТЕОРИТАХ
DHO FAR 025, 311 И NWA 11828**

Лахманова Л.А. (ГЕОХИ РАН; геол. ф-т МГУ), Демидова С.И. (ГЕОХИ РАН)

lakhmanova.lida@list.ru; demidova.si@yandex.ru; тел. 8 (495) 939 70 19

Госзадание ГЕОХИ РАН

Минералы группы шпинели являются редкой акцессорной фазой в породах лунной коры, тем не менее, они являются важным источником информации о зарождении и эволюции магм Луны. В настоящей работе были исследованы шлифы трех лунных метеоритов, хранящихся в метеоритной коллекции РАН: Dhofar 025, Dhofar 311, NWA 11828. В ходе исследования было выяснено, что в метеоритах Dhofar 025, Dhofar 311 преобладают минеральные фрагменты алюмомагнезиальной шпинели, в то время как метеорит NWA 11828 содержит хромистую разновидность в виде акцессорной фазы в породах. Такая совокупность минералого-петрографических различий шпинелид может свидетельствовать о возможном присутствии двух различных источников для этих фрагментов.

ВЕСЭПМГ 2024 – 080

КИНЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛОВ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ С SiC ПРИ 6 ГПА И 1100-1500 °С: К ВОПРОСУ О МУАССАНИТЕ В ОФИОЛИТОВЫХ ПЕРИДОТИТАХ И ХРОМИТИТАХ

Литасов К.Д. (ИФВД РАН), Шацкий А.Ф., Арефьев А.В. (ГЕОХИ РАН)

litasov@hppi.troitsk.ru; тел.: +7 (495) 851 05 82

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 21-55-50004)

Одним из важных методов, который может помочь решить проблему первичного присутствия SiC в горных породах, являются экспериментальные исследования. Нами были проведены эксперименты по взаимодействию мантийных пород и минералов с SiC при давлении 6 ГПа и 1100-1500 °С. В качестве исходных материалов использовали мелкодисперсные порошки природных перидотитов и эклогитов из кимберлитов с добавкой 10 мас% SiC, а также кристаллы хромита, оливина и граната. Эксперименты проводились на многопуансонном аппарате. Во всех экспериментах наблюдалось восстановление силикатов и хромита с увеличением магнезиальности минералов до 97-100% и выделением металлических фаз - сплавов в системе Fe-Ni и Fe-Si-Cr. Наиболее выраженные реакции протекали при 1500 °С. Равновесие в экспериментах заведомо не достигалось. Вместо этого мы наблюдали образование реакционных кайм на зернах минералов и выделение мелкодисперсных сплавов железа по всему объему кристаллов. Наиболее быстро протекала реакция SiC с хромитом. Магнезиальность хромита изменялась от 57 (в исходном хромите) до 80-94%. Было обнаружено, что при давлении 6 ГПа SiC достаточно быстро реагирует с минералами и породами мантии с образованием металлических фаз, высокомагнезиальных силикатов и хромитов, соответственно, они не могут находиться в равновесии, как утверждалось ранее для ряда офиолитовых перидотитов и хромититов. Кинетические зависимости показывают, что зерна SiC размером в несколько мм могут сохраниться в «сухой» мантии при субдукции-экзгумации только в холодных условиях при температурах ниже 700-800°С. Мы полагаем, что обнаружение SiC в большинстве природных пород может быть связано с антропогенным загрязнением. В редких случаях, которые должны быть тщательно задокументированы, муассанит может иметь природное земное происхождение, что может быть связано с локальным воздействием сильно восстановленного водородсодержащего флюида.

ФОРМА И МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ – ПРОЯВЛЕНИЕ
АДИАБАТИЧЕСКОГО СДВИГА

Максе Л.П. ОДО «СТРИМ», Могилев, Беларусь

larissa_maxe@rambler.ru; тел: +3 (752) 984 282 09

Микроскопические частицы космической пыли (КП) образуются при разрушении высокоскоростных космических тел, входящих в атмосферу Земли. Форма и морфология микрочастиц КП рассматриваются в сравнении с терригенными частицами природного генезиса и частицами, которые образуются в промышленных технологических процессах при обработке материалов. В формах и морфологии частиц КП, распространенных в осадочных отложениях, и подобных частиц земного происхождения обнаружилось сходство, связанное с их образованием в быстропротекающих процессах, сопровождающихся локальными деформациями при деструкции. Автор приходит к выводу, что формы и морфология частиц КП, исследованных и представленных во многих опубликованных научных работах, закономерны, и обусловлены явлением адиабатического сдвига. Локальный адиабатический сдвиг проявляется в форме и морфологии частиц КП, как итога деструкции космических тел. В ряде исследовательских научных работ показано, что горные породы содержат терригенные частицы, по форме и морфологии, подобные частицам КП.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ВУЛКАНА САМОДИВА МОНС НА ВЕНЕРЕ

Малышев Д.Г. (ГЕОХИ РАН),

Эрнст Р.Э. (Карлтонский университет, Оттава, Канада),

Иванов М.А. (ГЕОХИ РАН)

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

Вулкан Самодива Монс (13.6° с.ш., 69.0° з.д.) расположен на ЮВ области Бета. Геологическое картирование области, окружающей вулкан Самодива, в масштабе 1:500 000 основано на фотогеологическом анализе радарных снимков, полученных КА «Магеллан». Эта карта документирует новые детали важные для изучения строения и истории формирования вулкана. Самодива Монс представляет собой щитовой вулкан диаметром 150 км, в вершинной части находится депрессия диаметром 25 км и глубиной до 500 м, а также яркое куполовидное образование с выраженным фронтальным уступом. Большая часть исследуемой области покрыта лавовыми покровами и потоками, которые были разделены на несколько подгрупп по морфологии, связью с разными источниками, положению относительно центральной части вулкана Самодива Монс. Системы грабен-разломов собраны в радиальные и кольцевые рои, распространяющиеся в основном от вулкана Самодива Монс. Выделенные морфоструктурные комплексы позволяют выделить в геологической истории формирования исследуемой области три главных этапа: ранний тектонический, средний вулканический и поздний, связанный с тектонической активностью вулкана Самодива Монс.

КОРРЕКТНОСТЬ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ СОРБЦИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Мартынов К.В., Андрющенко Н.Д., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН)

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

При расчете численных значений коэффициентов распределения (K_d) элементов по данным статических сорбционных экспериментов в случае значительного изменения в ходе эксперимента их концентраций в растворе использование конечных значений концентраций является некорректным. В этих условиях не устанавливается равновесие между концентрациями элемента в твердой и жидкой фазах, так как происходит накопление элемента на сорбенте в течение всего эксперимента, как при исходной высокой, так и при конечной низкой концентрациях в растворе. Для учета изменения концентраций предложен метод обработки результатов сорбционных экспериментов на основе кинетических кривых, который проиллюстрирован расчетами K_d для сорбции Sr, Cs, U, Np, Pu, Am на глинистых материалах из выщелатов модельных боросодержащих стекол. Сравнение с результатами K_d по данным диффузионных экспериментов, проведенных с теми же материалами, показало хорошее соответствие, что подтверждает корректность предложенного метода.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ РЗЭ-АКТИНИДНОЙ
ФРАКЦИИ

Мельникова И.М. (ИГЕМ РАН, АО «Гиредмет»)

irina.sokolova95@yandex.ru; тел: 8 (961) 141 66 23

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России для «ИГЕМ РАН»

В настоящее время остро стоит вопрос переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и дальнейшего хранения и захоронения радиоактивных отходов (РАО). Обеспечение безопасного и эффективного обращения с РАО – одна из важнейших экологических проблем, которую пытаются решить ученые на протяжении десятилетий. После переработки ОЯТ большую опасность представляют жидкие высокоактивные отходы (ВАО), которые образуются в большом объеме. В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ и нормативными актами стран, эксплуатирующих атомные электростанции, жидкие ВАО подлежат кондиционированию. Основной целью этого процесса является уменьшение объема отходов и их преобразование в конечную форму, которая годится для экологически безопасного длительного хранения и захоронения в геологические формации на глубине не менее 500 метров.

Перспективными формами (матрицами) для иммобилизации ВАО являются кристаллические матрицы. В данной работе мы рассматриваем инкорпорирование актинидов в титанатно-цирконатные кристаллические матрицы на основе фаз со структурами пирохлора, рутила и ромбического титаната неодима (природные аналоги отсутствуют).

Одними из важнейших параметров при выборе матричных материалов являются их механические и теплофизические свойства. Пределы прочности при изгибе и сжатии определяют, как материалы будут сопротивляться механическим нагрузкам, таким как давление и изгиб, в ходе транспортировки и при воздействии геологических процессов в подземном хранилище.

Недостаточная прочность материала может привести к образованию трещин и разломов, которые могут способствовать выщелачиванию радиоактивных веществ из матриц, что представляет риск для окружающей среды.

Установлено, что пределы прочности титанато-цирконатных матриц состава: $\text{Nd}_2\text{ZrTiO}_7$ (структура пирохлора) и $\text{Nd}_4\text{Ti}_9\text{O}_{24} + \text{TiO}_2$ (рутил) составляют 150 и 179 МПа при сжатии и 20,6 – 57,8 МПа при изгибе соответственно. Модули Юнга варьируются от $3,7 \times 10^7$ до $2,15 \times 10^8$ кН/м². Значения теплопроводности при повышении температуры с 50 до 500 °С уменьшаются с 1,71 до 0,91 Вт/(м×К), а температурные коэффициенты линейного расширения при этом увеличиваются с $6,96 \times 10^{-6}$ до $1,01 \times 10^{-5}$ К⁻¹.

Механические и теплофизические свойства изученных матриц превосходят нормативно установленные требования (ГОСТ Р 50926-96, НП-093-14), предъявляемые к конечным формам ВАО.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДЕСТИНЕЗИТА $\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Мельчакова Л.В., Вигасина М.Ф., Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ),
Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН),
Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ)

lubov.melchakova@gmail.com; тел.: 8 (495) 939 13 49

Исследование дестинезита из карьера Высочаны (Глоубетин, Чехия) выполнено на дериватографе «Q-1500D (Венгрия). На ТГ и ДТГ кривых зафиксирован многоступенчатый процесс потери массы в интервале 110–900°C. На ИК-спектре образца, нагретого до 170°C, отмечено уменьшение количества воды, удаление гидроксильной группы и образование промежуточной аморфной фазы. При 330–600°C ($t_{\text{max}}=525^\circ\text{C}$) происходит дальнейшая дегидратация, подтверждаемая ИК-спектром образца, нагретого до 600°C. Выше 600°C начинается десульфатизация ($t_{\text{max}}=755^\circ\text{C}$), на ИК-спектре образца, нагретого до 800°C, зафиксировано отсутствие воды и значительное уменьшение интенсивности полосы поглощения аниона $[\text{SO}_4]^{2-}$ при сохранении полос поглощения аниона $[\text{PO}_4]^{3-}$; отмечено образование оксида железа Fe_2O_3 . При $t = 900^\circ\text{C}$ процесс разложения дестинезита завершился, общая потеря массы составила 45.3 %. ИК-спектр продукта разложения отражает присутствие Fe_2O_3 и кристаллической фазы, относящейся к классу фосфатов. Рентгendifракционный спектр зарегистрировал наличие трёх фаз – гематита Fe_2O_3 , родоликита FePO_4 и граттаролаита $\text{Fe}^{3+}_3\text{O}_3(\text{PO}_4)$. Процесс термического разложения дестинезита может быть представлен уравнением $4\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{FePO}_4 + \text{Fe}^{3+}_3\text{O}_3(\text{PO}_4) + \text{Fe}_2\text{O}_3 + 26\text{H}_2\text{O}\uparrow + 4\text{SO}_3\uparrow$.

