

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-2023)

Москва, 11-12 апреля 2023 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

(ИГМ СО РАН, НГУ, ГЕОХИ)

кгмн Олег Иванович Яковлев

(ГЕОХИ РАН)

Секретари:

кхн Елена Владимировна Жаркова

(ГЕОХИ РАН)

Екатерина Леонидовна Тихомирова

(ИЭМ РАН)

ГИПОТЕЗЫ ОБРАЗОВАНИЯ АГАТОВ: ОБЗОР И КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН)

alekseyev-v@geokhi.ru; тел.: 8 (917) 599 89 73

Выполнен обзор условий, особенностей и гипотез образования агатов. Большинство гипотез имеет существенные недостатки. Наиболее обоснованной оказалась гипотеза многократного повторения двух стадий: осаждение слоя аморфного кремнезема и перекристаллизация его в халцедон. В эту гипотезу внесены изменения, улучшающие ее доказательную базу. Изменения обоснованы природными и экспериментальными исследованиями свойств агатов и вмещающих пород. В модифицированной гипотезе рассматривается ненасыщенная раствором пористая среда, образование пересыщенного раствора кремнезема при растворении вмещающих пород, диффузия кремнезема через поровый раствор и его осаждение в пленке раствора на стенке агатовой полости. Полосчатость агатов (вариации фазового состава, пористости, размера и формы кристаллитов) является следствием изменения пересыщения пленочного раствора из-за изменения скорости поставки кремнезема. Последняя, в свою очередь, меняется в результате периодического изменения проницаемости внешнего слоя кремнезема в процессе его старения, а также в результате миграции путей поставки кремнезема из-за изменения конфигурации пор во вмещающей породе и раствора в порах. На основании этой модели предложена схема опытов по синтезу агатов.

ФОНОЛИТ-КАРБОНАТИТОВАЯ ЖИДКОСТНАЯ НЕСМЕСИМОСТЬ ПРИ 3-6 ГПа

Арефьев А.В., Шацкий А.Ф., Бехтенова А.Е. (ГЕОХИ РАН), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)
arefiev@geokhi.ru; тел.: 8 (900) 672 09 32

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

В работе приводятся данные о фонолит-карбонатитовой жидкостной несмесимости при P - T параметрах верхней мантии. Эксперименты проведены на многопуансонном прессе в интервале 3-6 ГПа и 1050-1500 °С. В качестве исходных использовали составы несмесимых расплавов, установленных ранее в системе пелит- CO_2 (DG2) при 6 ГПа и 1200 °С. Разрыв смесимости между щелочным доломит-анекритовым и фонолитовым расплавами установлен выше 1050 °С при 3 ГПа и 1200 °С при 6 ГПа. Взаимная растворимость расплавов не превышает 10 % даже при 1200 °С / 3 ГПа и 1500 °С / 6 ГПа. При понижении давления от 6 до 3 ГПа концентрация жадеитового минала снижается в 1.5-6 раз. В результате составы несмесимого фонолитового и карбонатитового расплавов эволюционируют от ультракалиевых с весовым отношением $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 10-14$, близким к карбонатитовым и силикатным микровключениям в алмазах, до умеренно калиевых ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1-2$), близким к фонолитовым стеклам из мантийных ксенолитов шпинелевой фации.

**СОСТАВ РАСПЛАВОВ КОМАТИИТОВЫХ БАЗАЛЬТОВ ВЕТРЕННОГО ПОЯСА
(КАРЕЛИЯ) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНЕ**

**Асафов Е.В., Кошлякова А.Н. (ГЕОХИ РАН), Соболев А.В. (ISTERRE),
Тобелко Д.П. (ГЕОХИ РАН), Батанова В.Г. (ISTERRE),
Пухтель И.С. (Мэрилендский университет), Межеловская С.В. (ГИН РАН)**
evasafov@gmail.com; тел.: +7 (903) 004 75 64
При поддержке гранта РФФ 22-77-00081

Исследованы образцы оливиновых кумулатов коматиитовых базальтов Ветреного пояса возрастом 2.4 млрд. лет, распложенного в юго-восточной части Балтийского (Фенноскандинавского) щита, Карелия. Получены первые уникальные данные по составу главных и примесных элементов в неизмененных расплавных включениях в оливине. Проведена оценка температур кристаллизации коматиитовых базальтов по Al оливин-шпинелевому геотермометру. Получен большой набор данных по составу оливина из наиболее магнезиальной части потоков коматиитовых базальтов Ветреного пояса. Температуры кристаллизации коматиитовых базальтов Ветреного пояса находятся в диапазоне 1250-1300 °С. В расплавах с самых ранних этапов кристаллизации обнаружена существенная контаминация коровым материалом на уровне 15-20%. Модельный не контаминированный расплав в равновесии с наиболее магнезиальным оливином, известным для пород данной серии (Fo 89), содержал 16.6 мас.% MgO, 12.5 мас.% FeO_{общ.} и обладал температурой 1370 °С. Потенциальная температура мантийного источника в равновесии с первичным расплавом составляла 1630 °С.

ЛУНА: ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ УДАРНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЯРНОГО РЕГОЛИТА

Базилевский А.Т., Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН), Юань Ли, ЛиГанг Фанг
(Сучжоуский профессиональный университет, Сучжоу, Китай)

atbas@geokhi.ru; тел.: +7 (906) 792 78 55

Грант РФФ № 21-17-00035: Оценка темпов экзогенного обновления поверхности Луны

В полярном реголите Луны, в отличие от реголита большей части лунной поверхности, присутствует примесь льда воды и других легколетучих компонентов. При метеоритной бомбардировке должны происходить локальные нагревания и испарение летучих компонентов, возможно, с их разложением, что может создавать условия для необычных для Луны химических реакций. Пока достаточно надежно обнаружен только один геохимический эффект этого процесса – образование нехарактерного для неполярных широт гематита Fe_2O_3 . В работе выполнен термодинамический анализ условий необходимых для образования гематита. Показано, что для этого требуется свободный кислород, который может накапливаться при диссипации в космос водорода, образующегося при разложении воды. Возможно, ударная переработка полярного реголита приводит также к гидратации силикатных стекол и образованию тяжелых углеводородов. Диссипация в открытый космос водорода должна приводить к увеличению в остающемся водороде содержания дейтерия. Возможно, лед H_2O полярного реголита содержит значительное количество тяжелой воды. Будущие исследования в полярных областях Луны, особенно с доставкой образцов на Землю, должны подтвердить или опровергнуть эти выводы и предположения.

**РАССЛОЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ КАК РЕЗУЛЬТАТ
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АНИОНОВ**

Балабин А. И. (ИЭМ РАН)

balabinmtv@yahoo.com; тел.: +7 (926) 553 57 66

Расслоение раствора электролита на две несмешивающиеся жидкости описано для значительного числа водно-солевых систем (восьми бинарных, шести тройных и двух четверных). Набор катионов в расслаивающихся растворах разнообразен (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , $(\text{UO}_2)^{2-}$, Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}), а набор анионов относительно узок (HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , WO_4^{2-}). Все примеры расслоения относятся к единому кругу явлений, поскольку все они обнаруживают сходные закономерности (наличие нижней критической точки (LCST), увеличение объёма при расслоении, небольшой эндотермический эффект, аномально высокое значение dT_{LCST}/dP), некоторые из которых крайне необычны для

конденсированных расслаивающихся систем. При всей необычности, те же черты составляют отличительную особенность растворов полимеров, в которых утрата смесимости имеет место, когда молекулы полимера испытывают конформационное превращение *комк-глобула*. Тем самым, отсутствие смесимости может быть результатом образования в растворах электролитов полимеров, испытывающих превращение *комк-глобула* при повышении температуры.

В структуре кристаллогидратов солей, образующихся в системах с расслоением, часто обнаруживаются полианионы, иногда в виде глобул ($[(\text{HPO}_4)_8(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{16-}$, $[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}]^{10}$).

Поэтому полимеризация анионов представляется наиболее вероятной причиной расслоения.

ТРЕХСТАДИЙНАЯ МОДЕЛЬ АДСОРБЦИИ СОЕДИНЕНИЙ С КИСЛОТНЫМИ ГРУППАМИ АПАТИТОМ

Балабин А.И. (ИЭМ РАН)

balabinmtv@yahoo.com; тел.: +7 (926) 553 57 66

Выяснение механизмов взаимодействия органических и неорганических молекул с поверхностью апатита (Ap) имеет большое значение в исследованиях процессов биоминерализации. В докладе предложена модель сорбции соединений с кислотными группами апатитом, объясняющая обширный массив данных о взаимодействии нуклеиновых кислот, органических и неорганических полифосфатов, пероксидифосфата, цитрата, фосфоцитрата, бисфосфонатов, макроциклических соединений с фосфонатными группами, полиалкеновых кислот, кислотных пептидов (стазерин и другие фосфопротеины, остеокальцин, сывороточный альбумин) с призматическими гранями Ap. В модели учтены сведения о наличии жидкого слоя (liquid hydration layer, LHL) и твёрдого (solid hydration layer, SHL) в интерфейсе Ap/вода. Адсорбция протекает в три стадии: первая представляет собой экстракцию молекул из раствора в LHL, на второй молекулы связываются с SHL, помещая кислотные группы в позиции ионов $[\text{HPO}_4]^{2-}$, на третьей слой SHL локально трансформируется в Ap, а LHL утрачивается. Модель позволяет объяснить изменения в составе раствора при сорбции, влияние концентрации CaCl_2 , NaCl и фосфатного буфера на адсорбцию и элюирование, а также результаты калориметрических и структурных исследований.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ С ДОМАНИКОВОЙ ПОРОДОЙ АЛЕКСЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОДНО-УГЛЕВОДОРОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КВАРЦЕ

**Балицкий В.С., Сеткова Т.В., Голунова М.А., Балицкая Л.В.,
Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН), Лахова А.И., Петров С.М. (КНИТУ)**

balvlad@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 47

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0003

Доманиковая порода Алексеевского месторождения является типичной нефтематеринской толщей, сложена преимущественно кремнисто-глинистыми карбонатными отложениями и характеризуется высоким содержанием органического вещества. Эксперименты по взаимодействию гидротермальных растворов с доманиковой породой проводили с одновременным выращиванием кристаллов кварца в диапазоне температур 260 – 550 °С при давлении 100 МПа. В результате показано влияние гидротермального флюида на изменение минерального состава породы и характер распределения органического вещества с увеличением температуры. Данные по фазовому составу флюидных включений в кварце и их *in situ* изучению методом термобарогеохимии свидетельствуют о принципиально различном поведении и фазовых состояниях водно-углеводородных флюидов, сформированных с участием доманиковых пород при температурах от 260 до 550 °С. Установлено, что наиболее подходящие условия для генерирования нефтяных углеводородов – это глубинные участки Земли, где происходит взаимодействие доманиковых пород с гидротермальными растворами в интервале температур 310-360 °С при давлениях порядка 100 МПа.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА
В СВЕТЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЙ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ**

Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН)

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

Происхождение нефти и газа – одна из ключевых геологии проблем. Последние 150 лет она решалась в споре сторонников органической и минеральной гипотез образования УВ, но так и не была решена. В докладе привлечено внимание к трем фундаментальным открытиям российских ученых, позволивших адекватно решить эту проблему. Первое – Открытие №326 (Трофимук и др., 1982) – механохимический низкотемпературный синтез УВ в насыщенных водой породах, активированных естественными сейсмостектоническими процессами. Второе открытие – пополнение УВ в эксплуатируемых месторождениях, доказавшее, что нефть и газ являются неуничтожимыми полезными ископаемыми планеты (Соколов, Гусева, 1993). И, третье открытие – неизвестный ранее 40-летний цикл круговорота углерода через земную поверхность с участием метеогенных вод (Баренбаум, 2004). Учет этого цикла на основе биосферного учения В.И. Вернадского позволил подвести под нефтегазовую парадигму Соколова-Гусевой необходимое теоретическое обоснование, сбалансировать круговороты углерода и воды через поверхность Земли с учетом хозяйственной деятельности людей и нефтегазообразования в недрах, а также обосновать возможность освоения месторождений как «неиссякаемых» источников нефти и газа.