ВЕСЭПМГ 2024 – 086

**GEOCHEQ – КОМПЛЕКС ДЛЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: СТРУКТУРА И СОДЕРЖИМОЕ БАЗЫ ДАННЫХ, РАСЧЕТ
ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ**

Мироненко М.В. (ГЕОХИ РАН)

mironenko@geokhi.ru; тел.: 8 (499) 939 50 40

Приведено краткое описание структуры комплекса *GEOCHEQ*, разработанного Мироненко, Акинфиевым и Мелиховой (1998). Он содержит базу термодинамических данных для расчета свободных энергий однокомпонентных минералов и минералов твердых растворов, компонентов водного и газового растворов в интервале температур 0-1000°C и давлений 1-6000 бар, а также программу расчета равновесий в многокомпонентных системах. Основу базы данных составляет известная база SUPCRT92 с дополнениями и уточнениями. Разработан ряд модификаций программного комплекса: *GEOCHEQ_M*, содержащий также кинетические параметры конгруэнтного растворения минералов для равновесно-кинетического моделирования взаимодействий вода-порода (совместно с Золотовым и Мелиховой); *GEOCHEQ_Isotope* для совместного расчета химических и изотопных по углероду, кислороду и железу равновесий (совместно с Поляковым и Алениной).

Целью доклада, в свете планируемого размещения комплекса *GEOCHEQ* на сайте ГЕОХИ, является представление комплекса потенциальным пользователям: показ структуры, демонстрация задания химической системы при определенных параметрах, расчет химического равновесия.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПУСТЫНИ САХАРА

**Миронов Д.Д. (ГЕОХИ РАН, ИЭ РУДН), Гришакина Е.А. (ГЕОХИ РАН),
Барбашин Д.Д. (ГЕОХИ РАН, Фак. Почвоведения МГУ)**
d.mironov@geokhi.ru; тел.:8 (926) 331 27 77

Составление геохимической характеристики геологических образцов является необходимой задачей для астробиологических исследований. Для современных исследований Марса и оценки его обитаемости проводятся не только прямые исследования различных геологических районов Марса, но и сравнение со схожими фациальными условиями территорий на Земле. Одним из географических районов, близким по геолого-геоморфологическим и климатическим условиям являются отдельные регионы пустыни Сахара.

В работе представлены результаты обследования нескольких различных участков Сахары: озеро Ирики, гора Таджин, эоловых комплексов Эрг-Эльгуль, М-Хамид и горного хребта Джебель-Бани. Определен химический и минеральный состав отложений. Также были проведены определены количества колониеобразующих единиц (КОЕ) для бактерий и грибов. Для этого использовались методы посева на плотные питательные среды R2A и Чапека для выделения и подсчета бактериальной и грибных культур, соответственно. Приведено сравнение со схожими геологическими объектами на Марсе.

**ЕСТЕСТВЕННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЛУННЫМ
ПИЛОТИРУЕМЫМ МИССИЯМ**

**Миронов Д.Д. (ГЕОХИ РАН, ИЭ РУДН), Уварова А.В., Маковчук В.Ю.,
Турчинская О.И. (ГЕОХИ РАН),
Барбашин Д.Д. (ГЕОХИ РАН, ф-т. почвоведения МГУ)**
d.mironov@geokhi.ru; тел.:8 (926) 331 27 77)

Испытания космических приборов и аппаратуры являются необходимыми задачами для осуществления и проведения космических миссий. В настоящее время естественные земные полигоны, имеющие схожие с лунной поверхностью геолого-геоморфологические характеристики, существуют среди ведущих космических агентств, таких как NASA и ESA. Одной из ключевых задач таких полигонов является проверка корректности работы исследовательской аппаратуры, особенно актуально тестирование оборудования для обнаружения внеземной жизни.

С целью создания такого полигона были изучены пробные площадки в районе толбачинского дола. Проведены спутниковые и полевые исследования рельефа и геоморфологических свойств предварительно отобранных площадок. Изучены физические свойства отобранных грунтов, химико-минеральный состав, а также проведены микробиологические исследования для оценки возможности поиска жизни с использованием тестируемых космических приборов.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ $H_2O-LiCl-NaCl$ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ: РАСЧЕТ ПО УРАВНЕНИЯМ ПИТЦЕРА, СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

**Мисюра М.А., Бушмин С.А., Александрович О.В., Мамыкина М.Е.,
Савва Е.В. (ИГГД РАН)**

allformtg@gmail.com; тел.: 8 (911) 737 18 03

Исследования выполнены по теме FMUW-2021-0002 Госзадания ИГГД РАН

Предложена термодинамическая модель флюидной системы $H_2O-LiCl-NaCl$ в диапазоне температур от $-75^{\circ}C$ до $+300^{\circ}C$, включающая низкотемпературные фазовые переходы продуктов замораживания водно-солевых включений.

Характеристики тройных точек с твердыми фазами эвтектики (E – Лед+ $LiCl \cdot 5H_2O + NaCl \cdot 2H_2O$), перитектик (P_1 – $LiCl \cdot 5H_2O + NaCl \cdot 2H_2O + NaCl$ и P_2 – $LiCl \cdot 5H_2O + LiCl \cdot 3H_2O + NaCl$) и котектические, перитектические кривые, разделяющие фазовые поля (Лед+L, $NaCl \cdot 2H_2O + L$, $NaCl + L$), а, также, изотермы растворимости льда, гидрогалита и галита рассчитаны по уравнениям Питцера с использованием новых параметров взаимодействия $NaCl$ и соответствующих им констант равновесия. Сравнение с экспериментальными данными (Акопов, 1963) показало хорошую сходимость.

Ранее предложенная, также основанная на уравнениях Питцера, модель (Dubois et al., 2010) отличается от нашей меньшим интервалом температур (от -50 до $+100^{\circ}C$), что не позволяло рассчитать положение тройных точек и границ фазовых полей, расположенных в области более низких температур и сравнить их с экспериментальными данными.

В качестве примера приведены оценки содержания солей во флюидных включениях кварцевых жил разных генераций района Большие Кейвы Фенноскандинавского щита.

ВЕСЭПМГ 2024 – 090

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДИФТОРИДНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ
РОССЫПЕЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ПРИМОРЬЕ)**

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>)*

В титаноносных рудах и россыпях интрузий ультрабазитов Сихотэ-Алинского орогенного пояса выявлены промышленные концентрации золота. Приведены результаты исследования возможности извлечения золота из россыпей одной из таких интрузий, Ариадненской, с применением гидродифторида и сульфата аммония. Показано, что при нагревании с указанными реагентами в интервале температур до 200°C происходит фторирование входящих в состав минерального сырья компонентов с образованием простых и комплексных фторидов, дальнейшее повышение температуры приводит к их конверсии в растворимые двойные сульфаты. При этом золото концентрируется в виде нерастворимого осадка. Полученный опыт глубокой переработки россыпей позволит наметить пути промышленного освоения дальневосточных комплексных месторождений.

ДОЛИННЫЙ РЕЛЬЕФ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЗЕМЛИ КИММЕРИЯ НА МАРСЕ

Мухамеджанова А.Э. (ГЕОХИ РАН)

alinam2001@gmail.com; тел.: 8 (916) 184 07 27

На Марсе существуют формы рельефа, визуально напоминающие речные долины и русла водотоков. Одним из возможных объяснений этого факта является флювиальный характер этих образований, предполагающий наличие жидкой воды как агента формирования такого рода рельефа. Целью данной работы являлось выявление наиболее вероятного варианта происхождения долин северо-востока земли Киммерия. Были получены основные характеристики долин: их длины, ширина, уклон, продольные и поперечные профили, глубина и ширина по бровкам и днищу. Анализировалось также изменение формы и параметров поперечного профиля вниз по долинам для выяснения закономерностей развития долин. В ходе исследования было установлено, что для изучаемых долинных систем характерна разветвленность в совокупности со слабым развитием верхних звеньев эрозионной сети. Рассматриваемые долины имеют тенденцию к выработке U-образного профиля и к расширению днища по приближению к устью. Коррелятные формы рельефа (конусы выноса, террасы), обнаруженные в долинах, могут указывать на деятельность текучей воды. Вероятнее всего, рассмотренные долины формировались за счет относительно быстрой по геологическим меркам глубинной эрозии.

МАРС INGENUITY: МАЛЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ ЭОЛОВЫЕ ХРЕБТЫ В РАЙОНЕ КРАТЕРА ЕЗЕРО

Надеждина И.Е., Зубарев А.Э. (Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК))

mexlab@miigaik.ru; тел.: 8 (499) 267 35 13

Поперечные эоловые хребты (TARs) являются одним из наиболее распространенных типов эоловых объектов, наблюдаемых на Марсе с орбиты. TARs представляют собой довольно разнообразные субпараллельные хребты светлых тонов, по-видимому, перпендикулярные доминирующим направлениям ветра. Механизм их образования остается неизвестным. Недалеко от посадочной площадки "Марс 2020", в кратере Езеро, находится несколько скоплений мелких TARs. Марсианский вертолет Ingenuity пролетел над ними. Нами получены первые результаты обработки изображений «Ingenuity»: ЦМР с высоким разрешением для полос местности шириной ~20-25 м, со средним разрешением 2-7 см/пикс, что на порядок выше, чем у камеры HiRISE с орбиты. Выделяются TARs первичной и вторичной генераций. Для TARs первичной генерации шириной 5-10 м и высотой 0,3 – 0,6 м соотношение выс./шир. колеблется в пределах 0,06, что соответствует среднему уклону $\sim 7^\circ$. Это соотношение справедливо для типичных более крупных TARs в других регионах Марса, уклон характерен для участка Езеро и аналогичен земной ряби. Вторая генерация гораздо меньших эоловых хребтов встречается на обоих склонах TARs первичной генерации.

ВЕСЭПМГ 2024 – 093

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ТЕЛЕ ФРАГМЕНТОВ
КАМЕННЫХ МЕТЕОРИТОВ**

Никитин С.М. (ЛП ООО «ЛС-КАМ»), Скрипник А.Я. (ГЕОХИ РАН)

petromechanika69@mail.ru; тел.: 8 (916) 438 89 39

Согласно с результатами, полученными в последнее время при комплексном минералого-петрографическом исследовании прочностных и деформационных свойств метеоритов Царев, Ghubara и SAU-001, рассматриваются особенности распределения параметров процессов разрушения обыкновенных хондритов в статическом и динамическом режимах, Изменчивость пределов прочности на пике статической нагрузки (предел прочности при

сжатии, $\sigma_{ст}$) и параметров аномальных взрывоподобных эффектов (запредельная деформация

образцов в режиме катакластического течения - динамический предел прочности, $\sigma_{дин}$)

контролируется на основе ультразвуковых акустополаризационных измерений, Достоверность ультразвуковых данных по скоростям прохождения через образцы продольных и поперечных волн определяется параллельным использованием методов прямого и поверхностного прозвучивания на приборах разных модификаций, Результаты исследований в сопоставлении с распределением прочности внутри фрагментов метеорита Царев позволили обратить особое внимание на дискретный характер ультразвуковой анизотропии хондритов, подчеркивающий иерархичность дефектной структуры, возможно обусловленной разными событиями в истории метеоритов. Приводятся данные непосредственных измерений ряда физических показателей прочности и упругости образцов. Отмеченные эффекты могут способствовать идентификации очаговых форм ударных событий при анализе характера дробления хондр и формирования матрицы обыкновенных хондритов.

ВЛИЯНИЕ P-T ПАРАМЕТРОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ РАБДОФАНИТА (РАБДОФАНА)

Новиков М.П., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН)

novikovi@chgnnet.ru, тел.: 8 (496) 522 31 43

Вопрос устойчивости рабдофанита - водного фосфата редких земель Се-подгруппы имеет принципиальное значение при интерпретации условий образования редкоземельных месторождений, локализованных в метаморфизованных терригенных толщах. Данные о температурном пределе устойчивости минерала очень противоречивы. В данной работе приводятся результаты экспериментов по определению температуры полиморфного перехода рабдофанита, кристаллизующегося в гексагональной модификации в монацит, имеющего моноклинную структуру, а также опыты по изучению скорости превращения гексагональной фазы в моноклинную в зависимости от температуры при атмосферном давлении в сухой системе и давлении непосредственно на твердую фазу как в сухой системе и системе при непосредственном давлении H_2O равном 101,3 МПа на примере $LaPO_4 \times 0.5H_2O - LaPO_4$.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМБЛИГОНИТА И МОНТЕБРАЗИТА

**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., Вяткин С.В. (геол. ф-т МГУ)**
logor48@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 13 49

Проведено физико-химическое изучение минералов серии амблигонит LiAlPO_4F – монтебразит $\text{LiAlPO}_4(\text{OH})$ методами порошковой рентгенографии, ИК, КР и ЭПР спектроскопии, электронно-зондового и термического анализом. Методом высокотемпературной калориметрии растворения в расплаве бората свинца состава $2\text{PbO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$ при $T=973$ К на микрокалориметре Тиана-Кальве «Setaram» (Франция) получены энтальпии образования из элементов монтебразита состава $\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH})_{0.9}\text{F}_{0.1}$ (-2326.3 ± 2.2 кДж/моль) и амблигонита состава $\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}_{0.5}(\text{OH})_{0.5}$ (-2347.9 ± 3.1 кДж/моль). Рассчитаны значения $\Delta_f H_{el}^0(298.15 \text{ К})$ для минералов идеального состава: монтебразита (-2315.5 ± 2.2 кДж/моль) и амблигонита (-2401.6 ± 3.1 кДж/моль). Оценены значения стандартной энтропии $S^0(298.15 \text{ К})$ и энергии Гиббса образования $\Delta_f G_{el}^0(298.15 \text{ К})$ для конечных членов серии амблигонит–монтебразит (128.4 Дж/(моль·К) и -2258.0 кДж/моль; 136.0 Дж/(моль·К) и -2154.2 кДж/моль соответственно).

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА МАГНЕЗИАЛЬНОГО БАЗАЛЬТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВОДОРОДОМ В УСЛОВИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ).

Персиков Э.С., Бухтияров П.Г., Шапошникова О.Ю. (ИЭМ РАН),

Аранович Л.Я. (ИГЕМ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)

persikov@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 20 58

Работа выполнена в рамках темы FMUF-2022-0004 ИЭМ РАН

Получены новые экспериментальные данные по кристаллизации базальтовых расплавов при температуре 1200 °С и давлениях водорода (1.2 – 2.7 ГПа), позволяющие понять возможную роль водорода в процессах, протекающих в базальтовых расплавах на границе земной коры и верхней мантии в восстановительных условиях ($f(\text{O}_2) = 10^{-14} - 10^{-15}$). Установлено, что при кристаллизации под давлением водорода в базальтовом расплаве образуются следующие фазы: 1) более полимеризованные расплавы; 2) H_2O , растворенная в расплаве; 3) небольшие выделения расплава металла (Fe) ликвационной структуры, образовавшиеся при температуре много меньшей температуры плавления Fe; 4) низко железистые оливины, клинопироксены, плагиоклазы.

МЕТАЛ-СИЛИКАТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ В БАЗАЛЬТОВЫХ РАСПЛАВАХ,
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ВОДОРОДОМ В УСЛОВИЯХ НИЗОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ И
ВЕРХНЕЙ МАНТИИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Персиков Э.С., Бухтияров П.Г. (ИЭМ РАН), Аранович Л.Я. (ИГЕМ РАН),

Некрасов А.Н., Косова С.А. (ИЭМ РАН)

persikov@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 50 58

Работа выполнена в рамках темы FMUF-2022-0004 ИЭМ РАН

Получены новые экспериментальные данные по особенностям металл - силикатной ликвации в базальтовых расплавах при высоких давлениях водорода (1.2 – 2.7 ГПа) и температуре 1400°C. Установлено, что первоначально однородные базальтовые расплавы становятся неоднородными. H₂O (0.51 - 0.66 мас. %) растворяется в базальтовых расплавах, базальтовый расплав становится несколько более кислым, несмотря на растворение воды в нём, а мелкие металлические капли ликвационной текстуры образуются в них при температуре, значительно ниже температуры плавления металла. В наших экспериментах металлические капли образуются при температурах ниже температуры плавления железа (~ 300 °C) при атмосферном давлении. Процесс формирования жидко-подобной структуры γ -Fe (преимущественно мелкие сферы в несколько микрон) за счет окислительно-восстановительных реакций, несомненно, сложен. Характерно, что в отличие от результатов подобных опытов при умеренных давлениях водорода (например, Persikov et al., 2019), при указанных высоких давлениях происходит полное восстановление окислов железа из расплава базальта.

ВЕСЭПМГ 2024 – 098

МЕТОДЫ КОРРЕЛЯЦИИ И ПРЕДСКАЗАНИЯ ВЕЛИЧИН ПАРЦИАЛЬНЫХ МОЛЬНЫХ ОБЪЁМОВ 1-1 ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ВЫСОКИХ Т И Р

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

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

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 барической зависимости стандартных энергий Гиббса растворённых веществ (или констант равновесия соответствующих реакций) необходимо знать величины их парциальных мольных объёмов. Нами проанализированы два метода корреляции и предсказания парциальных мольных объёмов при температурах более 100 °С: 1). на основе т.н. «плотностной модели», и 2). на основе соотношений флуктуационной теории растворов. В качестве примера рассмотрены многочисленные данные для NaCl (212 точек) и NaOH (75 точек), измеренные до температур 400 °С и давлений до 400 МПа. Предварительный анализ показывает, что «плотностная модель» воспроизводит данные с точностью, близкой к погрешности данных; потенциал соотношений флуктуационной теории растворов требует дополнительных исследований.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ИОНОВ ВОДОРОДА ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ В ГЛАВНЫЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ ЛУННОГО РЕГОЛИТА

Подлепина Д.М., Ключева М.В., Дудченко В.А. (ГЕОХИ РАН)

В работе представлены результаты моделирования ионизационных потерь энергии ионов водорода при взаимодействии с основными породообразующими минералами лунного реголита, а также с кварцем. Значения максимальных ионизационных потерь, полученные с использованием программы SRIM-2013, представляют интерес для будущего эксперимента по облучению протонами, имитирующими воздействие солнечного ветра, образцов минералов, входящих в состав лунного реголита. Для отработки эксперимента будет использоваться синтетический кристаллический кварц.

Целью будущего эксперимента является определение возможности получения в лабораторных условиях “протонной” воды, которая по последним данным исследователей Zhou et al. (2022) образуется в безвоздушных условиях лунной поверхности, а также механизма и закономерностей накопления ОН- в зависимости от состава и кристаллической структуры минерала.

Предварительные расчеты показывают, что максимальные ионизационные потери для разных минералов происходят на разных энергиях протонов. Для кварца и анортита значение максимальной энергии - 80 кэВ, для оливина и пироксена – 90 кэВ, ильменита – 100 кэВ.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИАРСЕНИДА ПЛАТИНЫ

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

Чареев Д.А. (ИЭМ РАН, 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 диарсенида платины, синтетического аналога минерала сперрилита.

Порошок PtAs₂ получен методом «сухого синтеза» из простых веществ с небольшим избытком мышьяка, анализ образца показал отсутствие примесных элементов и посторонних фаз.

С помощью адиабатической калориметрии в интервале 5-355 К измерена изобарная теплоемкость (C_p), на кривой $C_p = f(T)$ аномалий не обнаружено. На основании экспериментальных данных впервые рассчитаны стандартные термодинамические функции для диарсенида платины: теплоемкость, энтропия, изменение энтальпии и приведенная энергия Гиббса. Собственное значение энтропии $S^\circ(\text{PtAs}_2, \text{к}, 298.15) = 92.56 \pm 0.19$ Дж/(моль·К), а также литературные данные были применены для оценки значения энергии Гиббса образования: $\Delta_f G^\circ(\text{PtAs}_2, \text{к}, 298.15) = -211.5$ кДж/моль.

ШОКОВАЯ МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА И СТАБИЛЬНЫЙ МАГГЕМИТ

Портнов А.М. (МГРИ)

a.m.portnov@mail.ru

Стабильный маггемит является индикатором шоковых событий на Земле и на Марсе. Морфология поверхности Марса определяется гигантскими астроблемами Эллада и Аргир (рис. 1). Равнина Эллада - выбросы $>4,5$ млн км³) и равнина Аргир - выбросы $>0,6$ млн. км³. Массивы, сложенные прокаленными выбросами, содержат маггемит (5-15%), магнитный, гамма-Fe₂O₃. Магнитная область у Южного полюса Марса связана с обилием прокаленных выбросов (> 6 млн. км³ грунта). Магнитные аномалии с маггемитом установлены аэрогеофизической съемкой в бассейне Вилюя, на периферии Попигайской астроблемы. Маггемит $a^0 = 0,832$ нм, содержит Th 80 г/т, сумма REE 0,3%, примеси Au, Ir, Pt, Pd. Астроблемы Эллада, Аргир создали трещину Маринер и «вулканы» Олимп, объемом 4,0 млн. км³ и др. «Вулканы» не отражаются в максимумах магнитного поля, но они проявлены в низких гравитационных полях и представлены замерзшими гейзерами.

ПОЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ В СИСТЕМАХ Cu-Fe-S И Cu-Fe-Se В ЛЕГКОПЛАВКИХ СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ

Пузанова И.Г. (Универ. науки и технологий МИСИС, ИЭМ РАН),

Попов Е.А. (Гос. Универ. «Дубна», ИЭМ РАН),

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

Irina.Gen.Puzanova@yandex.ru; тел.: +7 (999) 874 75 71

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ № НШ-2394.2022.1.5

Работа посвящена синтезу кристаллов в системах Cu-Fe-S и Cu-Fe-Se, аналогов природных минералов. Кристаллы были синтезированы из порошкообразной шихты, в вакуумированных кварцевых ампулах, заполненных соевым расплавом RbCl-LiCl эвтектического состава. В эксперименте использовали два вида ампул, стандартные и длинные. Все ампулы имели внутренний диаметр 8мм и толщину стенки 2мм, стандартные имели длину 110мм, длинные имели длину 200мм. Для стандартных ампул температура горячего конца составляла 520 - 469°C, а холодного конца 456 - 415°C. Для длинных: 470°C – горячий конец и 340°C – холодный.

Монокристаллы были изучены с помощью рентгеноспектрального анализа. В зависимости от состава шихты получены кристаллы халькозина Cu₂S, борнита Cu₅FeS₄, халькопирита CuFeS₂, изокубанита CuFe₂S₃, Cu₃₀Fe₂₄Se₄₆, железосодержащего сульфида димеди с содержанием железа до 8 ат%, различные равновесные ассоциации с их участием и с участием пирита FeS₂ и пирротинов Fe_{1-x}S. На примере систем Cu-Fe-S и Cu-Fe-Se показана возможность получения кристаллов сульфидных минералов в соевом расплаве RbCl-LiCl, начиная с температуры эвтектики 313°C.

ОСОБЕННОСТИ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МАЛОСУЛЬФИДНЫХ АНОРТОЗИТОВ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА (СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

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

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

Грант РФФ № 23-77-01036

При изучении анортозита из главного платинометалльного рифа Йоко-Довыренского массива методом компьютерной томографии (КТ) была обнаружена сульфидная глобула размером около 5 мм в диаметре. Такая морфология сульфидных сегрегаций крайне нетипична для Довыренских анортозитов, в которых, как правило, сульфиды формируют прослой и линзы из тонкой интерстициальной вкрапленности в плагиоклазовом матриксе.

Детальное изучение этого образца позволило установить, что данная сульфидная глобула обеднена минералами платиновой группы, в то время как небольшое (3-4 мм) гнездо рассеянных сульфидов рядом с ней - крайне обогащено МПГ. В ходе минералогических исследований было установлено, что глобула состоит из продуктов распада Iss, а также тесно ассоциирует с ортопироксеном, ильменитом и Cl-апатитом. Находящаяся в нескольких мм от глобулы гнездо сульфидов схожего состава обогащено МПГ, при этом преобладает тетраферроплатина (PtFe) с подчиненным потаритом (PdHg), а пентландит содержит до 1.6 мас% палладия.