**О НАЛИЧИИ НА ЗЕМЛЕ АВТОНОМНО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЛИТОСФЕРНОЙ
ОБОЛОЧКИ, УЧАСТИИ СИЛЫ КОРИОЛИСА В ДВИЖЕНИИ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ И
ОБРАЗОВАНИИ ТРАНСФОРМНЫХ РАЗЛОМОВ НА СРЕДИННЫХ ОКЕАНИЧЕСКИХ
ХРЕБТАХ**

Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН)

azary@mail.ru; тел: 8 (499) 135 54 67

Выдвинута гипотеза, которая рассматривает литосферу Земли как автономно вращающуюся относительно мантии конвективную оболочку планеты, где формируются, взаимодействуют и перемещаются по астеносфере континентальные и океанические плиты. Гипотеза развивает предложенный ранее автором физический механизм, объясняющий циклическое образование суперконтинентов поочередно в южном и в северном полушарии Земли бомбардировками нашей планеты галактическими кометами. Гипотеза обнаруживает действие силы Кориолиса на движение литосферных плит и предлагает альтернативную физическую интерпретацию феномена «истинных полярных блужданий (TPW)», который сегодня объясняют вариациями наклона оси вращения и магнитной оси Земли, вследствие эндогенных процессов в мантии. Установлено, что в фанерозое литосферная оболочка Земли вращалась быстрее, чем мантия. Построена теоретическая модель, которая обосновывает этот вывод с учетом действия силы Кориолиса на движения континентальных и океанических литосферных плит. Адекватность модели тестирована на примере распада суперконтинента Пангея, а также при объяснении строения Атлантического срединного океанического хребта и его трансформных разломов.

ПРИЗНАКИ НАСЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛАМИ СОСТАВА ПРОТОЛИТА ПРИ КОРОВО-МАНТИЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Бенделиани А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Бинди Л. (ун-т Флоренции), Ирифуне Т. (ун-т Эхиме)

a.bendeliani@outlook.com

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 21-17-00147, РФФИ 21-55-50011 и по госзаданию ГЕОХИ РАН

Проведено экспериментальное изучение систем GLOSS и GLOSS-перидотит, моделирующих трансформации океанического осадка с давлением в зонах субдукции, а также его взаимодействие с мантийным субстратом при 7–24 ГПа в диапазоне температур 900-1400°C. Условия кристаллизации и состав полученных минеральных фаз (гранат, пироксен, бриджманит, фазы *D* и *Egg*) определяют возможность их использования в качестве индикаторов протолита в верхней мантии (7–12 ГПа), переходной зоне (18 ГПа) и самой верхней части нижней мантии Земли (24 ГПа). Минеральные фазы, претерпевшие наименьшее влияние привнесенного в зонах субдукции корового материала, оказываются наиболее насыщенными хромом, а по содержанию главных элементов определяют принадлежность к ультраосновному парагенезису. Высокие концентрации титана свойственны мантийным фазам, которые кристаллизовались в субстрате, испытывавшем значительный привнос корового материала. Помимо низкого отношения Cr/Ti, на наличие коровой составляющей в мантийных породах может указывать компонентный состав минералов: присутствие $(\text{Mg,Fe})\text{TiO}_3$, $(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})\text{O}_3$ в бриджманитах, $(\text{Na}_2\text{Ca})\text{Ti}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ – в высокобарных гранатах, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$, $\text{Na}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{Si}_2\text{O}_6$, $\text{CaTi}^{4+}\text{Al}_2\text{O}_6$ – в пироксенах, $\text{MgAlSiO}_6\text{H}_3$ – в фазе *D*. Корово-мантийное взаимодействие приводит к формированию минеральной ассоциации, близкой к вебстеритовому парагенезису.

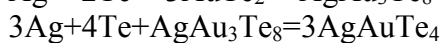
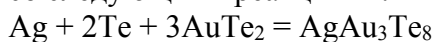
**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕННЕРИТА И СИЛЬВАНИТА:
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ ЭДС**

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

brichkina@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 49

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

Методом измерения электродвижущих сил (ЭДС) с использованием твердого электролита Ag_4RbI_5 (интервал использования до 500 К) в системе Ag-Au-Te в температурном диапазоне 332К – 485К определены термодинамические свойства реакций с участием креннерита (AgAu_3Te_8) и сильванита (AgAuTe_4). Зависимости $E(T)$ получены в полностью твердотельных электрохимических ячейках с общим газовым пространством в соответствии со следующими реакциями:



С использованием справочных данных рассчитаны стандартные (298.15 К, 1 bar (10^5 Pa)) термодинамические свойства ($\Delta_f G^0$, $\Delta_f S^0$, $\Delta_f H^0$) образования креннерита и сильванита из элементов.

ВЕСЭПМГ 2023 - 012

**УСЛОВИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ТВЕРДЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_3$ ПРИ
ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 100 °С**

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

tmb@iem.ac.ru; тел.: 8(496) 522 58 47

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

С применением кода геохимического моделирования рассчитаны равновесия и построены диаграммы растворимости соединений в системе $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_3$ при температурах 25 – 100 °С и концентрации аммиака 0 – 2.0 м. Определены условия стабильности тенорита, малахита, азурита и составы равновесных с твердыми фазами растворов в заданных условиях. Установлены роль и количественный вклад водных частиц и аммиачных комплексов меди в образование твердых фаз системы в зависимости от температуры и концентрации раствора аммиака. Полученные данные могут быть использованы: (а) при выяснении влияния окружающей среды на состояние поверхности медных контейнеров в условиях захоронения радиоактивных отходов; (б) при определении состава растворов в процессе гидролитического выщелачивания меди в зависимости от состава исходной руды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ФЛОГОПИТА В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ГРАНАТА ПРИ 3.5 И 5.0 ГПа

Бутвина В.Г. (ИЭМ РАН), Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ), Лиманов Е.В. (ИЭМ РАН), Давыдов А.А. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ), Якушик М.А. (ИЭМ РАН), Ван К.В. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена в рамках тем FMUF-2022-0001 (1021060708334-5-1.5.2;1.5.6;1.5.4) государственного задания ИЭМ РАН на 2022–2026 гг.

В работе приводятся данные экспериментов по изучению двух реакций: 1) реакции разложения высокохромистого пиропового граната при его взаимодействии с калиевым флюидом в присутствии титанистых фаз (ильменита и рутила) при 3.5 и 5 ГПа; 2) обменной реакции взаимодействия гранатового гарцбургита с водно-углекисло-солевыми флюидами при давлении 5 ГПа.

Эксперименты проводились с использованием двух типов твердофазных аппаратов высокого давления «наковальня с лункой» (ИЭМ РАН): НЛ-40 (3.5 ГПа, 1200°C) и НЛ-13Т с тороидальным уплотнением ячеек (5 ГПа, 1200°C).

1. В результате разложения граната происходит образование большого количества хромистой шпинели и флогопита. Предыдущие эксперименты (напр. Бутвина и др., 2021) показали, что накопление хромистой шпинели и взаимодействие ее с калийсодержащим флюидом в присутствии ильменита/рутила ведет к образованию экзотических хромсодержащих калиевых титанатов: прайдерита, имэнгита и матиасита). Тем самым воспроизводятся условия и последовательность появления фаз, характерные для калиевого метасоматоза в верхней мантии: Cr-содержащий гранат → хромит, +ильменит/рутил → титанаты).

2. Выявлены закономерности изменения состава минералов в ходе реакций образования флогопита, сопровождающих процессы метасоматоза в верхней мантии, в результате серии экспериментов по взаимодействию природного гранатового гарцбургита с флюидами H₂O-CO₂-KCl и H₂O-CO₂-(K, Na)Cl.

**ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПОЛНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ (Fe, Ni, Co) ИЗ ГОРНЫХ ПОРОД И БЕДНЫХ РУД ПРИ УМЕРЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ ВОДОРОДА
(Предварительные результаты)**

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

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

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 22-27-00124

Разработаны основы оригинальной методики практически полного извлечения металлов переменной валентности (Fe, Ni, Co) из пород (андезит, базальт, габбро-норит). Методика основана на экспериментально установленных особенностях взаимодействия водорода с расплавами таких магматических пород в диапазоне давлений водорода 1 - 10 МПа, температурном диапазоне 1200 – 1250 °С и длительности опытов 1 – 10 час. Было показано, что несмотря на низкий потенциал кислорода в опытах ($f(\text{O}_2) = 10^{-13} - 10^{-14}$), реакция восстановления из расплавов окислов металлов переменной валентности (Fe, Ni, Co) не завершалась в полной мере. При этом установлено, что основной причиной остановки реакций восстановления явилась вода – продукт реакций восстановления, которая растворялась в расплавах, диффундировала во флюидную фазу (изначально чистый водород), но медленнее на два порядка величины по сравнению со встречной диффузией водорода, и тем самым повышала потенциал кислорода. Первые успешные результаты были получены путём размещения во флюидной фазе буфера – тантал, окисление которого приводило к разложению воды во флюиде и ускорению скорости диффузии воды из расплавов.

ВЕСЭПМГ 2023 - 015

**РАСЧЕТ НАСЫЩЕННЫХ СОДЕРЖАНИЙ ВОДЫ В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ,
РАВНОВЕСНЫХ С ЧИСТО ВОДНЫМ ФЛЮИДОМ**

Бычков Д.А., Гнучев Я.Ю., Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ)
dmibychkov@gmail.com; тел.: 8 (495) 939 49 16

На основании извлеченных из литературных источников экспериментальных данных сформирована выборка, содержащая результаты 394 закалочных опытов, характеризующих насыщенное содержание воды в широком диапазоне интенсивных параметров силикатных систем.

Анализ основных опубликованных типов моделей растворимости воды в силикатном расплаве показал, что уравнение Gordon Moore с соавторами наилучшим образом описывает экспериментальные результаты.

Перекалиброванное и преобразованное к показательному виду уравнение Moore с использованием расширенной экспериментальной выборки позволяет с неопределенностью, не превышающей ± 0.01 мольной доли, либо ± 0.2 мас. % предсказывать насыщенные содержания воды в силикатных расплавах в диапазонах: составов расплавов от базальтов до риолитов; давления от атмосферного до 15 кбар; температур от 550 до 1300 °С.

**СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕРИЙ ЗАКАЛОЧНЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ КРИМИНАЛ И MELTS**

Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ)
dmibychkov@gmail.com; тел.: 8 (495) 939 49 16

Из базы данных ИНФОРЭКС были отобраны 6 экспериментальных серий, 3 из которых представляют равновесную кристаллизацию расплавов известково-щелочной серии, а 3 – толеитовой. Программа КриМинал демонстрирует хорошее воспроизведение экспериментальных соотношений фаз и составов расплавов и минералов для всех рассмотренных шести серий. Сравнение с расчётами в программе Melts показывает, что наша программа моделирует равновесия как минимум не хуже для известково-щелочных составов и заметно лучше для толеитовых.

Поскольку составы минералов воспроизводятся обеими программами одинаково хорошо, столь заметное различие в воспроизведении эволюции составов расплава обусловлено искажённым воспроизведением пропорций кристаллизации, что особенно заметно с момента начала кристаллизации тройной оливин-плагиоклаз-авгитовой котектики. Этот результат согласуется с заключением А.А. Арискина и Г.С. Барминой о том, что для корректного численного моделирования кристаллизации силикатных систем правильный расчет пропорций кристаллизующихся на котектиках минералов даже важнее, чем минимизация погрешности оценки состава фаз.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЕКТОЛИТА

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

Пектолит из нефелин-полевошпатовых жил Ковдорского массива (Кольский полуостров, Россия) был исследован комплексом физико-химических методов. На КР-спектре был зарегистрирован высокий уровень люминесценции, указывающий на присутствие марганца в составе минерала. ИК спектроскопические исследования установили отсутствие полос поглощения в области выше 3200 см^{-1} и при 1630 см^{-1} , что свидетельствует об отсутствии ОН-групп и воды в структуре пектолита. Регистрация полосы поглощения при 1395 см^{-1} указывает на локализацию H^+ между двумя атомами кислорода в качестве «свободного» катиона. По результатам электроннозондового и термического анализов и данных ИК и КР спектроскопии была рассчитана формула изученного образца $\text{H}_{1.00}\text{Na}_{0.96}\text{Ca}_{2.00}\text{Mn}_{0.02}^{2+}\text{Si}_{3.00}\text{O}_9$. Методом расплавной калориметрии растворения была определена энтальпия образования пектолита состава $\text{HNaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_9$ из элементов $\Delta_f H^0(298.15\text{ K}) = -4651.0 \pm 4.3$ кДж/моль. Оценена энтальпия образования марганцевого конечного члена изоморфной серии пектолит – серандит $\text{HNaMn}_2\text{Si}_3\text{O}_9$, $\Delta_f H^0(298.15\text{ K}) = -4052.6 \pm 4.4$ кДж/моль. Рассчитаны значения абсолютных энтропий и энергий Гиббса пектолита и серандита: $S^0(298.15\text{ K}) = 266.1 \pm 1.6$ и 306.5 ± 2.0 Дж/(К·моль); $\Delta_f G^0(298.15\text{ K}) = -4377.9 \pm 4.4$ и -3798.0 ± 4.5 кДж/моль соответственно.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОКИМБИТА $\text{AlFe}_3^{3+}[\text{SO}_4]_6(\text{H}_2\text{O})_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

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

Образец кокимбита из рудника Хавьер (Перу) был исследован методами КР и мёссбауэровской спектроскопии. Спектр комбинационного рассеяния получен на неориентированном образце при комнатной температуре в геометрии обратного рассеяния на рамановском микроскопе «EnSpectr R532» (Россия). Область от 2800 до 3600 см^{-1} соответствует валентным колебаниям ОН-групп молекул воды; зарегистрированные в интервале 1000–1250 см^{-1} линии относятся к валентным колебаниям SO_4 -тетраэдров; зафиксированные в диапазоне 440–630 см^{-1} линии приписываются деформационным колебаниям SO_4 -тетраэдров; проявленные в спектральной области ниже 300 см^{-1} линии рассеяния соответствуют так называемым решеточным модам. Гамма-резонансное исследование выполнено на мессбауэровском спектрометре ЯГРС-6 «Персей» (Россия) при комнатной температуре с использованием источника ^{57}Co в матрице Rh активностью 8 мКи. Полученный спектр удовлетворительно описывается одиночной уширенной лоренцевой линией с параметрами: ${}^{\text{RT}}\text{IS}_{\alpha\text{-Fe}} = 0.46 \pm 0.01 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$, $\text{FWHM} = 0.85 \pm 0.05 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$. Измеренный изомерный сдвиг соответствует интервалу значений, наблюдаемых для октаэдрических кислородных полиэдров трехвалентного железа $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_6]$.