Нахождение в непосредственной близости двух комплементарных минералогических «аномалий» может свидетельствовать об их первичной генетической связи, и перераспределении в пространстве ЭПГ с участием постмагматических флюидов.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ ПЛАТИНЫ И СУРЬМЫ

**Редькин А.Ф. (ИЭМ РАН), Ионов А.М. (ИФТТ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН),
Подображных А.Д. (МГУ), Можчиль Р.Н. (ИФТТ РАН)**

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

Работа выполнена в рамках темы FMUF-2022-0003 государственного задания ИЭМ РАН

Исследования, проведенные в NaF-содержащих гидротермальных флюидах, показали, что оксидные соединения Sb^{5+} не устойчивы при $800^{\circ}C$, $P_{общ} = 200$ МПа и fO_2 (fH_2), заданной Co-CoO и Ni-NiO буферами, взаимодействуют с материалом Pt ампулы, образуя на внутренней поверхности ампулы интерметаллиды сурьмы с платиной $Pt_{90.1\pm 0.8}Sb_{9.9}$ ($\sim Pt_{10}Sb$), $Pt_{83.0\pm 0.7}Sb_{17}$ ($\sim Pt_5Sb$). Предложен механизм образования указанных Pt-Sb фаз и исследованы их свойства методами СЭМ (SEM), РФА (XRD), РФЭС (XPS).

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Родкин М.В. (ИПНГ РАН, ИМГиГ ДВО РАН), Пунанова С.А. (ИПНГ РАН),
Мартынова Г.С. (Институт Геологии и Геофизики Министерство науки и образования
Азербайджана)**

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

Работа выполнена в рамках плана ИПНГ РАН (тема «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла», № 122022800253-3) и тематического плана ИГГ Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (тема «Флюидодинамика зоны конвергенции Черноморско-Каспийского сегмента Евразийской и Аравийской плит»)

В работе представлены результаты геохимических исследований продуктов деятельности грязевых вулканов и нефтей месторождений западного борта Южно-Каспийской впадины. Исследованы микроэлементный, углеводородный и компонентный составы нефтидов из Абшеронской, Шамаха-Гобустанской и Нижнекуринской областей Азербайджана. Сравнение содержаний микроэлементов в пробах нефтей и в нефтепроявлениях, а также изотопных характеристик и биомаркерных показателей свидетельствует о едином генезисе нефтидов. Отмечается, что в изучаемых регионах концентрации микроэлементов в нефтепроявлениях грязевых вулканов существенно выше, нежели, в среднем, в нефтях. Явление может быть связано с процессами гипергенного преобразования нефтепроявлений грязевых вулканов, потерей, улетучиванием легких фракций, процессами окисления и биodeградации и соответствующим повышением смолисто-асфальтеновых компонентов, содержаний в них микроэлементов и изменением биомаркерных показателей. Это может иметь место, если условия грязевого вулканизма обеспечивают лучшую, по сравнению со средними нефтями, потерю легких компонент. С другой стороны, выявленная связь коэффициентов корреляции микроэлементного состава вод грязевых вулканов Азербайджана с составом земной коры среднего уровня может свидетельствовать о возможно дополнительном источнике микроэлементов и о вовлеченности в процессы нефтегазообразования глубинных горизонтов.

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ
С ГЛУБИНОЙ В ЛИТОСФЕРЕ

Родкин М.В. (*Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, ИФЗ РАН*)

rodkin@mitp.ru

Процесс сейсмического или асейсмического разрушения зависит от величины приложенных напряжений, температуры, характера флюидного режима, метаморфических процессов. В самых верхних горизонтах земной коры доминирующим фактором является величина напряжений. С ростом глубины начинают играть и другие факторы. Эти воздействия проявляются в изменениях средних параметров сейсмичности с глубиной. Обычные каталоги землетрясений позволяют определить зависимость числа событий и величин наклона графика повторяемости землетрясений от глубины. Дополнительную информацию дают более подробные данные, доступные в каталоге сейсмических моментов GCMТ. Наряду с упомянутыми выше характеристиками можно рассмотреть тенденции различия глубин землетрясений по положению гипоцентра и по решению сейсмического момента, разницу магнитуд землетрясений (M_w - M_b). В совокупности такие осредненные зависимости позволяют выявить изменения характера сейсмического разрушения ввиду изменений вклада и характера флюидного режима и основных процессов преобразования горных пород с глубиной (метаморфизма, фазовых переходов). Полученные данные позволяют рассмотреть изменение с глубиной физики сейсмического процесса более подробно, чем в случае разделения их на неглубокие, промежуточные (в которых особенно велика роль флюида), и глубокие (определяемые фазовыми превращениями).

МЕТОД ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОННОЙ ВОДЫ В ЛУННОМ РЕГОЛИТЕ

Роскина Е.Г., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)

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

Описывается применение метода термодесорбционной масс-спектрометрии для исследования имплантированных летучих компонентов в образцы кварца. Метод позволяет исследовать процессы взаимодействия ионизирующего излучения с силикатами, алюмосиликатами и окислами, а также изучать механизмы химической и структурной модификации минералов и содержания протонной воды в зависимости как от энергии и дозы ионов, так и от химического состава и структуры кристаллической решетки основных породообразующих минералов лунного реголита.

Также метод позволяет дополнительно определить температурные интервалы существования полиморфных промежуточных несовершенных фаз в исследуемых монокристаллах силикатов, а также частоту собственных колебаний всех регистрируемых молекул на внешней и внутренней поверхности нанопор исследуемых силикатов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СКАНДИЯ, ИТТРИЯ И ЛИТИЯ
МЕЖДУ РАСПЛАВАМИ И ВОДНЫМ ФЛЮИДОМ ПРИ 800°C, 1 И 2 КБАР

Русак А.А. (ГЕОХИ РАН), Щекина Т.И., Зиновьева Н.Г., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)

rusak@geokhi.ru; тел.: 8 (495) 939 70 05

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

Экспериментально изучено распределение редкоземельных элементов (РЗЭ), скандия, иттрия и лития между алюмосиликатным (L) и алюмофторидным (LF) расплавами и водным флюидом (F1) при 800°C, 1 и 2 кбар. Показано, что все РЗЭ преимущественно распределяются в пользу алюмофторидного расплава. Самой обедненной фазой по РЗЭ, Sc, Y и Li является водный флюид. Концентрация лития в водном флюиде на 1 – 2 порядка ниже, чем в алюмосиликатной и солевой фазах. Коэффициенты разделения лития ($KD_{Li}(F1/L)$) между водным флюидом и алюмосиликатным расплавом составляют 0.0009 – 0.04 при 800°C и 2 кбар. Характеры спектров РЗЭ в этих фазах подобны друг другу, но в опытах с содержанием воды в системе 2,44 и 11,11 мас. % при 2 кбар наблюдаются максимумы по празеодиму и неодиму. Также имеются отличия в распределении иттрия, скандия и лития между водным флюидом и алюмосиликатным расплавом. Коэффициенты разделения иттрия понижаются по сравнению с РЗЭ при увеличении концентрации воды от 2.44 до 4.94 мас. % при 800°C и 2 кбар. Коэффициенты разделения скандия повышаются для всех опытов при содержании воды от 2,44 до 12,89 мас. %, за исключением опыта с 4,94 мас. %. Наблюдается небольшое увеличение коэффициентов разделения между водным флюидом и алюмосиликатным расплавом от легких РЗЭ к тяжелым. Таким образом, можно утверждать, что водная флюидная фаза в модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H с разным содержанием воды от 2 до 13 мас. %, характеризуется наиболее низкими концентрациями РЗЭ, Sc, Y и Li, тогда как солевая фаза, отделившаяся от алюмосиликатного расплава при 800°C, накапливает наибольшее количество РЗЭ с коэффициентами значительно больше единицы ($KD_{РЗЭ}(LF/L) \gg 1$). Предполагается, что именно солевой расплав, богатый щелочными элементами и фтором и отделяющийся на последних стадиях дифференциации гранитного расплава, является концентратором редкоземельных элементов.

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

salavatova-jamilya2012@yandex.ru; тел.: 8 (922) 350 46 64

Некорректное обращение со ртутью и ее соединениями часто влечет за собой цепочку экологических проблем. Город Усолье-Сибирское известен благодаря последствиям работы комбината ртутного электролиза. За время работы предприятия «Усольехимпром» суммарные выбросы ртути превысили 1700 т. Одним из способов устранения ртутного загрязнения является создание геохимических барьеров. Поскольку территория довольно большая по площади, барьер должен быть проницаемым во избежание заболачивания местности. Сотрудниками геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова предложен сорбент, представляющий собой песчано-гелевый материал (ПГМ) на базе щавелево-алюмосиликатного гелеобразующего раствора. Настоящее исследование посвящено изучению адсорбционных свойств ПГМ в отношении ионов ртути (II) в присутствии других металлов (никель, медь, цинк и свинец). Показано, что изучение адсорбции в статических условиях является некорректным, поскольку при контакте с сорбентом в раствор переходят оксалаты, образующие устойчивые комплексы со ртутью. Величина адсорбции ртути на ПГМ по результатам прокачки полиэлементного раствора достигает 400 мкг/г. Показано, что адсорбция металлов на сорбенте уменьшается в ряду Hg – Pb – Cu – Zn – Ni.

РОЛЬ МИКРОБНЫХ БИОПЛЕНОК В ФОРМИРОВАНИИ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ
БАРЬЕРОВ В ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ С УРАНОВЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

Сафонов А.В., Попова Н.М. Артемьев Г.Д. (ИФХЭ РАН)

alexeyasafonof@gmail.com; тел.: 8 (916) 912 10 59

Работа поддержана грантом РФФ № 24-27-00319

Загрязнение верхних водоносных горизонтов ураном и другими растворимыми компонентами происходит при их инфильтрации из шламохранилищ предприятий добычи и переработки урановых руд, обогащения урана. Попадание в подземные воды биофильных элементов приводит к интенсификации микроорганизмов цикла азота, серы и железа, способных приводить к существенному изменению физико-химических параметров водоносных горизонтов и формированию аутигенных минеральных фаз, играющих роль биогеохимического барьера для урана. В данной работе проведена оценка роли микробных биопленок в аккумуляции минералообразующих элементов в подземных водах и дальнейшем формировании аутигенных минералов биогеохимического барьера. В микробных полисахаридах происходит аккумуляция фосфора, кальция, железа, серы. На первом этапе происходит формирование карбонатных и фосфатных минералов, способствующих иммобилизации урана. При дальнейшем снижении редокс-потенциала формируются сульфидно-железистые минералы, предотвращающие риск повторного окисления урановых фаз.

ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ CO₂ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ МЕТАМОРФИЗМЕ.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Сафонов О.Г., Ходоревская Л. И., Спивак А.В., Косова С. А.,
Вьюрус А.А., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)**
khodorevskaya@mail.ru; тел.: 8 (916) 651 25 53

Баланс CO₂ в континентальной коре складывается как из внешних, так и внутренних источников. Внешние источники обычно связывают с дегазацией магм, генерирующихся в верхней мантии. Внутренние источники CO₂ связаны с изначальным присутствием углеродсодержащих минералов (прежде всего, карбонаты и графит) в протолите, подвергающемуся метаморфизму. В докладе представляются результаты экспериментального исследования двух моделей. Первая модель представляет взаимодействие гранат-двуслюдяного сланца при 900°C и 5 кбар с флюидом, в котором $X_{CO_2} = 0, 0.5$ и 1.0 . Вторая модель воспроизводит образование CO₂, сформированного *in situ*, вследствие реакций окисления графита, содержащегося в сланце, за счет O₂, выделяющегося при восстановлении Fe в железомagneзиальных минералах сланца. В той и другой моделях CO₂ частично растворяется в расплавах в виде карбонатных комплексов Ca, Mg, K и наблюдается в виде свободной флюидной фазы – газовых включениях.

ФЕНИТИЗАЦИЯ В КСЕНОЛИТЕ ОРТОПИРОКСЕН-КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВОЙ ПОРОДЫ ИЗ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, ЯКУТИЯ

Селютина Н.Е. (ИЭМ РАН, Университет Отаго), Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН, МГУ), Дымшиц А.М., Гладкочуб Е.А. (ИЗК СО РАН), Япаскурт В.О. (МГУ), Варламов Д.А. (ИЭМ РАН), Шарыгин И.С. (ИЗК СО РАН)
seliutinane@gmail.com; тел.: 8 (916) 818 97 77

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-77-10073

Данная работа посвящена изучению P-T и флюидных условий преобразования ксенолита ортопироксен-кварц-полевошпатовой породы из кимберлитовой трубки Удачная, Якутия. В этой породе с первичной ассоциацией Pl+Qz+Orx+Kfs обширно развиты метасоматические каймы и прожилки по границам зерен плагиоклаза и ортопироксена, представленные ассоциациями эгирина или эгирин-авгита с калиевым полевым шпатом, а также каймы волластонита по кварцу. Порода характеризуется обогащением по LREE ($La_N/Yb_N = 28.39$), ярко выраженной положительной Eu-аномалией (3.87) и соотношением $Gd_N/Yb_N = 2.05$. Такие ассоциации кайм и геохимические характеристики породы характерны для процессов фенитизации, связанных с карбонатитовыми магмами. Ассоциации эгирин-авгита с щелочным полевым шпатом также хорошо известны в экспериментах по взаимодействию пород тоналит-трондьемитового состава с флюидами $H_2O-CO_2-(K,Na)Cl$. Моделирование с помощью метода псевдосечений (PERPLE_X) показало условия равновесия первичной ассоциации ксенолита - 570°C и 9 кбар. Подобные метасоматические преобразования ранее не были известны среди пород ксенолитов мафических и фельзических гранулитов в кимберлитах Якутской кимберлитовой провинции.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ Ge-СОДЕРЖАЩЕЙ СЛЮДЫ

**Сеткова Т.В., Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Горелова Л.А., Верещагин О.С. (СПбГУ),
Ковалев В.Н., Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН)**

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

Источники финансирования: Грант РФФ № 24-27-00078

В гидротермальных щелочных условиях при температуре 600/650°C и давлении 100 МПа синтезированы пластинчатые кристаллы с новым составом $\text{NaAl}_2(\text{AlGe}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ размером до 700 мкм. Кристаллы характеризуются моноклинной пространственной группой $C2/c$, $a=5.227(3)\text{\AA}$, $b=9.073(5)\text{\AA}$, $c=19.607(15)\text{\AA}$, $V=926\text{\AA}^3$, по химическому составу отвечают Ge-аналогу парагонита $(\text{NaAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2)$, а по структурным и спектроскопическим характеристикам близки к фенгиту $\text{KAl}_{1.5}(\text{Mg,Fe})_{0.5}(\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{3.5}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$.

ВЫРАЩИВАНИЕ НА ЗАТРАВКУ V-СОДЕРЖАЩЕГО ТУРМАЛИНА

Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), Верещагин О.С. (СПбГУ),

Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Горелова Л.А. (СПбГУ)

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

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0002

В данной работе гидротермальным методом температурного перепада при 600/650°C и 100 МПа в растворах борной кислоты на эльбаитовые затравки впервые были выращены кристаллы высоко ванадиевого турмалина. Диагностику фаз проводили с использованием электронно-зондового микроанализа (Tescan Vega II XMU с INCA Energy 450) и КР-спектроскопии (Acton SpectraPro-2500i). Новообразованный слой V-содержащего турмалина в направлении пинакоида достигает толщины 700 мкм. Распределение ванадия в выросшем слое имеет равномерный характер, его содержание составляет 13.6 мас. % V_2O_3 или 2.05 формульных единиц. В продуктах опытов диагностированы кристаллы V-содержащего турмалина спонтанного зарождения, а также другие побочные фазы: еремеевит, алюминиевый борат и оксид ванадия (V).

МОДИФИЦИРОВАНИЕ МЕТОДА ПОЧВЕННЫХ ВЫТЯЖЕК ДЛЯ ГЕОХИМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ АРИДНЫХ ЛАНДШАФТОВ

**Силаев М.В., Гроховский В.А., Ковальский А.М. (ИЦ Арамко),
Питер Биркли (Сауди Арамко, Центр разведки и нефтяной инженерии)
andrey.kovalskii@aramcoinnovations.com; тел.: +7 (495) 478 15 00 (1053)**

Засоление почв - процесс характерный для засушливых регионов и приводящий к деградации плодородных земель. Однако, кроме негативного влияния на ландшафты аридных зон, засоление является ключевым геохимическим показателем типа и состава окружающей среды. Например, определение солевого состава почв, способствует выявлению геохимических аномалий по ряду привнесенных компонентов, и может служить характерным репером источника аномальных концентраций стратегических металлов, накапливаемых в приповерхностном слое. Метод почвенных вытяжек – эффективный способ экстракции водорастворимых форм элементов для выявления таких аномалий.

С целью минимизации предела обнаружения щелочных и щелочноземельных элементов, проведено модифицирование метода почвенных вытяжек для геохимического картирования аридных ландшафтов. Исследованы отобранные с поверхности 32 образца засоленных почв типичной аридной зоны, для которых определены содержания элементов I и II группы периодической системы. Приготовленные экстракты образцов почв анализировались методом ICP-OES на приборе iCAP 7400 Duo с двойным обзором плазмы.

Несмотря на общее геологическое прошлое исследуемого ландшафта и относительную близость (10–15 м) точек пробоотбора, выявлены существенные аномалии в содержаниях элементов. Так, содержание Ca и Sr, в нескольких образцах превышало медианное значение до 12 раз. В одном образце почв обнаружена существенная аномалия по содержанию Li, Na, K, Be с превышением до 40 раз относительно медианы. Полученные аномалии демонстрируют большую вариабельность содержания металлов в подвижной форме и способствуют локализации источника привноса редких стратегических элементов.

Модифицированная методика исследования и анализа водорастворимых форм элементов в поверхностном слое показала свою эффективность. Далее, на основе разработанной методики, для локализации источника геохимических аномалий будут определены содержания элементов в нижележащих горизонтах почв.

Pt и Pd в МАЛОВОДНОМ ФЛЮИДЕ C-O-Cl-(H) ПРИ РТ ПАРАМЕТРАХ
РУДООБРАЗОВАНИЯ УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВЫХ ИНТРУЗИЙ

**Симакин А.Г., Шапошникова О.Ю., Девятова В.Н. (ИЭМ РАН),
Исаенко С.И. (ИГ УрО РАН, Сыктывкар), Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН)**

simakin@iem.ac.ru тел.: 8 (495) 522 58 53

Работа поддержана грантом РНФ №23-27-00252

Исследовано поведение Pt и Pd в маловодном флюиде с преобладанием CO_2 и CO в присутствии углерода (буфер CCO) при $T=950-1000^\circ\text{C}$ и $P=200$ МПа. Летучесть хлора буферировалась равновесием $\text{FeCl}_2 + 1/2\text{Cl}_2 = \text{FeCl}_3$ на уровне около $\lg\text{Cl}_2 = -(7 \div 7.5)$, что на несколько порядков ниже фугитивности устойчивости PtCl_2 . Значительного роста растворимости платины по сравнению с безхлорной системой не обнаружено. Палладий демонстрирует растворимость близкую к растворимости платины во флюиде C-O-Cl-(H) при изученных РТ условиях. Рамановские спектры указывают на наличие в закалочных экспериментальных фазах карбонильных комплексов платины и наноразмерных частиц самородной платины. Проявлений смешанных карбонильно-хлоридных комплексов в закалочных фазах не обнаружено. Для изучения возможного максимального проявления активности хлора в маловодных восстановительных условиях поставлены эксперименты с расплавом NaCl при летучести хлора, задаваемой буфером Ag-AgCl - $\lg\text{Cl}_2 = -(6.4)$. Растворимость платины в расплаве NaCl в этих условиях составляет около 20 ppm, что примерно на порядок меньше, чем во флюиде в карбонильной форме.

ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИАКРИЛАМИДНОГО ГЕЛЯ И МЕТОДА РЕНТГЕНОВСКОЙ
ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Симакина Я.И., Кузьмина Т.Г., Михайлова А.В., Сенин В.Г. (ГЕОХИ РАН)

yana.igorevna@list.ru, тел. 8 (499) 939 70 66

Исследован химический состав воды малых болотных рек бассейна озера Селигер (Тверская область). Известно, что минеральный состав воды отражает результат ее взаимодействия с другими средами – подстилающими и почвообразующими породами. В качестве нейтральной для РФА предложена твердая матрица полимерного геля на основе полиакриламида. Химическая пробоподготовка не требуется. В пробу воды вносят гидрогель и высушивают. Вода испаряется, а все компоненты остаются в гидрогеле. Анализ спектров РФА показал, что от полимерной матрицы мешающего влияния нет, окрашенные органические и неорганические соединения также не мешают. Проведенные нами экспериментальные работы показывают возможность определения Mg, Al, Si, Ca, Fe, Mn, Sr. Можно заключить, что в настоящее время вода в реках чистая, антропогенно не загрязнена. Повышенные содержания железа и гидрохимических показателей (мутности, цветности, перманганатной окисляемости) характерно для болотных рек и имеют природный характер. Содержание Fe, Al, Ca, Si и некоторых других элементов соответствует составу коренных пород Валдайской возвышенности (известняки, мергель и глины).

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ВСЕРХКРИТИЧЕСКОГО ФЛЮИДА В КАРБОНАТ И ХЛОРСОДЕРЖАЮЩЕМ ПЕЛИТЕ

Сокол А.Г., Козьменко О.А., Крук А.Н. (ИГМ СО РАН)

sokola@igm.nsc.ru, тел.: 8 (383) 330 75 01

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект 22-17-00005)

Сверхкритический флюид, образующийся при дегидратации и декарбонатизации богатого летучими пелита при 5,5-7,8 ГПа и 850-1090 °С, обогащен H₂O, CO₂, SiO₂, Al₂O₃ и K₂O. С ростом P-T параметров в нем снижается содержание Al₂O₃, но растет концентрация K₂O и практически всех микроэлементов. Минимальное увеличение концентрации наблюдается для Sr и HFSE (Ti, Zr, Hf). Наиболее существенный рост фиксируется для LILE (K, Rb), LREE, Th и U. Фракционирование микроэлементов между флюидом и эклогитоподобным реститом контролируется присутствием минералов-концентраторов и фракцией флюида. Коэффициенты фракционирования Ba, Sr, LREE, Th и U максимальны при 5,5 ГПа и 850°С. Увеличение содержания карбоната кальция в пелите приводит к увеличению доли сверхкритического флюида и росту в нем содержания CO₂. Снижается стабильность в рестите фенгита и циркона, а устойчивость карбоната растет. Концентрации микроэлементов во флюиде меняются слабо (Ba, U, P, Nb), либо снижаются (Sr, Th, LREE, Zr, Hf). Коэффициенты фракционирования наиболее несовместимых элементов снижаются из-за роста доли флюида.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВКЛЮЧЕНИЙ В АЛМАЗЕ Т. ЗАПОЛЯРНАЯ (ЯКУТИЯ), ПО
ДАНЫМ КР-СПЕКТРОСКОПИИ

**Спивак А.В., Кузюра А.В. (ИЭМ РАН), Криулина Г.Ю. (геол. ф-т МГУ),
Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН), Скрябина А.В. (геол. ф-т МГУ), Голунова М.А.,
Шарапова Н.Ю. (ИЭМ РАН)**

spivak@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 587 76

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

Методом КР-спектроскопии был исследован кристалл алмаза из т. Заполярная Якутской алмазонасной кимберлитовой провинции. В нем обнаружено более 20 различных включений. Из идентифицированных минеральных фаз большинство являются гранатами, также было обнаружено включение граната совместно с рутилом, несколько включений карбонатов (кальцит и магнезит), пироксенов – омфацитов и диопсидов, в том числе в сростании с кальцитом. По положению основных мод в гранатах был рассчитан минеральный состав. В изученных гранатных включениях пироповый (0.40-0.47) минал преобладает над альмандиновым (0.33-0.41), при содержании гроссулярового минала 0.19-0.21. Изученные включения отнесены к перидотитовому парагенезису.