**СИСТЕМА ДИОПСИД-ЖАДЕИТ-СО₂ ПРИ 3-6.5 ГПа: ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
УСТОЙЧИВОСТИ СО₂-ФЛЮИДА В МАНТИИ ЗЕМЛИ**

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

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

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 21-17-00024)

Работа посвящена изучению фазовых взаимоотношений в системе клинопироксен-СО₂ в интервале составов от диопсида до жадеита при 3.0-6.5 ГПа и 850-1500 °С. Эксперименты проведены на многопуансонном прессе в графитовых и платиновых капсулах. В качестве исходных использовали составы карбонат-оксид и пироксеновое стекло-оксалат серебра. Длительность экспериментов варьировали от 4 до 210 ч. Установлено, что правее линии реакции диопсид + 2СО₂ = 2коэсит + доломит диопсид в составе диопсид-жадеитового твердого раствора реагирует с СО₂ флюидом, что смещает состав клинопироксена до почти чистого жадеита. Система характеризуется низкими температурами солидуса: 1015 °С при 3 ГПа и 1095 °С при 6 ГПа. Выше солидуса молекулярный СО₂ растворяется в карбонатном расплаве и исчезает как самостоятельная флюидная фаза.

ВЕСЭПМГ 2023 - 020

**СИСТЕМА ДИОПСИД-ЖАДЕИТ-СО₂ ПРИ 3-6.5 ГПа: ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
УСТОЙЧИВОСТИ СО₂-ФЛЮИДА В МАНТИИ ЗЕМЛИ**

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

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

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 21-17-00024)

Работа посвящена изучению фазовых взаимоотношений в системе клинопироксен-СО₂ в интервале составов от диопсида до жадеита при 3.0-6.5 ГПа и 850-1500 °С. Эксперименты проведены на многопуансонном прессе в графитовых и платиновых капсулах. В качестве исходных использовали составы карбонат-оксид и пироксеновое стекло-оксалат серебра. Длительность экспериментов варьировали от 4 до 210 ч. Установлено, что правее линии реакции диопсид + 2СО₂ = 2коэсит + доломит диопсид в составе диопсид-жадеитового твердого раствора реагирует с СО₂ флюидом, что смещает состав клинопироксена до почти чистого жадеита. Система характеризуется низкими температурами солидуса: 1015 °С при 3 ГПа и 1095 °С при 6 ГПа. Выше солидуса молекулярный СО₂ растворяется в карбонатном расплаве и исчезает как самостоятельная флюидная фаза.

ПРОТОЧНЫЙ АНАЛИЗАТОР МОРСКОЙ СРЕДЫ НА ФЛЮОРЕСЦИРУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ

Володин В.Д., Травкина А.В. (ГЕОХИ РАН)

a_travkina@mail.ru; тел.: 8 (906) 771 82 67

Разработан малогабаритный проточный анализатор морской среды на флюоресцирующие компоненты (ПАУ, хлорофилл и др.), частицы микропластика и взвесь.

Анализатор состоит из микропроцессорной системы сбора данных и двух выносных проточных ячеек - флюоресцентного анализатора и измерителя светорассеяния.

В основе флюоресцентного анализатора находится цилиндрическая проточная кювета, освещаемая источником ультрафиолетового излучения. Флюоресцентное излучение, возбуждаемое в морской воде, регистрируется тремя кремниевыми фотоумножителями MicroFC 60035, снабженными спектрально-зональными фильтрами, что позволяет измерять интенсивность флюоресценции в полном спектре (410..800 нм) и двух спектральных зонах – 500..800 и 620..800 нм. Рассеянное излучение источника возбуждения подавляется установленным перед кремниевыми фотоумножителями нефлюоресцирующим интерференционным фильтром, отсекающим свет короче 410 нм. Дополнительно засветка от источника возбуждения снижается с помощью бленды из медного листа, подвергнутого химическому чернению, препятствующей попаданию прямого излучения на фотоприемники. Материалы, использованные внутри корпуса флюоресцентного анализатора, проверены на отсутствие собственной флюоресценции, а при невозможности (электронные компоненты, провода) обклеены полиамидной пленкой.

Выполненные предварительные лабораторные испытания показали следующие аналитические характеристики:

Предел обнаружения (родамин 6Ж), мкг/мл	0,02
Минимально обнаружимая частица микропластика, мм ³	0,03

РАВНОВЕСНЫЕ ИЗОТОПНЫЕ ФАКТОРЫ ЖЕЛЕЗА ТРОИЛИТА ПО ДАННЫМ
МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ: НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

Воронин М.В. (ИЭМ РАН), Поляков В.Б. (ГЕОХИ РАН),

Осадчий Е.Г., Сипавина Л.В. (ИЭМ РАН)

vpolyakov@mail.ru; тел.: +7 (985) 950 45 56

Синтезирован троилит (FeS) и измерены его мессбауэровские спектры в интервале температур 90–295 К. Оценку равновесных изотопных факторов (β -факторов) железа троилита провели по температурному сдвигу (ТС) в спектрах Мессбауэра. Традиционный способ оценки, использующий модель Дебая для описания фононного спектра ^{57}Fe в троилите, привёл к значениям β -фактора железа троилита, противоречащим измерениям на основе неупругого γ -резонансного рассеяния, расчётам из первых принципов и экспериментам по изотопному обмену. Это вызвано отличием спектра колебаний ^{57}Fe в троилите от модели Дебая. Предложен метод оценки ТС, использующий разложение Тирринга по нечётным обратным степеням температуры. Схема применения метода, следующая:

- из величин изомерных сдвигов вычитаются значения, соответствующие ТС, рассчитанному согласно классической статистике;
- рассчитываются разности между полученными значениями для всех пар температур;
- проводится анализ и отбраковка данных;
- методом наименьших квадратов рассчитываются коэффициенты разложения Тирринга;
- по найденным коэффициентам проводится расчёт β -факторов железа.

Найденная температурная зависимость $^{57}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ β -фактора троилита:

$$10^3 \ln \beta = 0.4464x - 0.3291 \times 10^2 x^2 + 0.2630 \times 10^{-4} x^3 \quad x = 10^6 / T^2,$$

согласуется с оценками, полученными другими методами.

ВЕСЭПМГ 2023 - 023

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШОСАНБЕЦУИТА (Ag_3Sn), ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ЭДС-МЕТОДОМ

Воронин М.В., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)

voronin@iem.ac.ru, тел. 8 (496) 522 58 49

Работа выполнена в рамках темы FMUF-2022-0002 государственного задания ИЭМ РАН

В системе Ag-Sn, впервые методом измерения электродвижущих сил (ЭДС-метод) в температурном диапазоне 327К - 427К и атмосферном давлении, в полностью твердотельной гальванической ячейки, отвечающей электрохимической реакции: $3\text{Ag} + \text{Sn} = \text{Ag}_3\text{Sn}$, получены термодинамические характеристики шосанбецуита. В результате анализа полученной температурной зависимости ЭДС рассчитаны стандартные (298.15 К, 105 Па) величины образования Ag_3Sn из элементов.

ВЕСЭПМГ 2023 – 024

ГРАФИТИЗАЦИЯ ПАУВ ПРИ ДЕГАЗАЦИИ УГЛИСТОГО ХОНДРИТА MURCHISON (CM2)

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

Voropaev@geokhi.ru; тел.: 8 (495) 939 19 05

Работа поддержана грантом РФФИ (проект 21-17-00120)

Изучена дегазации вещества углистого хондрита Murchison (CM2) на специально сконструированной для этих задач установке. Представлены результаты экспериментальных исследований по ступенчатому нагреву (без накопления газов) и изотермическому отжигу образцов метеорита с определением состава выделяемых газов методами газовой хроматографии в интервале температур от 200 °С до 800 °С. Для учета сорбированной воды дополнительно изучена дегазация при 50 °С и 110 °С. Получены Раман спектры Murchison после отжига при разных температурах и на их основе прослежен ход тепловой графитизации взвешенных полиароматических углеводородов (ПАУВ). Проведено сравнение с результатами дегазации обыкновенного хондрита Челябинск (LL5) и показано существенное увеличение выделения углеродсодержащих газов для Murchison.

ЭПР ИССЛЕДОВАНИЕ СОДАЛИТА ИЗ МАССИВА БАЯН КОЛ (ТУВА, 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

Проведено ЭПР спектроскопическое исследование образца содалита $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2 \cdot 0.2\text{H}_2\text{O}$ из массива нефелиновых сиенитов и миаскитов Баян Кол (республика Тува). Образец представлен монокристаллом синего цвета, визуально не проявляющим фотохромные и люминесцентные свойства. В спектре образца при ориентировке $H \parallel L_4$ были зарегистрированы изотропный сигнал с $g = 2.012$ и анизотропные сигналы с $g = 2.049$ (вырожденный при данной ориентировке триплет) и $g = 2.004$ (синглет). Синглетный сигнал предположительно относится к кислородному дефекту, а триплетный сигнал связан с присутствием в составе содалита ионов S_2^{2-} , являющихся источниками электронов при образовании F -центров, обуславливающих фотохромизм. В соответствии с имеющимися в литературе данными широкая не насыщающаяся изотропная линия с $g = 2.012$ обусловлена присутствием в содалите коллоидных частиц натрия, вызывающих синюю окраску образца.

ЭПР ИЗУЧЕНИЕ ЛАЗУЛИТА

**Вяткин С.В. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ,
Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН)**
vut_box@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 38 43

Исследован лазулит из гранитных пегматитов Патомского нагорья (Иркутская область) на ЭПР спектрометре «Varian E-115». Зарегистрированы две группы линий, принадлежащих разным парамагнитным центрам. Группа интенсивных линий со значительной анизотропией g-фактора и сложной угловой зависимостью характерна для иона Fe^{3+} в электронной конфигурации $3d^5$ в состоянии 6S , находящегося в позиции алюминия в фосфатах типа AlPO_4 . Отсутствие в спектре суперсверхтонкого взаимодействия Fe^{3+} с ядром ${}^{27}\text{Al}^{3+}$ ($I = 5/2$) подтверждает, что ион Fe^{3+} замещает в кристаллической структуре лазулита именно алюминий. Линии со значительно меньшей интенсивностью объединены в три секстета. С учетом результатов электронно-зондового анализа изученного образца, наиболее вероятной причиной наличия в спектре трех секстетов является взаимодействие ${}^{27}\text{Al}^{3+}$ и иона Ni^{2+} с электронной конфигурацией $3d^8$ в 3F состоянии, локализованного в (Mg,Fe) – октаэдре структуры. На основании полученных ЭПР данных кристаллохимическая формула изученного лазулита имеет вид $(\text{Mg}_{0.87}\text{Fe}^{2+}_{0.13}\text{Ni}_{0.01}\text{Sr}_{0.01})(\text{Al}_{1.97}\text{Fe}^{3+}_{0.03})(\text{PO}_4)_{2.03}(\text{OH})_{1.95}$.

ЭПР ИССЛЕДОВАНИЕ МОНТЕБРАЗИТА ИЗ СОЛЬБЕЛЬДЫРСКОГО ПЕГМАТИТОВОГО ПОЛЯ (ТУВА, 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

Монтебразит состава $\text{Li}_{0.97}\text{Al}_{1.01}(\text{PO}_4)_{1.04}(\text{OH})_{0.79}\text{F}_{0.09}$ исследован методом ЭПР спектроскопии. Зарегистрировано несколько парамагнитных центров. Линии с g -факторами 7.21 и 4.04 (ориентация $H\parallel b$) принадлежат Fe^{3+} , замещающему Al^{3+} в двух независимых октаэдрических позициях. Мостиковый кислород, соединяющий два Al^{3+} -октаэдра, теряет электрон вследствие природного ионизирующего облучения и образуется центр с $g_{yy}=2.015$. Спектр центра из 11 линий отражает взаимодействие с двумя ядрами ^{27}Al ($I = 5/2$). Электрон захватывается центром с $g_{yy}=1.943$, образованным Ti^{3+} , что доказывается присутствием спутниковых линий от изотопов ^{47}Ti и ^{49}Ti . Полученные данные указывают на присутствие в составе монтебразита примесей Fe^{3+} и Ti^{3+} в позиции Al, в количествах ниже чувствительности химического анализа, а значительная интенсивность линий радиационно-чувствительных парамагнитных центров O^- и Ti^{3+} указывает на накопленную значительную палеодозу облучения и косвенно подтверждает литературные данные о возрасте вмещающих пегматитов (272 ± 5.2 млн. лет).

ВЕСЭПМГ 2023 - 028

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Co, Ni, Re, Os, Pt МЕЖДУ Fe-МЕТАЛЛИЧЕСКИМ И Fe-СУЛЬФИДНЫМ РАСПЛАВАМИ СИСТЕМЫ Fe-S-C ПРИ 4 ГПа, 1400°C: ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ, ХАЛЬКОФИЛЬНЫЕ И СИДЕРОФИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

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

gog@iem.ac.ru, nastya@iem.ac.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0001, при поддержке гранта РФФ № 21-17-00119

Fe, Co, Ni, Re, Os, Pt характеризуются сидерофильными и халькофильными свойствами. При 4 ГПа, 1400°C определены коэффициенты разделения D (Mc/Ms) каждого из элементов и коэффициенты распределения 2-х элементов Kd (Mc/Ms) между Fe-металлическим (Mc) и Fe-сульфидным (Ms) расплавами системы Fe-S-C. D (Mc/Ms) служили индикаторами сидерофильных и халькофильных свойств каждого из элементов, Kd (Mc/Ms) характеризовали межэлементные соотношения при фракционировании. В ряду Fe-Os-Co-Re с D (Mc/Ms) >1 , преобладают сидерофильные свойства, которые возрастают с увеличением D (Mc/Ms): 1,2-1,5-1,6-12,6. В ряду Ni-Pt-S с D (Mc/Ms) <1 преобладают халькофильные свойства, которые возрастают с уменьшением D (Mc/Ms): 0,9-0,6-0,1. Kd (Mc/Ms) Re/Os (8,4), Pt/Os (0,4) свидетельствуют об изменении Re/Os и Pt/Os отношений и связанных с ними систем $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$ и $^{190}\text{Pt}/^{186}\text{Os}$ изотопов в результате фракционирования.

СИНТЕЗ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ $\text{Ga}_3\text{GaGeO}_8$

Горелова Л.А., Верещагин О.С. (СПбГУ), Сеткова Т.В., Спивак А.В. (ИЭМ РАН)

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

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

Кристаллы $\text{Ga}_3\text{GaGeO}_8$ размером до 100 мкм получены в термоградиентных гидротермальных условиях при температуре 600/650 °С и давлении 100 МПа. Кристаллы имеют дипирамидальный облик и формируют двойники прорастания. Методом Ритвельда показано, что синтезированное соединение относится к структурному типу $\text{Fe}_3\text{Ge}_2\text{O}_8$ (пр.гр. $P2_1/c$) с параметрами решетки $a = 8.2714(2)$, $b = 8.2402(2)$, $c = 9.0900(2)$ Å, $\beta = 117.676(1)$, $V = 548.67(2)$ Å³ ($R_{wp} = 2\%$). В основе кристаллической структуры лежат слои из соединенных по ребрам октаэдров GaO_6 , которые, соединяясь через тетраэдры GeO_4 и GaO_4 , образуют каркас. Методом КР-спектроскопии *in situ* изучено влияние температуры (25–600 °С) на кристаллическую структуру синтезированного соединения. Показано смещение основных полос спектра в область низких частот. Полиморфных переходов в исследованном диапазоне температур не обнаружено.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТАУМАСИТА

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

Таумасит $\text{Ca}_{3.0}\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_{0.9}(\text{SO}_4)_{1.1} \cdot 12.3\text{H}_2\text{O}$ (рудник Н'Чванинг, марганцеворудное поле Калахари, ЮАР) исследован методами порошковой рентгенографии, спектроскопии инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния, термического анализа и микрокалориметрии. Поэтапное изучение процесса термического преобразования таумасита проведено с привлечением методов ИК и КР спектроскопии. Установлено, что начало изменения структуры происходит при 383 К и связано с началом разрушения октаэдрических анионов $[\text{Si}(\text{OH})_6]^{2-}$; при нагревании до 408 К образуется водосодержащая карбонат-сульфат-силикатная аморфная фаза, из которой к 973 К кристаллизуется промежуточная фаза – кальцит и практически полностью удаляется вода; кристаллизация ангидрита завершается к 1073 К; а при 1273 К в продукте разложения таумасита присутствуют только ангидрит и тернесит при полном отсутствии карбонатной составляющей. Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения определена энтальпия образования изученного образца таумасита из элементов (-8816 ± 30 кДж/моль). Оценено значение абсолютной энтропии, рассчитаны энтальпия и энергия Гиббса образования таумасита теоретического состава $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$: 945.4 ± 1.8 Дж/(моль·К), -8699 ± 30 кДж/моль и -7577 ± 30 кДж/моль соответственно.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАЗУЛИТА

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

Исследован лазулит из гранитных пегматитов Патомского нагорья (Иркутская область). На основании данных, полученных методами термического и электроннозондового анализом, ЭПР и мёссбауэровской спектроскопии рассчитана кристаллохимическая формула изученного образца $(\text{Mg}_{0.87}\text{Fe}^{2+}_{0.13}\text{Ni}_{0.01}\text{Sr}_{0.01})(\text{Al}_{1.97}\text{Fe}^{3+}_{0.03})(\text{PO}_4)_{2.03}(\text{OH})_{1.95}$. Методом расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве «Setaram» (Франция) определена энтальпия образования лазулита состава $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}^{2+}_{0.1})\text{Al}_{2.0}(\text{PO}_4)_{2.0}(\text{OH})_{2.0}$ из элементов $\Delta_f H^0(298.15 \text{ K}) = -4472.5 \pm 3.1$ кДж/моль. Оценено значение его абсолютной энтропии $S^0(298.15 \text{ K}) = 207 \pm 3$ Дж/(моль·К), рассчитаны энтропия образования $\Delta_f S^0(298.15 \text{ K}) = -1120 \pm 3$ Дж/(моль·К) и энергия Гиббса образования из элементов $\Delta_f G^0(298.15 \text{ K}) = -4138.7 \pm 3.2$ кДж/моль. Оценены значения энтальпии и энергии Гиббса образования из элементов магниевого члена изоморфного ряда лазулит – скорцалит состава $\text{MgAl}_{2.0}(\text{PO}_4)_{2.0}(\text{OH})_{2.0}$: -4492.7 ± 3.1 и -4157.6 ± 3.2 кДж/моль соответственно.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ И БИОДОСТУПНОСТИ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСАДКАХ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ
Г. НИЖНИЙ НОВГОРОД**

Гришанцева Е.С. (геол. ф-т МГУ, ИГ РАН), Кашутина Е.А., Ясинский С.В. (ИГ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-17-00224 и государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8)

В работе рассматриваются результаты изучения микроэлементного состава осадков ливневой канализации г. Нижний Новгород. Необходимость исследования осадков ливневой канализации связана с тем, что они служат интегральным индикатором антропогенной нагрузки на водные объекты территории водосбора, аккумулируя взвешенную фракцию поверхностного стока. Для прогнозирования участия микроэлементов в миграционных процессах проведено исследование форм нахождения микроэлементов по методике последовательных экстракции Тесье. По гранулометрическому составу осадки относятся к глинам пылеватым. Для определения потенциальной биодоступности микроэлементов в осадке использовали методику SBET (Simplified Bioaccessibility Extraction Test), которая предусматривает экстракцию металлов 0,4 М раствором глицина, доведенным до pH=1,5 соляной кислотой, при температуре 37⁰ С. Тест проводили для мелкодисперсной фракции (размер частиц менее 0.1 мм) осадков, обладающей наибольшей проникающей способностью. Концентрации металлов в экстрактах и твердой фазе образцов определяли методом ИСП-МС. Доля биодоступных форм в осадках составила для Fe, Mo 3-4%; V, Cr, Co, Ni 20-30%; Pb, Zn 70-75%; Mn, Ag, Sr, Cu 40-60%; Cd, As около 90% от валового содержания.

ВЕСЭПМГ 2023 - 033

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА, РАСТВОРЕННЫХ В
РАСПЛАВЕ Fe–Ni–S ПРИ ВЫСОКИХ P-T ПАРАМЕТРАХ**

Грязнов И. А., Карпович З. А. (ИГМ СО РАН)

Gryaznovia@igm.nsc.ru; тел: 8 (383) 306 64 03

Работа выполнена при финансовой поддержке: грант РФФ № 21-17-00082

Приводятся результаты по растворению плоскогранных кристаллов алмаза октаэдрического габитуса в расплавах Fe–Ni–S «доэвтектических» составов при 4.0 ГПа и 1400 °С. Установлено, что формирующаяся морфология алмазов в таких расплавах, соответствует морфологии части природных алмазов из кимберлитов, а именно ряду: плоскогранный октаэдр – ламинарный октаэдр – октаэдроид с параллельной штриховкой по направлению $\langle 110 \rangle$.

Сделано предположение: алмазы данного морфологического ряда не испытывали естественное растворение в кимберлитовой магме, а подобно плоскогранным октаэдрам, были изолированы от нее в ксенолитах. Таким образом, можно полагать, что высокое содержание алмазов подобного морфологического типа в месторождениях может являться косвенным признаком более высокой алмазоносности в сравнении с месторождениями, в которых преобладают алмазы – додекаэдроиды с «гранным» швом.

**АНАЛИЗ МУЛЬТИСИСТЕМЫ $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$
НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ ПАРГАСИТА**

Девятова В.Н., Симакин А.Г., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)
dev@iem.ac.ru

На основании экспериментально полученных парагенезисов при $T = 1000 - 1100$ °С и $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.4 - 5$ Кб для системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ построено сечение в интенсивных параметрах T , $P_{\text{H}_2\text{O}}$. Построение велось для фаз, характерных для щелочных средних и основных вулканитов: оливина, клино- и ортопироксенов, амфибола, плагиоклаза, нефелина, шпинели и расплава переменного состава.

Рассматриваемая пятикомпонентная система по правилу фаз Гиббса $n = K + 2 - r$ для $r = 8$ является мультисистемой с несколькими невариантными точками. По экспериментальным данным третьим независимым параметром является активность кремнезема в расплаве – $a_{\text{SiO}_2}^L$.

Для состава $0.5\text{Na}_2\text{O} - 2\text{CaO} - 4\text{MgO} - 1.5\text{Al}_2\text{O}_3 - 6\text{SiO}_2$ (ат.) с интервалом $a_{\text{SiO}_2}^L$ щелочных основных расплавов, рассмотрена одна стабильная невариантная точка (Орх). Точка располагается на пересечении стабильных лучей моновариантных реакций: дегидратации паргасита и плавлении продуктов дегидратации.

Нами дополнительно нанесены две стабильные линии: солидуса системы и реакции паргасита с расплавом. Инконгруэнтное плавление не отражается на диаграмме. По нашему мнению, последнее протекает в недосыщенных по воде условиях.