СИНТЕЗ НОВОГО СОЕДИНЕНИЯ GaGeO₃OH - АНАЛОГА ФАЗЫ EGG

**Спивак А.В., Сеткова Т.В., Искрина А.В., Кузюра А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН),
Хасанов С.С. (ИФТТ РАН), Квас П.С. (МГУ)**

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 граничную систему Ga₂O₃-GeO₂-H₂O в качестве высокобарных моделей для изучения фазовых соотношений в алюмосиликатных системах. В связи с этим, начата серия тестовых экспериментов по фазовым отношениям в системе GeO₂-Ga₂O₃-H₂O при 6 ГПа и температуре 950°С. В результате была синтезирована новая фаза состава GeO₂ – 43,6 Ga₂O₃ – 42,50 мас% (сумма до 90 масс. %) с размером кристаллов до 10 мкм. Методом порошковой рентгеновской дифракции определены структура и параметры ячейки. Изучаемая фаза кристаллизуется в пространственной группе $P2_1/n$ с параметрами ячейки $a=7.576(4)$ Å, $b=4.469(4)$ Å, $c=7.245(2)$ Å, $\beta=97.520(2)^\circ$, $V=242.68(8)$ Å³. Полученные структурные характеристики Ga, Ge-аналога превышают значения параметров ячейки для фазы Mg-Egg, вследствие большего размера катионов.

РАСТВОРИМОСТЬ ФЕНАКИТА В АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

**Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Дамдинов Б.Б. (ЦНИГРИ), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН),
Дамдинова Л.Б. (ГИН СО РАН), Хубанов В.Б. (ГИН СО РАН)**

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

Растворимость фенакита (Be_2SiO_4) в алюмосиликатных расплавах экспериментально изучена при $T=1000$ и 1100°C и $P=1$ и 4 кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас. % H_2O . Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпайтности ($1-2.5$), а также природный фенакит. Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа, содержание бериллия – методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией.

Установлено, что растворимость фенакита зависит от состава алюмосиликатного расплава, возрастая с увеличением его агпайтности ($(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$), причем в водосодержащих расплавах растворимость BeO выше, чем в сухих. Наблюдается также увеличение растворимости с ростом давления.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют в пользу модели концентрирования бериллия в остаточных щелочных водосодержащих расплавах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ КАССИТЕРИТА В АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

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 касситерита (SnO_2) 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 касситерит. Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа. Для оценки растворимости касситерита в алюмосиликатном расплаве использовалась методика измерения диффузионного профиля содержания SnO_2 в закалочном стекле от границы кристалла.

Было обнаружено, что растворимость касситерита зависит от состава алюмосиликатного расплава, увеличиваясь с увеличением его агпаитности $((\text{Na}+\text{K})/\text{Al})$. При этом содержания SnO_2 в водосодержащем расплаве выше, чем в сухом. При исходной агпаитности стекла от ~1.5 до ~2 в сухих системах вокруг кристаллов касситерита образуется ореол мощностью от 20 до 500 мкм с повышенной щелочностью и содержанием от 6.8 до 22 мас.% SnO_2 . При исходной агпаитности стекла ~2.5 наблюдается образование кристаллов, состав которых отвечает теоретической формуле $(\text{K},\text{Na})_2(\text{Sn},\text{Si})_4\text{O}_9$.

ГЕНЕЗИС Au-Ag МИНЕРАЛИЗАЦИИ В СФАЛЕРИТОВЫХ РУДАХ ПО ДАННЫМ
ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ZnS-Ag-Au- И ZnS-Ag-Au-Sn

Таусон В.Л., Липко С.В., Бабкин Д.Н., Смагунов Н.В., Белозерова О.Ю. (ИГХ СО РАН)

vltauson@igc.irk.ru; тел +7 (395) 242 99 67

Проект ФНИ № 0284-2021-0002

Изучено образование сфалерита с примесями Au и Ag в процессе гидротермальной кристаллизации ZnS при 450 °С и давлении 100 МПа. Примесь Sn использовалась в качестве источника дефектов в кристаллах, моделирующих взаимодействие Au и Ag с вакансиями. Растворимость Ag в “чистом” маложелезистом сфалерите оценена как 3.8 ± 0.7 мкг/г, Au – ≤ 0.6 мкг/г. Основными формами нахождения Au и Ag являются включения фаз $(Ag, Au)_xS$, в которых x варьирует от 1.8 до 2.1, а содержание Au – от 0.01 до 0.75 ф.е. В присутствии Sn растворимости Au и Ag в сфалерите возрастают. Поведение Au соответствует реакции замещения $Sn^{4+} + Au^+ + v^- \leftrightarrow 2 Zn^{2+}$. Вхождение Ag, по-видимому, больше зависит от условий по fS_2 и не коррелирует с Sn. Для обоих благородных металлов (БМ) наблюдается рост коэффициентов распределения и сокристаллизации, при этом Au переходит из несовместимых в категорию высоко когерентных элементов в сфалерите. В реальных геохимических обстановках эволюция первоначально “невидимых” форм БМ при метаморфизме и ремобилизации рудного вещества может приводить к выделению Ag и Au, агрегирующихся в микрочастицы.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЛАТИНЫ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

**Тюрин А.В. (ИОНХ РАН), Чареев Д.А. (ИЭМ РАН, Гос. Универ. «Дубна»),
Полотнянко Н.А. (Гос. Универ. «Дубна»), Хорошилов А.В. (ИОНХ РАН),
Чареева П.В. (ИГЕМ РАН)**

tyurin@igic.ras.ru; тел.: +7 (495) 775 65 85 (доб. 343)

Работа является продолжением исследований термодинамических свойств халькогенидов благородных металлов, встречающихся в природе в виде минералов. Порошки дисульфида, диселенида и дителлурида платины синтезированы из простых веществ в вакуумированных кварцевых ампулах, образцы изучены с помощью рентгенофазового и рентгеноспектрального анализа.

Методами адиабатической, релаксационной и дифференциальной сканирующей калориметрии измерена изобарная теплоемкость PtS_2 , $PtSe_2$ и $PtTe_2$ в широком интервале температур, для образцов рассчитаны коэффициенты уравнений Майера-Келли, определены стандартные термодинамические функции: теплоемкость, энтропия, изменение энтальпии и приведенная энергия Гиббса. Использование собственного значения энтропии и литературных данных по энтальпии образования для дихалькогенидов платины позволило оценить энергии Гиббса образования $\Delta_f G^\circ(PtX_2(k))$ при 298.15 К.

ХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ГРАНАТА И РАЗНООБРАЗИЕ ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В
ЭКЛОГИТ-ГЛАУКОФАНСЛАНЦЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Федькин В.В. (ИЭМ РАН)

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

РФФИ № 05-05-64561, 05-07-90318, НИР № 0231-2015-0002

Уникальные свойства граната сохранять и менять свой состав под влиянием условий метаморфизма используются при изучении коровых эклогитов Максютковского комплекса (Южный Урал), где он в парагенезисе с Срх, Pl и Qtz образует практически единственный и наиболее надежный парагенезис для изучения параметров метаморфизма. Дополнительные исследования состава и зональности граната, выполненные в высокобарных породах комплекса, показали разнообразные вариации его химической неоднородности, вызванные частой сменой P-T условий кристаллизации на фоне скоротечности и, возможно, термодинамической неравновесности метаморфических процессов. В многоступенчатой истории Максютковского комплекса метаморфизм носит возвратно-пульсационный характер, когда явления проградного и ретроградного метаморфизма неоднократно повторяются, а P-T тренды, построенные по составам Grt-Срх парагенезиса, образуют сопряженные пары, характеризующие режимы отдельных этапов (циклов) развития террейна. По крайней мере, четыре таких цикла зафиксированы по данным микрозондовых исследований Grt-Срх-Pl-Qtz ассоциации. Каждый цикл имеет определенную привязку по времени и фиксируется новообразованием породообразующих фаз, сменой их состава и/или характера зональности. В совокупности они образуют единый тренд ретроградной эволюции метаморфизма и имеют некие общие черты, характерные для всего комплекса, позволяя восстановить термобарическую историю его формирования.

КОГЕРЕНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ РАЗВИТИЯ РЕТРОГРАДНОГО МЕТАМОРФИЗМА ПРИ ЭКСГУМАЦИИ ЭКЛОГИТ-ГЛАУКОФАНСЛАНЦЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Федькин В.В. (ИЭМ РАН)

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

РФФИ № 05-05-64561, 05-07-90318, НИР № 0231-2015-0002

На примере Максютковского (Южный Урал) эклогит-глаукофансланцевого комплекса рассматриваются процессы и события возникновения и развития субдукционной структуры коровых эклогитов. Приведены основные характеристики начальных этапов формирования комплекса: возраст и геохимия протолита, валовый состав пород, вовлеченных в процесс погружения, тектоническая позиция коровых фрагментов зарождающейся коллизии, физико-химические условия погружаемой плиты, приведшие к образованию высокобарных минеральных ассоциаций с участием алмаза и коэсита. Особое внимание уделено наиболее информативным когерентным процессам эксгумационного периода, от пиковых условий метаморфизма в поле устойчивости высокобарных минералов до образования метасоматизированных базальтов, офиолитовых комплексов и низкотемпературных гидротермальных замещений. На ретроградной стадии развития комплекса устанавливается 4-х этапный возвратно-пульсационный характер метаморфизма. Причины и условия его возникновения, скорее всего, определяются скоротечностью и неравновесностью минеральных преобразований. Возможны и другие причины, например, высокая плавучесть погружаемых пластин и их флюидная насыщенность в УНР условиях. В этом процессе проградные и ретроградные тренды Grt-Cpx парагенезиса образуют сопряженные пары с близкими РТ параметрами, характеризующие условия отдельных этапов развития комплекса, а в совокупности – всю термобарическую историю его формирования. На заключительных стадиях развития комплекса проявляются сопряженные процессы метаморфизма высокобарных пород и их метасоматических преобразований совместно с вмещающей матрицей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОЛЕКУЛ S₆ В МИНЕРАЛАХ ГРУППЫ СОДАЛИТА С ПОМОЩЬЮ DFT

**Федяева М.А., Лепешкин С.В. (ГЕОХИ РАН, Сколтех),
Чуканов Н.В. (ФИЦ ПХФ и МХ), Оганов А.Р. (ГЕОХИ РАН, Сколтех)**
femaal.femaal3@yandex.ru; тел.: 8 (965) 112 90 05

В данной работе были исследованы механизмы превращений полисульфидных включений в минералах группы содалита (гаюин, лазурит, слюдянкаит) в рамках теории функционала плотности (DFT). Были определены основные пути распада циклической молекулы S₆ и идентифицированы наиболее вероятные конечные продукты реакции (пары радикальных анионов S₃^{•-} + S₃^{•-} и S₂^{•-} + S₄^{•-}). Выявлено, что наиболее предпочтительный путь реакции начинается с захвата одного электрона молекулой S₆, приводящего к открытию цикла S₆^{•-} и последующему распаду образованного радикального аниона с энергетическим барьером около 0,4 эВ. В работе был также изучен процесс захвата электронов молекулами S₅, поскольку ионы S₅²⁻ встречаются в структурных полостях минералов, принадлежащих к группе канкринита. Результаты расчетов позволяют объяснить экспериментальные данные о термических превращениях внекаркасных S-содержащих групп в минералах группы содалита.

УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ЛУНЕ НА ПРИМЕРЕ КРАТЕРА ЭЙТКЕН

**Феррейра Р.Т. (Национальный университет Аргентины, г. Кордова),
Шпекин М.И., Шишкина В.С. (КФУ, г. Казань),
Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН, г. Москва)**

В докладе рассмотрены элементы рельефа в кратере Эйткен, которые авторы исследовали методами орбитальной фотограмметрии. Предпринята попытка анализа строения избранных элементов рельефа в кратере с точки зрения его эволюции после завершения основного кратерообразующего события (ОКС). Наибольший интерес вызывает строение центральной горки кратера. Вещество центральной горки находится в агрегатном состоянии, сформированном в результате ответной конической ударной волны в ходе ОКС. Ярким свидетельством этого состояния служит ледниково-подобный язык, выползающий прямо из юго-западного склона центральной горки на дно кратера, структуру которого нам впервые удалось рассмотреть с помощью 3D-модели, построенной нами ранее. На это также указывает строение кратеров, образовавшихся позднее ОКС на склонах самой центральной горки. Здесь нет ни одного ударного кратера с четким очертанием вала, таким как, например, у кратеров на днище Эйткена или на его валу. Вместо этого получились глубокие кратерные воронки с ровной гладкой поверхностью, на которой невозможно отыскать границу между внешним и внутренним склоном вала названных кратеров. Причина, по всей видимости, та же, что и в случае с упомянутым ледниково-подобным языком. В отличие от внешнего вала, где следует ожидать материал в конденсированном состоянии, материал центральной горки производит впечатление вязкой разреженной среды, механические свойства которой значительно отличаются от свойств твердой породы. Другим примером ударно-волновых явлений в кратере Эйткен служат процессы в области «луковичных полей», природа которых и механизм их образования сегодня не имеют внятного объяснения. Наш анализ, выполненный на основе фотограмметрии высокого разрешения и карты Lunar Quickmap, показал, что один из пяти кратеров обладает весьма необычной топографией. Судя по форме его днища, оно не залито остывшей лавой. Избыточное давление, созданное ударником, сформировало ударную волну, под действием которой и образовались купола «луковичных полей» в малых соседних кратерах.

КИНЕТИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЕРВИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ КСЕНОНА ПРИ ОКИСЛЕНИИ ОБОГАЩЕННОЙ НАНОАЛМАЗОМ ФРАКЦИИ МЕТЕОРИТА MURCHISON CM2

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

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

целью определения фаз носителей потенциально первичных компонентов ксенона в обогащенных нанодиазом фракциях (ОНФ) метеоритов проведен анализ кинетики их выделения при ступенчатом окислении ОНФ Murchison. Использование данных, полученных этим методом при относительно низких температурах окисления, целесообразно ввиду того, что при этом маловероятно диффузионное выделение газов. В результате вычислений содержаний выделенных первичных компонентов ксенона при различных температурах окисления и сравнительного анализа кинетики их выделения сделаны следующие основные выводы. Одна из двух почти изотопно аномальных компонентов (Xe-P3n) содержится в популяции зерен нанодиаза. Другая компонента, а именно - низкотемпературная компонента Xe-P3 , которая является смесью компоненты Xe-P3n с дополнительной порцией Xe-S , содержится в индивидуальной фазе носителя, например, в алмазо подобной фазе, термоокислительная стойкость которой ниже, чем таковая для зерен нанодиаза. Этот вывод делает гипотезу о содержании Xe-P3 в ловушках кристаллической решетки с низкой энергией активации в фазах носителях других компонентов мало вероятной. Выявленное резкое различие кинетики выделения двух изотопно аномальных компонентов Xe-pr1n и Xe-pr2n подтверждает сделанное нами ранее предположение, что фазами носителями этих компонентов являются нанозерна алмаза и SiC-X , соответственно.

ВНЕЗЕМНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ СИДЕРИТА В УДАРНОМ РАСПЛАВЕ
(ЖЕЛЕЗНЫЙ МЕТЕОРИТ ЭЛЬГА)

Хисина Н.Р., Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН)

Методами ТЕМ и рамановской спектроскопии (RS) исследован участок локального ударного плавления - «расплавный карман» (MP), обнаруженный в одном из силикатных включений железного метеорита Эльга. Минералогия MP демонстрирует ударное взаимодействие между первичным Са-фосфатом в силикатном включении и вмещающим FeNi металлом с появлением новообразованных фаз – шрейберзита, высоконикелистого фосфида, сидерита, вюститита, SiO₂ и саркопсида. MP имеет эмульсионную структуру, характерную для явлений жидкостной несмесимости в расплаве. Необычная фосфид-сидеритовая ассоциация в MP представлена глобулами сидерита размером 1-2 мкм, равномерно распределенными в шрейберзите.

Ранее предполагалось образование сидерита в процессе ударного плавления, но источник углерода оставался неизвестным. Методами EELS/ТЕМ и RS в глобулах и в шрейберзитовой кайме силикатного включения обнаружен углерод в форме алифатических функциональных групп и неупорядоченный sp² углерод в тесной ассоциации с сидеритом. Характеристики спектров соответствуют растворимому органическому веществу (SOM) углистых хондритов и марсианских метеоритов. Сидерит в Эльге имеет внеземное происхождение и является продуктом редокс-реакций в ударном процессе с участием первичного углеродсодержащего вещества метеорита.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ГРАНАТ-ДВУСЛЮДЯНОГО СЛАНЦА С УЧАСТИЕМ ФЛЮИДОВ CO₂ И CO₂-H₂O ПРИ 5 КБАР И 900°C

**Ходоревская Л.И., Косова С. А., Спивак А.В., Сафонов О.Г.,
Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)**

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

CO₂ - это главный компонент флюидов при высокотемпературном метаморфизме в коре. Его источниками могут быть как мантийные магмы в основании коры, так графит и карбонаты в протолите. Понижая активность воды, CO₂ негативно влияет на плавление коровых субстратов. Однако его роль в дегидратационном плавлении богатых слюдой пород может быть неоднозначной. В данной работе приведены предварительные результаты экспериментов по взаимодействию гранат-двуслюдяного сланца с флюидами CO₂ и CO₂-H₂O при 900°C и 5 кбар, моделирующих воздействие флюида из внешнего источника. Продукты экспериментов включают исходные кварц, гранат, апатит и ильменит, и новообразованные продукты реакций перитектического плавления: высокоглиноземистый щелочно-известковый расплав, калиевый полевой шпат, шпинель, силлиманит ± ортоамфибол. В КР-спектрах пузырей в стекле выявлены пики CO₂, O₂, карбонатов, N₂ и широкая полоса колебаний O-H. Измеренная плотность CO₂ = 0.70±0.03 г/см³ в пузырях меньше плотности чистого CO₂ при параметрах опытов, что связано с образованием карбонатных комплексов при взаимодействии CO₂ с расплавом.

ДИАГНОСТИКА ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ В АРКТИЧЕСКИХ МХАХ

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

Фронтасьева М.В. (*Лаборатория нейтронной физики им. И.М.Франка, ОИЯИ, Дубна*),

Гувер Р.Б. (*Центр космических полетов им. Дж. Маршалла, НАСА, США*)

tselm@mail.ru; тел.: +7(906) 632 74 48

Ежедневно в атмосферу Земли попадает от 5 до 270 тонн космической пыли (КП). Одни внеземные частицы – метеороиды – сгорают в ней, другие – микрометеориты и КП – падают на поверхность и становятся источником информации о космосе. Одним из природных планшетов для сбора микрометеоритов и КП являются наземные мхи. Нами представлены результаты электронно-микроскопического изучения морфологии и состава КП из мха кладония оленья (*Cladonia rangiferina*), собранного в экспедиции «Арктический Плавающий университет - 2022: Меняющаяся Арктика» на корабле «Профессор Молчанов» в июне 2022 года на одной из высадок на Новой Земле с координатами 76.187242; 62.609347. Показана схожесть выделенных частиц КП с ранее изученными частицами из других планшетов, что свидетельствует о единой природе находок КП.

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ СЛЕДЫ ЧУЛЫМСКОГО БОЛИДА
(ПАДЕНИЕ 1984 ГОДА, ТОЧКА 1, МИНАЕВКА)

Цельмович В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН),
Шельмин В.Г. (ООО «Экомонитор», г. Томск),
Максе Л.П. (ОДО «СТРИМ», Могилев, Республика Беларусь),
Куражковский А.Ю. (ГО «Борок» ИФЗ РАН)
tselm@mail.ru; тел.: +7(906) 632 74 48)

Работа выполнена по госзаданию ИФЗ РАН (№FMWU-2022-0026, FMWU-2022-0027)

Поиск следов Чулымского болида, взорвавшегося в 1984 году, продолжается. Однако не удалось найти его фрагменты космогенного происхождения. По предложению В.Цельмовича летом 2023 г. В.Шельминым была организована экспедиция для сбора проб с предполагаемыми микроскопическими «следами» кометного вещества. По траектории полета болида были отобраны образцы торфов, мхов, глин, песчаников. Из них были выделены микрочастицы, которые были изучены в ГО «Борок» ИФЗ РАН с использованием магнитных методов и СЭМ Tescan VegaII. Исследованные образцы содержали смесь частиц терригенного и космогенного происхождения. Из проб мха и торфа удалось выделить микросферы специфической морфологии и состава (каркасные алюмосиликаты и др.), которые могли образоваться из частиц пылевого кометного вещества при взрыве.

ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ В СИСТЕМАХ Pt-Bi-Te, Pd-Bi-Te и Ni-Bi-Te при 450 и 550°C

**Чареева П.В. (ИГЕМ РАН), Пузанова И.Г. (ИЭМ РАН, МИСИС),
Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН), Бадмаева С.А., Зябченко В.О. (Ун-т. «Дубна»),
Никольский М.С., Межуева А.А., Ковальчук Е.В. (ИГЕМ РАН),
Чареев Д.А. (ИЭМ РАН)**
evstpolinav@gmail.com; тел.: 8 (910) 001 35 67
РНФ №23-17-00090

На закаленных образцах, полученных «сухим» методом, изучены фазовые отношения в системах Pt-Bi-Te, Pd-Bi-Te, Ni-Bi-Te при 450 и 550°C. В системах Pt-Bi-Te и Ni-Bi-Te тройные фазы не обнаружены. Вместо синтетических аналогов минералов масловита PtBiTe и огнитита NiBiTe, в данных системах, при заданных условиях эксперимента, стабилизируются фазы переменного состава (твердые растворы с замещением теллура на висмут) со структурами, соответствующими чистым дителлуридам Pt и Ni. Фазовые отношения в этих системах складываются в основном с участием твердых растворов теллуридов металлов, однако установление фазовых отношений между ними – непростая задача в связи с низкой кинетикой их формирования, образованием неравновесных продуктов и схожестью дифракционных картин. В системе Pd-Bi-Te при 450°C обнаружена тройная фаза PdBiTe со структурой, аналогичной минералу майчнериту; PdBiTe нестехиометрична и при 550°C перестает существовать. Обширную область диаграммы занимает твердый раствор со структурой PdTe. Фазовые отношения в системе Pd-Bi-Te более многообразны по сравнению с Pt-Bi-Te и Ni-Bi-Te за счет большего набора бинарных и тройных фаз.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНАТНО-АЛЮМОСИЛИКАТНОГО РАСПЛАВА ПРИ ПЛАВЛЕНИИ КАРБОНАТНО-ПЕЛИТОВОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ CO_2

Чевычелов В.Ю., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН)

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

В результате экспериментов по низкобарическому плавлению известняка из пирометаморфического комплекса, содержащего 40 мас% пелитового материала, при $T = 1300^\circ\text{C}$, $P = 12.3$ МПа и повышенном парциальном давлении CO_2 был синтезирован карбонатно-алюмосиликатный расплав следующего состава (в мас %): 46.5 CaO, ~ 18.5 CO_2 , 14.3 SiO_2 , 10.0 Al_2O_3 , 3.0 Na_2O , 2.5 MgO, 0.7 TiO_2 , 0.4 K_2O .

В продуктах опыта эта фаза (закалочное карбонатно-алюмосиликатное стекло) выделяется в виде отдельных абсолютно прозрачных и гомогенных на вид плоских зерен размером до ~ 200—250 мкм в поперечнике. Приблизительно рассчитанное по площади на микрофотографиях относительное содержания данной фазы в продуктах опыта составляет ~ 3—7 %. Состав фазы был определен методом рентгеноспектрального электронно-зондового анализа. Содержание углерода в стекле определяли также с помощью метода РСЭЗА. Методика определения будет подробно рассмотрена в докладе. Методом Рамановской спектроскопии в исследуемом карбонатно-алюмосиликатном стекле диагностировано присутствие CO_3^{2-} .

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПЛАВЛЕНИЮ КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫХ ПОРОД ПРИ ПОВЫШЕННОМ ПАРЦИАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ CO_2

Чевычелов В.Ю., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)

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

Для проведения экспериментов по низкобарическому плавлению природной карбонатно-силикатной породы в условиях повышенного парциального давления CO_2 была использована специальная методика создания такого давления в процессе опыта внутри ампул с исследуемым веществом. Эксперименты по плавлению были проведены при давлении от ~ 7 до ~ 17 МПа и температуре 1250—1300°C в платиновых ампулах на «газовой бомбе». При этом наружное давление на ампулу создавалось инертным газом Ar. Внутри ампулы давление создавалось CO_2 , выделившимся при выводе опыта в режим. Давление H_2O было ничтожным вследствие ее отсутствия в исходной шихте.

Опыты готовились следующим образом. В одну малую ампулу помещали исследуемую породу, а в другую такую же ампулу загружали свежеприготовленный оксалат серебра $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Затем обе малые ампулы пережимали, но не заваривали, и помещали внутри большой ампулы, которую заваривали. Собранную конструкцию при выводе в режим выдерживали при температуре от 115° до 180°C в течение ~ 1 —6 ч для разложения оксалата серебра по реакции $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{Ag} + 2\text{CO}_2\uparrow$. В процессе дальнейшего проведения опыта давление внутри ампулы создавалось выделившимся по реакции CO_2 , так, например, при $T = 700^\circ\text{C}$ оно составляло от ~ 5.5 до ~ 15.0 МПа. После опыта определяли вес газовой фазы внутри ампулы.

ЦЕНТР ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ГЕОХИ РАН: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Шацкий А.Ф. (ГЕОХИ РАН)

shatskiy@geokhi.ru;

Работа выполнена в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

В ноябре 2023 года в ГЕОХИ РАН поступил комплекс современного оборудования для проведения экспериментов при высоких давлениях и температурах (до 30 ГПа и 2000 °С). В первую очередь это многопуансонный пресс, аппарат цилиндр-поршень, высокотемпературные печи, включая печь с возможностью контролирования окислительно-восстановительных условий, а также комплекс сопутствующего оборудования, станков, микроскопов и т.д. Тематика исследований состоит в изучении фазовых диаграмм состояния вещества Земли и планет при высоких давлениях и температурах. Исследования сфокусированы на силикатных системах с летучими компонентами (С-О-Н) и металлических системах с легкими элементами (Н, С, N, S, Р). Исследования проводятся как экспериментально, так и теоретически с применением термодинамических и квантовохимических расчетов. В докладе будут освещены основные результаты, полученные ранее, а также перспективы дальнейших исследований.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ $\text{Na}_2\text{O}-\text{P}_4\text{O}_{10}$ **Шорников С. И. (ГЕОХИ)**sergey.shornikov@gmail.com; тел.: +7 (951) 661 14 60

Физико-химические свойства фосфатов натрия и их расплавов представляют значительный интерес для металлургии, материаловедения, медицины и других отраслей современной промышленности, а также в связи с их недавним обнаружением в значительных количествах в океанской воде на Энцеладе, что ранее за пределами Земли не наблюдалось (Postberg et al., 2023). В настоящей работе были выполнены теоретические расчеты термодинамических свойств расплавов в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{P}_4\text{O}_{10}$ в области температур 600–1900 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 (Na_2O и P_4O_{10}) и фосфатов натрия (NaPO_3 , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, Na_3PO_4 и $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$). Расчеты учитывали наличие в составе газовой фазы над расплавом следующих атомарных и молекулярных форм пара: Na, Na_2 , NaO, Na_2O , Na_2O_2 , P, P_2 , P_3 , P_4 , PO, PO_2 , P_2O_3 , P_2O_4 , P_2O_5 , P_3O_6 , P_4O_6 , P_4O_7 , P_4O_8 , P_4O_9 , P_4O_{10} , NaPO, NaPO_2 , NaPO_3 , $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_6$, O, O_2 , O_3 и O_4 . Вычисленные величины парциальных давлений молекулярных форм газовой фазы, а также активностей оксидов и энергий смешения в расплавах системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{P}_4\text{O}_{10}$ соответствуют имеющимся экспериментальным данным.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ $K_2O-P_4O_{10}$ **Шорников С. И. (ГЕОХИ)**sergey.shornikov@gmail.com; тел.: +7 (951) 661 14 60

Физико-химические свойства фосфатов калия и их расплавов представляют значительный интерес в связи с обнаружением фосфатов в метеорите Марчисон (Cooper et al., 1992), а также для технологий при производстве продуктов питания. Имеющиеся термодинамические данные о фосфатах калия и их расплавах очень скудны и зачастую экспериментально не определялись. С использованием разработанной полуэмпирической модели (Шорников, 2019) в настоящей работе были выполнены теоретические расчеты термодинамических свойств расплавов системы $K_2O-P_4O_{10}$ в области температур 600–1900 К. Исходными данными являлись величины стандартных энергий Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (K_2O и P_4O_{10}) и фосфатов калия (KPO_3 , $K_4P_2O_7$, K_3PO_4 и $K_5P_3O_{10}$). В расчетах учитывали наличие в составе газовой фазы над расплавом следующих атомарных и молекулярных форм пара: K, K_2 , KO, K_2O , K_2O_2 , P, P_2 , P_3 , P_4 , PO, PO_2 , P_2O_3 , P_2O_4 , P_2O_5 , P_3O_6 , P_4O_6 , P_4O_7 , P_4O_8 , P_4O_9 , P_4O_{10} , KPO_3 , $K_2P_2O_6$, O, O_2 , O_3 и O_4 . Сопоставление результатов расчетов активностей оксидов и энергии смешения в расплавах в системе $K_2O-P_4O_{10}$ с таковыми для расплавов системы $Na_2O-P_4O_{10}$ показывает их подобие. Минимумы энергии смешения расплавов в системе $K_2O-P_4O_{10}$ (как и в системе $Na_2O-P_4O_{10}$) наблюдается в области концентраций, близких к составу эвтектической композиции между KPO_3 и $K_4P_2O_7$ ($NaPO_3$ и $Na_4P_2O_7$, соответственно). Более отрицательные значения энергии смешения расплавов в системе $K_2O-P_4O_{10}$ обусловлены более низкой активностью K_2O по сравнению с активностью Na_2O в фосфатном расплаве, поскольку активности P_4O_{10} приблизительно одинаковы.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ FeO–P₄O₁₀**Шорников С. И. (ГЕОХИ)**sergey.shornikov@gmail.com; тел.: +7 (951) 661 14 60

Физико-химические данные, характеризующие фосфаты железа, представляют интерес для геохимии Луны, обусловленный нахождением фосфорсодержащих оливинов в лунном веществе, а также для поиска перспективных материалов, используемых в высокоэффективных литий-ионных аккумуляторах. Для понимания фракционирования и кристаллизации оливина при высоких температурах в настоящей работе выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе FeO–P₄O₁₀ в интервале температур 600–1700 К с использованием полуэмпирической модели (Шорников, 2019). Исходными данными являлась информация о стандартных энергиях Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (FeO и P₄O₁₀) и фосфатов магния (FeP₄O₁₁, FeP₂O₆, Fe₂P₂O₇, Fe₃P₂O₈ и Fe₅P₃O₁₃) в кристаллическом и жидком состоянии. Расчеты учитывали наличие в составе газовой фазы над расплавом следующих атомарных и молекулярных форм пара: Fe, Fe₂, FeO, FeO₂, P, P₂, P₃, P₄, PO, PO₂, P₂O₃, P₂O₄, P₂O₅, P₃O₆, P₄O₆, P₄O₇, P₄O₈, P₄O₉, P₄O₁₀, FePO₂, FePO₃, O, O₂, O₃ и O₄. Полученные результаты расчетов активностей оксидов и энергии Гиббса смешения расплавов при температуре 1673 К сопоставлены с литературными данными (Van-ya & Watanabe, 1977; Kambayashi et al., 1985; Ohara et al., 1987).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАНИТНОГО РАСПЛАВА С ДОЛОМИТОМ ПРИ 700°C И $P_{H_2O} = 1$ КБАР В ПРИСУТСТВИИ ФТОРА

**Щекина Т.И. (геол.ф-т МГУ), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Алферьева Я.О.,
Зиновьева Н.Г. (геол.ф-т МГУ)**

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

Проведено экспериментальное изучение контактного взаимодействия между фторсодержащим гранитным расплавом и Mg-Ca карбонатом в присутствии водного флюида. Особенностью магнезиальных скарнов, в отличие от известковых, является возможность их образование на магматической стадии. Целью экспериментов было выявление характера взаимодействия двух контрастных сред (расплава и доломита) в присутствии фтора. Опыты были проведены при температуре 700°C и 1 кбар и 680°C и 4,5 кбар и содержании воды 10 мас.%. В результате эксперимента в обоих случаях была обнаружена четкая скарновая зональность, характер которой зависел от давления. Было обнаружено 6 зон, отличающихся минеральным составом и структурой. При давлении 1 кбар в зоне эндоконтакта образовывался щелочной полевой шпат, первая зона экзоконтакта была сложена муллитом, следующая - плагиоклазом и волластонитом. При 4,5 кб в зоне эндоконтакта кристаллизовался клинопироксен, а в первых зонах экзоконтакта – фторфлогопит и клинопироксен. Особенностью минерального состава во всех экспериментах было появление в зонах взаимодействия расплав-доломит минералов группы гумита вместо форстерита. Содержание фтора в гумите составляло 7-8 мас.%. В результате эксперимента были получены новые типы колонок взаимодействия между силикатным расплавом и карбонатной породой, возникающие в присутствии фтора.

Яковлев О. И., Шорников С. И. (ГЕОХИ РАН)

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

Са–Al–включения хондритов являются уникальным объектами метеоритики. Они образовались в результате сложных процессов конденсации и испарения вещества предположительно Солнечного состава. Выделяют несколько различающихся по составу типов включений (А, В, С). Тип В по строению подразделяется на подтипы В1 и В2. Подтип В1 содержит центральное ядро, состоящее, в основном, из шпинели ($MgAl_2O_4$), мелилита (минерала ряда акерманит $Ca_2MgSi_2O_7$ – геленит $Ca_2Al_2SiO_7$) и фассаита (диопсид с высоким содержанием Al_2O_3 и TiO_2), и внешней мономинеральной каймы, состоящей из мелилита, богатого геленитом. Подтип В2 по минеральному составу аналогичен ядру подтипа В1. Опираясь на экспериментальные данные по испарению вещества типа В, можно предположить, что причина структурного различия подтипов состоит в преимущественном испарении из расплава Mg по сравнению с Si при температурах >2100 К. Селективное испарение магния приводило к исчезновению из внешней расплавленной зоны вещества Са–Al–включения Mg-содержащих минералов – шпинели и фассаита. При этом в расплаве происходило увеличение труднолетучих Al_2O_3 и CaO и, соответственно, геленита в мелилите. Плавление и испарение во внешней зоне подтипа В1 произошло в протосолнечной системе во время так называемого процесса «flash heating».