ВЕСЭПМГ 2023 - 035

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛУННЫХ МОРСКИХ БАЗАЛЬТОВ «ЛУНЫ-16»
И «CHANG'E-5»**

Демидова С.И., Рязанцев К.М. Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН)

demidova.si@yandex.ru; тел.: 8 (495) 939 70 19

Работа выполнена в рамках темы государственного задания №137-2019-0002

Образцы реголита «Луны-16» и «Chang'E-5» содержат значительное количество фрагментов морских среднетитанистых высокоалюминиевых базальтов. Несмотря на отдаленное расположение и различия в возрасте, они обладают удивительным сходством как минералого-петрографических характеристик, так и химического состава, что может указывать на подобие параметров кристаллизационного процесса таких пород. Минералого-петрографические особенности базальтов «Луны-16» и «Chang'E-5» свидетельствуют об их сродстве с высокотитанистыми базальтами «Apollo-11 и -17».

ЛУННЫЙ ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТРОМЕТР МИССИИ ЛУНА-25

**Доброленский Ю.С. (ИКИ РАН), Манцевич С.Н. (ИКИ РАН, физ. ф-т МГУ),
Кораблев О.И. (ИКИ РАН)**

В ИКИ РАН создан и готовится к запуску в проекте Луна-25 лунный инфракрасный спектрометр с телевизионной поддержкой рабочего поля манипулятора (ЛИС-ТВ-РПМ). Комплекс предназначен для оценки гидратации реголита вблизи посадочного модуля путем регистрации спектров отраженного солнечного излучения в спектральном диапазоне 1,15–3,4 мкм. Это даст возможность впервые наблюдать наиболее сильную 3-мкм полосу гидратации ОН/Н₂О вблизи. Другой целью эксперимента является исследование минерального состава поверхности. Аналогичные исследования в китайских проектах позволили, в частности, отождествить на поверхности материалы, вероятно принадлежащие к верхней мантии Луны (Li et al. Nature 569, 378, 2019). Спектрометр ЛИС и стереопара панхроматических камер ТВ-РПМ установлены на манипуляторе, основная задача которого – взятие образцов реголита для исследования аналитическими приборами аппарата. Таким образом, комплекс ЛИС-ТВ-РПМ будет иметь возможность оценить разнообразие реголита вблизи места посадки и наблюдать в различных условиях освещения. Мы рассчитываем исследовать отвалы свежего, богатого летучими соединениями реголита, образовавшиеся после взятия проб и проследить процесс его выветривания под действием космических факторов.

**КОСМОХИМИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА МОДЕЛИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ
АСТЕРОИДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО КЛАССА С ГЛАВНОГО ПОЯСА**

Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН)

Dorofeeva@geokhi.ru; тел.: 8 (903) 181-71-29

Происхождение астероидов спектрального класса С Главного пояса тесно связано с процессами образования и эволюции ранней Солнечной системы, происхождения летучих на земных планетах и прежде всего воды, без которой невозможно было бы зарождение жизни на Земле. К настоящему времени накоплен большой объем экспериментальной информации по химическому и изотопному составу тел как астероидного пояса, так и внешней Солнечной системы, и прежде всего регулярных спутников Юпитера и Сатурна. Это позволяет критически оценить предлагаемые в литературе динамические модели происхождения астероидов С-класса - самый распространенный тип астероидов, которые рассматриваются в качестве наиболее вероятных кандидатов на роль родительских тел CI и CM хондритов - in situ, в результате захвата планетезималей, образовавшихся либо в транс-нептуновом планетезимальном диске, либо в регионе планет-гигантов и другие модели. В качестве основных космохимических ограничений рассматриваются состав ледяной компоненты этих тел, относительное содержание в них воды и ее изотопный состав.

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫХ РЕАКЦИЙ В ЛУННОМ РЕГОЛИТЕ

Дубинский А.Ю., Попель С.И. (ИКИ РАН)

nfkpb@bk.ru; тел.: +7 (495) 333 52 12

Вблизи поверхности Луны скорость протона в составе солнечного ветра составляет ~500 км/с, что соответствует кинетической энергии ~1кэВ. Этой энергии достаточно для проникновения протона в материю лунного реголита, многократного разрыва в нем межатомных связей, а также образования гидроксильной группы –ОН. В частности, разрыву подвергаются молекулярные фрагменты Si—O—Si, характерные для минералов, входящих в состав реголита, так что возможно протекание реакций, которые не могут быть запущены только энергией теплового движения. В частности, если в непосредственной близости от разорванной связи присутствуют сульфиды металлов (например, Ag₂S, FeS), то в силу своего атомарного сходства возможен обмен атомов кислорода и серы, что может приводить к дальнейшему образованию восстановленных металлов, их гидроксидов, а также молекул воды, инкорпорированных в вещество лунного реголита.

РАВНОВЕСНАЯ ТЕМПЕРАТУРА В ЛУННОМ ГРУНТЕ НА ГЛУБИНЕ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ОСВЕЩЕННОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ

Дудченко В.А., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)

dudchenko@geokhi.ru; тел.: 8 (926) 388 29 99

Распределение температуры в лунном грунте в полярных областях в зависимости от температурных условий на поверхности является одной из актуальных задач на современном этапе освоения Луны.

Модель $T(z)$ в зависимости от заданных условий на поверхности позволяет решать обратную задачу для определения установившейся равновесной температуры в лунном грунте на глубине.

В экваториальной области, где смена сезонов отсутствует, суточные колебания температуры в лунном грунте полностью затухают на глубине около 80 см и наблюдается постоянная температура около -20°C .

В полярных районах Солнце светит по касательной и в зависимости от рельефа степень освещенности может изменяться от полного отсутствия света до 90%.

Оценена постоянная (равновесная) температура в лунном грунте на глубине около 45 см на холме у кратера Шеклтон для мест со степенью освещенности около 80%. В летний сезон она составляет около -70°C , а в зимний сезон она снижается до -90°C .

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ВНУТРЕНнюю СТРУКТУРУ И ОТНОШЕНИЕ H₂O/ПОРОДА В ЧАСТИЧНО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ТИТАНЕ

Дунаева А.Н., Кронрод В.А., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН)
dunaeva.an@gmail.com; тел. 8 (916) 705 64 05

Повсеместное распространение органического вещества в космических объектах позволяет рассматривать его в качестве значимого компонента при изучении планет, спутников и малых тел Солнечной системы. Данные астрономической спектроскопии, полученные в ходе наземных и космических наблюдений, результаты радиолокационного зондирования *in situ* кометного вещества, а также лабораторные исследования космической пыли, углистых хондритов и ультрауглеродистых микрометеоритов указывают на значительное (до 45 – 85 %) содержание органической компоненты в космическом веществе. Теоретические модели внутреннего строения карликовых планет (Плутон, Церера) и крупных ледяных спутников (Титан, Ганимед) предполагают наличие в их составе тугоплавких органических соединений в количестве 15-20 %.

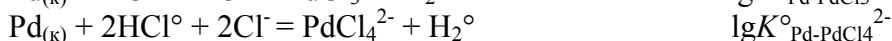
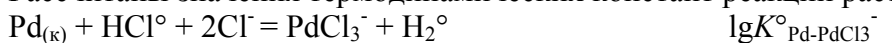
В работе рассмотрено влияние низкоплотной органической компоненты на внутреннюю структуру и общее содержание H₂O (вода, лед) в частично дифференцированном Титане. Железосиликатное вещество спутника моделировалось породой различного состава: CI, L/LL, PF-грок. Проведены оценки допустимых значений содержания органического вещества в Титане. Полученные данные сопоставлены с экспериментальной и теоретической информацией по общему содержанию и распределению органического вещества и воды на объектах Солнечной системы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ ПЕРЕНОСА ПАЛЛАДИЯ И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ХЛОРИДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮИДАХ

Дягилева Д.Р. (геол. ф-т МГУ), Рубцова Е.А. (геол. ф-т МГУ, ИГЕМ РАН),
Реуков В.Л. (ИГЕМ РАН), Николаева И.Ю. (геол. ф-т МГУ),
Тарнопольская М.Е. (геол. ф-т МГУ), Тагиров Б.Р. (ИГЕМ РАН)
andrdr2@gmail.com; тел.: 8 (951) 959 20 12

С целью определения форм гидротермального переноса палладия хлоридными флюидами были поставлены эксперименты по растворению металлического палладия в растворах HCl – NaCl (концентрации хлорид-иона от 0.3 до 15 моль/кг H₂O) при 450°C/1000 бар и 350°C/500 бар, а также сульфида палладия при 450°C/1000 бар.

Рассчитаны значения термодинамических констант реакций растворения палладия:



При 450°C/1000 бар новое значение $\lg K^{\circ}_{\text{Pd-PdCl}_3^{-}} = -3.9 \pm 0.4$ хорошо согласуется с известными значениями, а $\lg K^{\circ}_{\text{Pd-PdCl}_4^{2-}} = -4.9 \pm 0.4$ демонстрирует существенно меньшую устойчивость, чем считалось ранее. Согласно нашим данным, комплекс PdCl₄²⁻ преобладает при этих параметрах в растворах с концентрацией NaCl > 4.95 моль/кг H₂O. При 350°C/500 бар также показана более существенная роль PdCl₃⁻ и меньшая значимость PdCl₄²⁻ в гидротермальном переносе палладия высокотемпературными кислыми хлоридными и хлоридно-сульфидными флюидами.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА
ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ КИСЛОГО СОСТАВА (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ
РЕЗУЛЬТАТЫ)

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

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

Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН

Летучесть кислорода один из важнейших физико-химических параметров, определяющих составы кристаллических фаз, расплавов и магматических газов, образующихся в процессе эволюции магматических систем. Цель данной работы состояла в изучении возможности использования электрохимического метода измерения собственной летучести кислорода (fO_2) для оценки редокс условий формирования кислых вулканических стекол (расплавов). Объектом исследования служили образцы риолита (R-St, Сев. Америка) и обсидиана (Ю-IV/1, Армения). Эксперименты проводились на высокотемпературной установке с двумя твердыми электролитическими ячейками, изготовленными из окиси циркония, стабилизированной окисью иттрия, в интервале температур от 750°C до 1050°C. Точность измерения fO_2 составляла $\pm 0,2$ лог. единицы. Для измерений использовались небольшие кусочки (1-3 мм) стекла общей массой 70-90 мг, тщательно отобранные под микроскопом, чтобы избежать присутствия корок выветривания и газовых пузырьков. Из риолита выделить полностью чистое стекло не было возможности, поэтому измерения проводились с двумя фракциями риолитовых стекол с разным содержанием микрокристаллов рудного минерала (титаномагнетита). Результаты измерений fO_2 для каждого образца описываются линейным уравнением вида: $\log fO_2 = A - B/T(K)$, где «А» и «В» константы:

Риолит R-St («минимум» крист.) $\log fO_2 = 10,136 - 31454/T, K$;

Риолит R-St: (стекло с крист.) $\log fO_2 = 14,111 - 35928/T, K$;

Обсидиан (Ю-IV)/1 (стекло) $\log fO_2 = 13,902 - 35708/T, K$.

Все изученные образцы стекол в интервале 750 - 1050°C. демонстрируют низкие значения fO_2 близкие к буферному равновесию IW. Летучесть кислорода риолитового стекла с повышенным содержанием кристаллической фазы при 1050°C заметно (примерно на порядок) превышает fO_2 стекол с пониженным содержанием кристаллической фазы.

На основании полученных данных обсуждаются вопросы методики проведения электрохимических измерений силикатных стекол, а также наблюдаемых расхождений в оценках fO_2 для кислых вулканитов, полученных с использованием других оксидометров.

ВЕСЭПМГ 2023 - 043

**РОЛЬ ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (C, S, АНТРАЦЕН C₁₄H₁₀) В ПРОЦЕССЕ МИГРАЦИИ
РАСПЛАВА ЖЕЛЕЗА ЧЕРЕЗ ТВЕРДУЮ СИЛИКАТНУЮ МАТРИЦУ.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

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

ezhimulev@igm.nsc.ru; тел: 8 (383) 306 64 03

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

Экспериментально апробирована предложенная ранее модель миграции Fe и FeNi расплавов через твердую силикатную матрицу, состоящую из зерен оливина, с интерстициями, заполненными следующими составами: графитом, серой, смесью графита с серой, антраценом при 5.5 ГПа и 1600 °С. Модель подразумевает растворение вещества интерстиций в металлическом расплаве с последующим проникновением расплава в образовавшиеся полости. Сделана оценка скорости проникновения металлического расплава сквозь оливиную матрицу при параметрах экспериментов в зависимости от содержания легких элементов и размера зерен оливина. Показана возможность синтеза алмаза в процессе миграции металлического расплава через твердую силикатную матрицу, интерстиции которой заполнены графитом. Результаты экспериментов показывают, что легкие элементы такие как C, S, а также их соединения с водородом (на примере антрацена) могли играть важную роль в процессе дифференциации внутренних оболочек Земли.

**ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ОБСТАНОВКА СРЕДЫ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ
ОБРАЗОВАНИЯ БЕЗАЗОТНЫХ АЛМАЗОВ ТИПА Па**

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

ezhimulev@igm.nsc.ru; тел: 8 (383) 306 64 03

Работа выполнена при финансовой поддержке: грант РФФ № 21-17-00082

Природные алмазы типа Па составляют 2 % от общего количества алмазов из кимберлитов, при этом модель генезиса таких алмазов пока не проработана. Нами проведено исследование флюидной фазы, захваченной синтетическими алмазами типа Па при росте по НРНТ технологии при 5.5–6.0 ГПа и 1350–1400 °С. Установлено, что введение металлического Ti в ростовую систему приводит к концентрированию азота в основном в виде азотсодержащих углеводородов. Рассмотрен механизм, при котором образуются безазотные кристаллы: присутствие Ti приводит к увеличению фугитивности водорода в металлическом расплаве, что резко снижает растворимость азота. В результате азот в ростовой системе концентрируется в виде сложных углеводородных соединений во флюиде, а алмаз характеризуется очень низким содержанием азота. Предполагается, что предложенный механизм действует так же в присутствии других активных химических элементов, являющихся сильными восстановителями.

ЭФФЕКТ СЕПАРАЦИИ СОЛЕЙ ПРИ РАСПАДЕ ВОДНО-УГЛЕКИСЛОТНО-СОЛЕВОГО ФЛЮИДА

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 помощи разработанной нами численной термодинамической модели четверной флюидной системы $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ (Иванов, 2023) для P - T условий средней и нижней коры исследована возможность изменения соотношения концентраций CaCl_2 и NaCl во флюидных фазах, образующихся в результате распада флюида при снижении P - T параметров. Флюид $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ распадается на две несмешиваемые флюидные фазы: преимущественно водно-солевую фазу $f1$ и преимущественно водно-углекислотную фазу $f2$ с меньшей концентрацией соли. Вследствие большего сродства NaCl к углекислому газу солевая компонента фазы $f2$ обогащена NaCl по сравнению с исходным флюидом и обеднена CaCl_2 . Дальнейшее снижение P - T параметров может вести к аналогичному распаду фаз $f1$ и $f2$. Многократное повторение процесса ведёт к образованию малосоленной фазы содержащей преимущественно NaCl , в то время как CaCl_2 содержится в более плотной высокосоленной водной фазе.

**ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ В МАНТИЙНЫХ ПОРОДАХ НА ГРАНИЦЕ С ЯДРОМ ЛУНЫ:
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Иванова М.В. (ГЕОХИ РАН), Бобров А.В. (ГЕОХИ РАН, геол. ф-т МГУ)
mv.iva.nova@yandex.ru; тел.: 8 (916) 125 78 55

Согласно данным лазерной локации Луны и миссии GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory), в основании лунной мантии на границе с внешним ядром может располагаться частично расплавленная зона. Эта зона предположительно находится на глубине около 1200 км, имеет мощность 150-200 км и обогащена FeO, TiO₂ по сравнению с окружающей мантией.

В данной работе на основании экспериментального изучения системы CaO-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂ (CFMASTi), моделирующей вещество нижнего слоя мантии Луны на контакте с жидким ядром, были выявлены главные особенности фазовых отношений в субликвидусной и субсолидусной частях системы с повышенным содержанием титана (10 мас.%) при температурах 1000-1600°C и фиксированном давлении 4.5 ГПа. Полученная фазовая ассоциация включает в себя: оливин, энстатит, диопсид, гранат мэйджоритового типа, рутил, ильменит и расплав. Определены зависимости фазовых отношений от температур. Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность частичного плавления субстрата в температурном диапазоне 1450-1600°C на глубинах порядка 1200-1400 км.

ИК СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОГО АППАРАТА ЛУНА-26

Игнатъев Н.И. (ИКИ РАН), Фабер Е. Д. (НИУ ВШЭ), Кораблев О.И., Родионов Д.С., Трохимовский А.Ю., Ступин И.А., Жмайлов С.В., Кунгуров А.С., Маслов И.А. (ИКИ РАН), Ломакин А.А. (НИУ ВШЭ, ИКИ РАН)
ignatiev@cosmos.ru; тел.: 8 (495) 333 15 02

Инфракрасный фурье-спектрометр ЛУМИС (LUMIS: Lunar Mapping Infrared Spectrometer) разработан в ИКИ РАН для орбитального аппарата «Луна-26». Прибор предназначен для исследования гидратации, картирования минералогического состава и термофизических свойств поверхности Луны по спектрам теплового и отраженного солнечного излучения в диапазоне 2–10 мкм. Спектры, полученные из измеренных интерферограмм, позволят оценить содержание различных форм ОН/Н₂О в реголите на глубине до 3 мм по полосам поглощения в районе 3 и 6 мкм, а также минеральный состав реголита. Картирование осуществляется при помощи однокоординатного сканера и за счет движения КА по орбите. Собранные спектральные данные затем могут быть использованы для составления карт пространственных вариаций минералогического разнообразия лунной поверхности.

**РОСТ ЭКЗОПЛАНЕТ ЗА СЧЕТ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ, ПЕРВОНАЧАЛЬНО
НАХОДИВШИХСЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ ЗВЕЗДЫ,
В СИСТЕМЕ ТРАППИСТ-1**

Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)

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

Исследования проводились в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

Экзопланетная система ТРАППИСТ-1 (TRAPPIST-1) состоит из звезды с массой, равной 0.0898 массы Солнца, и 7 планет (от *b* до *h*) с массами от 0.33 до 1.37 массы Земли. Большие полуоси орбит планет находятся в диапазоне от 0.012 до 0.062 а.е. Рассматриваемый диск планетезималей располагался вблизи орбиты одной из рассматриваемых планет. Результаты расчетов показали, что, как и Земля и Венера, несколько планет в экзопланетной системе TRAPPIST-1 аккумулировали планетезимали, первоначально находящиеся на одинаковом расстоянии. На гиперболические орбиты было выброшено не более 3% планетезималей. Для дисков, изначально находившихся вблизи орбит планет *b* и *c*, выброса планетезималей не было. Столкновений планетезималей с родительской звездой в рассмотренных вариантах расчетов не было. Более половины планетезималей дисков, первоначально располагавшихся вблизи орбит планет от *b* до *g*, столкнулись с планетами менее чем за 1000 лет.

РАЗМЕРЫ ЗОНЫ ПИТАНИЯ ПЛАНЕТЫ ПРОКСИМА ЦЕНТАВРА С

Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)

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

Исследования проводились в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

Рассмотрена зона питания планеты Проксима-Центавра c , включая подинтервалы больших полуосей устойчивых орбит внутри основной зоны питания и люки вне основной зоны (Астрономический вестник. 2023, т. 57, N 3). Исследования основаны на результатах моделирования эволюции орбит планетезималей под влиянием звезды и планет Проксима-Центавра c и b на интервале времени до миллиарда лет. Начальные эксцентриситеты e_0 орбит планетезималей равнялись 0.02 или 0.15, а их начальные наклонения равнялись $e_0/2$ радиан. После аккумуляции планеты c некоторые планетезимали могли продолжать двигаться по устойчивым эллиптическим орбитам внутри ее зоны питания, в основном очищенной от планетезималей. Обычно такие планетезимали могут двигаться в некоторых резонансах с планетой c , например, в резонансах 1:1, 5:4 и 3:4, и имеют небольшие эксцентриситеты. Некоторые планетезимали, двигавшиеся около 1-2 млн лет по хаотическим орбитам, попадали в резонансы 5:2 и 3:10 с планетой c и двигались в них минимум десятки миллионов лет.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ *IN SITU* ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТШПИНЕЛЕВЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ Mg-Al-Cr-O ДО 30 ГПа

**Искрина А.В. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН),
Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН),
Спивак А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН),
Хасанов С.С., Кузьмин А.В. (ИФТТ РАН)**

iskrina@iem.ac.ru; тел.: 8 (916) 339 51 75

*Поддержка: РФФИ (грант № 20-35-90095\20), работа выполнялась в рамках научного плана
Лаборатории глубинных геосфер МГУ им. М.В. Ломоносова и в рамках темы НИР ИЭМ
РАН №FMUF-2022-0001*

В зонах субдукции происходит обогащение мантийных глубин коровым веществом. Базальт, по сравнению с пиролитом, содержит более высокие концентрации SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , FeO , Na_2O , K_2O . Предполагается, что так называемые постшпинелевые фазы (Akaogi et al., 1999) со структурами феррита кальция, титаната кальция и марокита являются концентраторами коровых элементов в переходной зоне и нижней мантии. В данной работе проводилось *in situ* изучение системы Mg-Al-Cr-O. Были синтезированы фазы состава $\text{Mg}_2(\text{Al,Cr})_2\text{O}_5$ и $\text{Mg}(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$. Фаза $\text{Mg}_2(\text{Al,Cr})_2\text{O}_5$ имеет модифицированную структуру людвигита (*Pbam*), а фаза $\text{Mg}(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$ имеет структуру кальцититаната и кристаллизуется в пространственной группе *Smct*. Она была изучена до 30 ГПа в ячейке с алмазными наковальнями. В результате было установлено, что при достижении 12-16 ГПа происходит смена цвета кристалла с зеленого на красный, что сохраняется при дальнейшем повышении давления. Это изменение не является стабильным, при снижении давления кристалл снова становится зеленым. Вышеописанные фазы, несомненно, стабильны в мантийных условиях и могут рассматриваться как фазы-концентраторы коровых элементов в мантии Земли.

**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИК-СПЕКТРОВ СЛОЖНЫХ СИЛИКАТОВ ТИНАКСИТА И
ТОККОИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЧЕТАНИЯ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И
AB INITIO РАСЧЕТОВ**

Канева Е.В., Богданов А.И., Шендрик Р.Ю. (ИГХ СО РАН)

kev604@mail.ru; тел.: 8 (395) 242 99 64

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–27–00183,

<https://rscf.ru/project/22-27-00183/>

Для изучения влияния адсорбированных молекул воды на ИК-спектры сложных силикатов, содержащих гибридный тип анион-радикала, тинаксита ($K_2Ca_2NaTi[Si_7O_{18}OH]O$) и токкоита ($K_2Ca_4[Si_7O_{18}OH](OH,F)$), проведена оптимизация геометрии кристаллических структур в рамках теории функционала плотности. В качестве стартового приближения для геометрии были взяты модели структуры, полученные с использованием монокристаллической рентгеновской дифракции; в их полости были помещены молекулы воды. В результате исследования были рассчитаны ИК-спектры поглощения теоретических моделей структур минералов, осуществлено сопоставление рассчитанного и экспериментального ИК-спектров и проведено качественное описание природы наиболее интенсивных полос.

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ БОРОСЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ЩЕЛОЧНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАРА-Й-ПИОЗ (ТАДЖИКИСТАН) ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Канева Е.В. (ИГХ СО РАН), Панкратов В. (LU Institute of physics), Радомская Т. А., Белозерова О. Ю., Шендрик Р.Ю. (ИГХ СО РАН)
r.shendrik@gmail.com; тел.: 8 (395) 251 14 62

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–27–00183, <https://rscf.ru/project/22-27-00183/>

Функциональные материалы на основе боросиликатных систем имеет важное значение для применения в качестве люминофоров и рентгеновских экранов. В работе приводятся результаты исследований боросиликатных минералов из щелочного месторождения Дара-й-Пиоз (Таджикистан) – ридмерджерита (NaBSi_3O_8) и стиллуэллита-(Ce) ($[\text{Ce},\text{La},\text{Ca}]\text{BSiO}_5$) методами оптической спектроскопии при синхротронном возбуждении. Исследована люминесценция Ce^{3+} и Bi^{2+} в данных минералах при возбуждении в области вакуумного ультрафиолета. В результате исследования установлено, что люминесценция ионов церия и висмута возбуждается в области межзонных переходов. Построены диаграммы уровней трехвалентных ионов лантаноидов в запрещенной зоне кристаллов ридмерджерита и стиллуэллита-(Ce). Установлено, что исследуемые боросиликаты обладают высоким выходом рентгенолюминесценции.

РАСТВОРЕНИЕ СИЛИКАТНЫХ И АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Карасева О.Н., Лакштанов Л.З., Ханин Д.А. (ИЭМ РАН),

Бадьянова Л.В. (ИЭМ РАН, ИОФ РАН)

olga@iem.ac.ru; тел. +7 (496) 522 58 54

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-27-00035)

Силикаты и алюмосиликаты магния и кальция являются потенциальными источниками двухвалентных катионов, необходимых для минерализации CO_2 в карбонатных минералах. Наши исследования были направлены на поиск органических соединений, которые ускоряют растворения (алюмо)силикатных минералов и способствуют как выщелачиванию катионов, так и стабилизации алюмосиликатного каркаса. В связи с этим, были проведены эксперименты по изучению кинетики растворения талька, серпентина, офита, флогопита в проточных ячейках при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в растворах органических и неорганических кислот различной концентрации. В результате исследований было обнаружено, что в присутствии органических кислот выщелачивание катионов магния значительно повышается. Определено, какие минералы и при каких условиях растворяются конгруэнтно - когда в раствор высвобождаются одновременно ионы Mg и Si, Al согласно их стехиометрии в твердой фазе, а также инконгруэнтно – ионы кремния и алюминия преимущественно остаются в каркасе минерала.

**СИНТЕЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРОЙНЫХ
ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА С МЕДЬЮ И ОЛОВОМ**

Кирюхина Г.В., Кошелев А.В., Осадчий Е.Г., Чареев Д.А. (ИЭМ РАН)

g-biralo@yandex.ru; тел.: 8 (985) 197 25 62

Работа выполнена по гранту РНФ 22-27-00513

Проведена серия синтезов тройных интерметаллидов составов Me_3Cu_2Sn ($Me = Pt, Ni, Co, Fe, Rh, Ru, Pd$) и Pt_3M_2Sn ($M = Ag, Au$) в пламени кислородной горелки в кварцевых пробирках в токе аргона. Химический состав и морфология кристаллов изучены с помощью электронно-зондовой сканирующей микроскопии. Идентификация полученных фаз проводилась с помощью порошковой рентгеновской дифракции. Для образцов с переходными металлами первого ряда, а также с платиной были изучены магнитные свойства – температурные зависимости магнитной восприимчивости и теплоемкости.

В результате было выявлено, что образцы существенно неоднородны и представляют собой гетерогенные сплавы, за исключением твердого раствора $Pt(Cu_{0.67}Sn_{0.33})$. Магнитные измерения показали, что образцы $Pt(Cu_{0.67}Sn_{0.33})$, Ni_3Cu_2Sn и Co_3Cu_2Sn ведут себя как парамагнетики во всем интервале температур 5–300 К без признаков формирования дальнего магнитного порядка.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РУДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ
НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ БАЗАЛЬТ–Fe(NiCu)S–C**

**Киселева М.Д., Костюк А.В. (ИМЭ РАН),
Бобров А.В. (МГУ, ИМЭ РАН, ГЕОХИ РАН)**

kiseleva.masha@gmail.com, nastya@iem.ac.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0001

Проведены экспериментальные исследования в системе базальт–Fe(NiCu)S–C при 1250°C, 0,5 Гпа на УВГД в ИЭМ РАН. В качестве стартовых составов силикатной и рудной фракций использовали порошки силикатного стекла магнезиального базальта мокулаевской свиты Норильского района и синтетического сульфида состава (мас.%): Fe – 53, Ni – 6, Cu – 9, S – 32, в соотношении 1 : 1. Исходная смесь помещалась в графитовый контейнер с крышкой, который герметически заваривался в Pt ампуле. После опыта нижняя (сульфидная) часть образца сложена матрицей пирротинового состава (Mss), с прожилками медистого сульфида (борнита) (Iss) и Fe-Ni включений. Верхняя (силикатная) часть образца представлена гомогенным стеклом с множеством включений сульфидных капель размером от 1 до 300 микрон. В результате опыта образец представлял собой реалистичную модель рудной залежи Талнахского месторождения, где в нижней части располагаются сложенные сульфидным кумулятом массивные руды, которые перекрывает мощный горизонт оливиновых габбро-долеритов с обильной вкрапленностью сульфидных капель.

РОСТ КРИСТАЛЛОВ ТВЕРДОГО РАСТВОРА СО СТРУКТУРОЙ ФЕНАКИТА И
СТРУКТУРНО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Ковалев В.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова; ИЭМ РАН), **Томас В.Г.** (ИГМ СО РАН; НГУ),
Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), **Зубкова Н.В.** (МГУ им. М.В. Ломоносова),
Спивак А.В. (ИЭМ РАН), **Фурсенко Д.А.** (ИГМ СО РАН)
kovvn99.msu16@gmail.com; +79152080179

Впервые гидротермальным методом ($T_1/T_2 = 580/660^\circ\text{C}$, $p = 150$ МПа) синтезированы кристаллы $\text{Be}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{O}_4$ со структурой фенакита (с $x = 0-0.25$ и $0.80, 1$). Показано, что использование гидротермальных растворов на основе LiF приводит к образованию монокристаллов твердого раствора, в то время применение растворов на основе NaF приводит к пассивации германия с образованием нерастворимых германатов. Рентгеноструктурное исследование представителей твердого раствора с $x = 0, 0.80$ и 1 позволило количественно описать изменение параметров элементарной ячейки и длин связи Si(Ge)-O при увеличении содержания германия в кристалле. Применение метода индуцированной зональности позволило получить концентрически-зональные монокристаллы с диапазоном содержаний германия $0.04 < x < 0.25$. Зональность представляет собой чередование широких и узких полос. Использование данного метода позволило определить значение эффективного коэффициента распределения германия в ростовой системе (его значение меньше 1) и провести КР-спектроскопический анализ в широком диапазоне содержания германия в кристалле.

СИНТЕЗ ЦИРКОНОСИЛИКАТОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ЩЕЛОЧНОСТИ

**Ковальская Т.Н. (ИЭМ РАН), Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН, ГЕОХИ РАН),
Чуканов Н.В. (ИПХФ РАН), Ковальский Г.А., Варламов Д.А., Чайчук К.Д. (ИЭМ РАН)**
tatiana76@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 16 66

Ранее авторами настоящей работы с целью воссоздания физико-химических условий образования типоморфного минерала ультращелочных комплексов – эвдиалита – было проведено несколько экспериментов по его синтезу (Ковальская и др., 2022). Дальнейшие эксперименты показали, что при увеличении щелочности растворов происходит синтез более щелочных цирконосиликатов, также характерных для пегматитов ультращелочных комплексов. С целью изучения влияния растворов на рост цирконосиликатов были проведены эксперименты по их синтезу. В качестве стартовых смесей использованы приготовленные по гелевой методике золь-гели упрощенного эвдиалитового состава. В 2 опытах в качестве затравки к исходной смеси добавлялся природный эвдиалит (Северный карьер рудника Умбозеро, Ловозерский массив) в количестве 1% от массы навески, 2 опыта проводились без затравки. В качестве флюида использованы 1М раствор NaCl и 46% раствор NaOH в различных соотношениях. Соотношение навеска/флюид составляла 3:1. Опыты проводились на газовой установке высокого давления при температуре 600°C и давлении 2 кбар. Длительность опытов составляла 10 суток.

В продуктах трех опытов из четырех помимо новообразованного эвдиалита, отличающегося по составу от исходных затравок, диагностированы также минерал группы ловозерита и келдышит. Кроме того, наличие эвдиалита, минерала группы ловозерита и келдышита подтверждено также рентгеновскими методами.

По данным электронно-зондового микроанализа, новообразованный эвдиалит отличается пониженным содержанием железа и в одном из опытов повышенным содержанием циркония по сравнению с природным эвдиалитом.

**КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ РАЗЛОЖЕНИЯ СЕРОВОДОРОДА
НА ОСНОВЕ СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА**

**Ковальский А.М., Манахов А.М. (МИЦ Арамко),
Касим А. (Сауди Арамко, Центр разведки и нефтяной инженерии),
Паланкоев Т.А. (ИНХС РАН)**
andrey.kovalskii@aramcoinnovations.com; тел.: 8 (495) 478 15 00, доб. 1054

С ростом водородной энергетики в последние годы, реакция разложения компонента природного газа сероводорода приобрела высокую актуальность. Эта реакция с получением чистого водорода и серы несет как большой технологический потенциал, так и имеет серьезное значение для решения вопросов охраны окружающей среды. В качестве перспективных катализаторов в реакции разложения сероводорода рассматриваются сульфидные системы разных составов. Сульфидные системы переменного состава позволяют использовать циклические механизмы катализа и регенерации катализатора. Согласно литературным данным, допирование материалов металлами часто способствует повышению каталитической активности, поэтому нами был проведен синтез сульфидов железа, допированных молибденом и вольфрамом, исследованы структурные особенности полученных материалов, их активность в реакции разложения сероводорода. Получены стехиометричные (FeS) и нестехиометричные (Fe_{0.87}S) фазы, содержащие 1 и 2 % Mo и W в позиции железа. Исследование каталитической активности при 500 С показало предельный выход водорода порядка 10% и резкое возрастание конверсии по водороду с увеличением содержания допирующего металла. Активность сульфидов с избытком серы существенно ниже, чем у стехиометричных катализаторов.

ЭВОЛЮЦИЯ СОСТАВОВ МЕЛИЛИТА В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
 ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ НЕДОСЫЩЕННЫХ КРЕМНЕЗЕМОМ РАСПЛАВОВ.
 СРАВНЕНИЕ С ПРИРОДНЫМИ МЕЛИЛИТАМИ (ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ)

Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН)

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

Наряду с оливиновыми меланефелинитами высококальциевые недосыщенные кремнеземом магмы являются родоначальными расплавами ультраосновных-щелочно-карбонатитовых формаций мира, включающих мелелитовые породы, ийолиты, мельтейгиты, карбонатиты, нефелиновые сиениты и кимберлиты. В настоящей работе детально исследован состав мелелитов в процессе кристаллизации ларнит-нормативного нефелинита. Эксперименты были проведены на аппарате цилиндр-поршень в интервале давлений 5-60 GPa и температур 1050-1500°C.

Эксперименты показали, что мелелитовый нефелинит характеризуется весьма широкими полями кристаллизации мелелита, который является ликвидусной фазой вплоть до 20 кбар с падением температуры мелелит обогащается натрием и алюминием, в тоже время падает содержание Mg и Ca.

Элементы	438	436	462	451	500	559	Мелелит Гулинского массива
P (кбар)	5	5	5	5	15	18	
T°C	1225	1200	1130	1160	1260	1280	
SiO ₂	43.14	43.56	42.72	42.46	42.46	42.59	44.47
Al ₂ O ₃	3.97	4.22	6.73	4.93	6.82	7.16	4
FeO	3	3.61	3.64	3.7	2.82	2.83	3.8
MgO	10.97	10.66	8.66	10.39	9.03	8.85	7.9
CaO	37.73	36.39	34.84	36.67	36.34	35.96	33.9
Na ₂ O	1.21	1.56	2.87	1.78	2.18	2.24	3.9
K ₂ O			0.35		0.35	0.37	
Mg#	86.77	84.2	80.97	83.3	85.2	85	83
Kagr	0.6	0.69	0.75	0.88	0.97	0.55	1.6

ВЕСЭПМГ 2023 - 060

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $(Ag,Pd)_{22}Se_6$ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ
ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ ЭДС МЕТОДОМ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 550 - 723 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)

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

$C|Ag|AgI|(Ag_xPd_{1-x}, Ag_2Se, Ag_{11+y}Pd_{11-y}Se_6)|C$

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

На основании полученных данных и некоторых литературных данных показана возможность расчета

1) термодинамических свойств для фазы $(Ag,Pd)_{22}Se_6$

2) температурной зависимости фугитивности Se_2 на линии невариантного равновесия $(Ag,Pd)_{22}Se_6 + Ag_2Se + (Ag,Pd)$ сплав.

3) активности серебра в серебро-палладиевом сплаве.

**ПРОБЛЕМА ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МАССОПЕРЕНОСА И ОТЛОЖЕНИЯ ТАНТАЛА И НИОБИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)**

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

kotova@iem.ac.ru

Работа выполнена при поддержке темы НИР FMUF-2022-0003 и гранта РФФИ 15-05-03393-а;

Для получения количественных оценок возможности гидротермального транспорта и отложения тантала и ниобия при физико-химических условиях, характерных для образования главных типов эндогенных месторождений этих металлов, связанных с "апогранитами", пегматитами, щелочными метасоматитами, щелочными сиенитами и карбонатитами, проведены экспериментальные исследования растворимости колумбита $((\text{Mn}, \text{Fe})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6)$, пирохлора $(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$, оксидов тантала (Ta_2O_5) и ниобия (Nb_2O_5) в кислых, близнейтральных и щелочных водных растворах: фторидных, хлоридных, $(m\text{HF} + m\text{HCl})$, Na_2CO_3 , $(\text{NaF} + \text{Na}_2\text{CO}_3)$, NaOH , $(\text{NaF} + \text{NaOH})$ в интервале концентраций от 0,01 до 2, 0 моль/кг H_2O при температуре $300^\circ - 550^\circ \text{C}$, давлении 50 - 100 МПа и фугитивности кислорода $f(\text{O}_2)$, заданной Co-CoO и Ni-NiO буферами. Наличие F-иона оказывает положительное влияние на растворимость минералов и оксидов, причем для ниобия это выражено более заметно, чем для тантала. Роль температуры и давления второстепенна.

**ПРИРОДА НЕЛИНЕЙНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ И РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПОЛИЩЕЛОЧНЫХ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ**

Королева О.Н. (ГЕОХИ РАН)

olgankoroleva@gmail.com

Работа посвящена изучению структуры некристаллических силикатных систем, содержащих несколько катионов-модификаторов, и выяснению причин полищелочного эффекта. С этой целью было проведено исследование структуры стекол общего состава $\text{Li}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ методом физико-химического моделирования. Показано, что перегибы на зависимостях свойств стекол от состава при замещении одного катиона на другой связаны с особенностями кислотно-основного взаимодействия силикатных полианионов и катионов-модификаторов. Как следствие, с одной стороны, обнаружено упорядоченное распределение щелочных катионов между кремниево-кислородными структурными единицами различной степени полимеризации. С другой стороны, показано отклонение от аддитивности зависимостей распределений структурных единиц от соотношения различных катионов-модификаторов при их смешении. Полученные расчетные данные сопоставимы с результатами прямых исследований структуры стекол системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Кроме того, результаты моделирования объясняют результаты прямых измерений свойств полищелочных стекол, а также позволяют прогнозировать зависимость полищелочного эффекта от температуры.

**ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ
БАЗАЛЬТ–FeS–Fe–C: ПОВЕДЕНИЕ ОСМИЯ ПРИ МЕТАЛ-СУЛЬФИДНОМ
РАССЛОЕНИИ РУДООБРАЗУЮЩЕГО РАСПЛАВА**

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

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

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0001, при поддержке гранта РФФ № 21-17-00119

Распределение таких элементов как Os, Re, Pt, представляет интерес для понимания геохимии метал-сульфидного расслоения, оценки халькофильных и сидерофильных свойств этих элементов, особенностей их фракционирования. В работе рассмотрены фазовые соотношения, а также особенности поведения Os в системе базальт–FeS–Fe–C при расслоении FeS–Fe–C расплава на металлическую и сульфидную жидкости при 4 ГПа, 1400°C. Результаты экспериментов показали, что при частичном плавлении произошло пространственное разделение силикатной и рудной частей. Силикатная часть сложена продуктами частичного плавления магнезиального базальта с реликтами осмия и рения. Сульфидный расплав претерпел метал-сульфидное расслоение, а Fe-металлические и Fe-Re фазы стали главными концентраторами рудных элементов. Сидерофильность или халькофильность элементов характеризует коэффициент разделения $D_{Mc/Ms}$, который показал, что в ассоциациях Re/Os и Pt/Os осмий является халькофильным, а рений и платина – сидерофильными элементами. Наблюдаемое фракционирование Re относительно Os при распределении между Mc-Ms расплавами с обогащением металлического расплава рением ($K_d \text{ Re/Os (Mc/Ms)} = 7-9$) будет приводить к смещению Re/Os и $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$ отношений в обстановках с метал-сульфидным расслоением.

**ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК ТРОЙНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
КЛИНОПИРОКСЕНОВ ГЕДЕНБЕРГИТ-ДИОПСИД – ЭГИРИН**

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

kotelnik@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 57

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0002

Природные клинопироксены различных природных объектов – магматических и метаморфических пород часто представлены твердыми растворами. В данной работе проведено рентгеновское исследование тройных твердых растворов клинопироксенов геденбергит – диопсид – эгирин. Цель работы – изучение зависимости параметров элементарных ячеек (ПЭЯ) клинопироксенов от их состава (мольной доли магния) при фиксированном содержании эгиринового минала (~20 мол%). Для синтеза тройных растворов использовали гелевые смеси конечных миналов. Опыты проводили в золотых ампулах, в качестве флюида использовали 10% раствор KF. Соотношение навеска:флюид в опытах составляло 8-15. Эксперименты по синтезу проводили при 650-750^oC, давлении 1.5 – 3.5 кбар. Опыты проводили на гидротермальных установках с внешним нагревом и холодным затвором, а также – на газостатах с компримируемой средой (аргон). Вся аппаратура конструкции ИЭМ РАН. Контроль температуры и давления осуществлялся с погрешностями по температуре $\pm 2^{\circ}\text{C}$, давлении ± 0.05 кбар. Продолжительность опытов составляла от 14 до 45 суток. Продукты опытов изучали методами микронзондового анализа, также проводили рентгеновское исследование образцов для уточнения ПЭЯ. Получены концентрационные зависимости ПЭЯ от состава клинопироксенов. Показано, что твердые растворы не идеальные. Рассчитаны параметры модели Маргулеса для описания избыточных объемов смешения тройных твердых растворов.

**СТРУКТУРНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ КАК ИНДИКАТОР
ТЕМПЕРАТУРЫ МИНЕРАЛОГЕНЕЗА**

**Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Щекина Т.И. (МГУ), Сук Н.И. (ИЭМ РАН),
Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Антоновская Т.В. (г. Ухта)**

kotelnik@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 57

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0002

Процессы упорядочения – перераспределения алюминия между неэквивалентными позициями кристаллической структуры полевых шпатов могут служить индикатором температуры образования. Впервые количественные данные о связи структурных параметров и степени упорядочения для плагиоклазов были получены в работе Бамбауэра и др. (1967). В дальнейшем был выполнен ряд экспериментальных исследований по упорядочению полевых шпатов в интервале температур от 350 до 1000^оС. Целью нашей работы было экспериментальное изучение упорядочения альбита при температуре ниже 350^оС. В качестве исходных материалов применяли стекла и гели альбитового состава. Опыты проводили по ампульной методике. Упорядочение проводили в слабощелочных растворах с добавлением в навеску некоторого количества аморфного кремнезема. Применяли автоклавы с термоуплотняющимся затвором конструкции ИЭМ РАН. Точность регулировки температуры составляла $\pm 3^{\circ}$ С, давление задавали коэффициентом заполнения автоклавов с точностью 0.1 кбар. Опыты проводили при температуре от 200 до 400^оС и давлении от 200 до 1000 бар. Продолжительность опытов составляла до 60 суток. После экспериментов проводили рентгеновское изучение полевых шпатов, уточнение параметров элементарной ячейки и параметров упорядочения. Показана зависимость параметра $\Delta 131$ от температуры. Для ряда природных парагенезисов, содержащих полевые шпаты (Рогожниковское поднятие, Зап.Сибирь и о.Сенья, Заполярная Норвегия), проведены оценки температуры по структурному состоянию полевых шпатов.

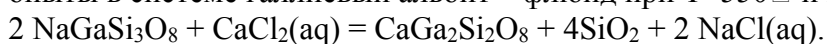
ИЗУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ГА-СОДЕРЖАЩИХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ

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

kotelnik@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 57

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0002

Синтез галлий-содержащих полевых шпатов проводили в гидротермальных условиях при температуре 550°С и давлении 1.5 кбар. В качестве исходных материалов использовали стекла составов NaGaSi₃O₈ и KGaSi₃O₈, полученных плавлением оксидных смесей при температуре 1200-1300°С. Галлиевые аналоги альбита и микроклина получены рекристаллизацией стекол. Рентгеновские исследования показали структурную упорядоченность полученных полевых шпатов. Также были проведены катионообменные опыты в системе галлиевый альбит – флюид при T=550°С и P=1.5 кбар. Изучали реакцию:



Составы исходных растворов задавали смесями 1М растворов NaCl и CaCl₂. Опыты проводили в золотых ампулах диаметром 7 мм в гидротермальных установках с внешним нагревом и холодным затвором. Точность регулировки и контроля температуры составляла ±2°С, давления ±0.05 кбар. Продолжительность опытов составляла от 21 до 30 суток. Продукты опытов анализировали методами микрозондового и рентгеновского анализа. Состав раствора определяли методом атомно-абсорбционного анализа на приборе Квант-4М. Показано, что в экспериментах по катионному обмену присутствуют следующие фазы: (1) (Na,Ca)- галлиевый полевой шпат; (2) галлиевый парацельзиан (состава CaGa₂Si₂O₈); (3) кварц. Приводятся параметры элементарных ячеек синтезированных фаз.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТВОРИМОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

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

kotelnik@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 57

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

Изучена растворимость твердого раствора $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$ в алюмосиликатном расплаве при температурах 800°C и 1000°C, $P = 200$ МПа в присутствии воды. Продолжительность экспериментов составляла 12 – 14 суток. В опытах использовали гранит (месторождение Орловка, скв.42), предварительно наплавленный при атмосферном давлении и температуре 980°C, а также $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$, синтезированный нами раствор-расплавным методом при $T = 1250^\circ\text{C}$ из стехиометрической смеси оксидов $ZrO_2+HfO_2+SiO_2$, в качестве плавня применяли реактив $K_2Mo_3O_{10}$. Были подготовлены предварительно наплавленные алюмосиликатные стекла с различным коэффициентом агпаитности: $K_{agr} = (Na+K)/Al$: от 0.95 до 2.05. Установлено влияние агпаитности на растворимость твердого раствора в алюмосиликатном расплаве в присутствии воды: с ростом K_{agr} от 0.98 до 1.82 суммарное содержание (ZrO_2+HfO_2) в стекле возрастает в среднем до 6.35 мас.%. Отмечено, что агпаитность расплава оказывает более сильное влияние на растворимость твердого раствора $Zr_{0.5}Hf_{0.5}SiO_4$, чем температура.

ВЕСЭПМГ 2023 - 068

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ФТОРИДОВ И ДАВЛЕНИЯ ФЛЮИДА НА РАСТВОРИМОСТЬ Nb₂O₅

Котова Н.П. (ИЭМ РАН)

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

Экспериментально изучено влияние концентрации фторидов и давления флюида на растворимость оксида ниобия при $T = 550^{\circ}\text{C}$ и $P = 50, 100, 200$ и 500МПа в растворах NaF с концентрацией 0,1 и 1,0 м. Установлено, что при повышении давления от 50 до 200 МПа содержание Nb в растворах 0,1 м NaF уменьшается на 0.5 порядка, а в растворах 1 м NaF содержание Nb увеличивается на 0.5 порядка. При дальнейшем повышении давления до 500 МПа содержание ниобия практически не изменяется и остается в пределах 10^{-3} моль/кг H₂O в растворах 0,1 м NaF и 10^{-2} моль/кг H₂O в растворах 1 м NaF.

СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТРОЙНОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДА $\text{Fe}_3\text{Cu}_2\text{Sn}$

Кошелев А.В., Кирюхина Г.В., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена по гранту РФФИ 22-27-00513

Проведен синтез тройного интерметаллида $\text{Fe}_3\text{Cu}_2\text{Sn}$ в пламени кислородной горелки в кварцевой пробирке в токе аргона. Химический состав и морфология полученного образца изучены с помощью электронно-зондовой сканирующей микроскопии. Идентификация полученных фаз проводилась с помощью порошковой рентгеновской дифракции. Была измерена намагниченность полученного образца в разных режимах охлаждения в магнитном поле и при охлаждении без магнитного поля в широком интервале низких температур.

В результате было выявлено присутствие в образце четырёх фаз: Fe_2CuSn_2 , Cu_2Sn_3 , Cu_5Sn_2 , Fe. Фазы Cu_2Sn_3 и Cu_5Sn_2 являются не магнитными. Намагниченность имеет большое положительное значение во всём исследованном интервале температур, что объясняется присутствием в образце металлического железа. Таким образом заметное различие между кривыми в разных режимах измерения относится к фазе Fe_2CuSn_2 . При высоких температурах FC-график имеет колоколообразный максимум при температурах 300-400К, подобный максимум присутствует так же и на ZFC-кривой, однако сдвинут выше по температуре. Подобное поведение может объясняться магнитоструктурным фазовым переходом в интервале температур 300-400К.

ВЕСЭПМГ 2023 - 070

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЩЕЛОЧЕЙ НА РАСТВОРИМОСТЬ ЦИРКОНА В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

Кошлякова А.Н. (ГЕОХИ РАН), Борисов А.А. (ИГЕМ РАН)

a.koshliakova@gmail.com; тел.: 8 (909) 669 65 77

Работа поддержана грантом РФФ 22-17-00052

В температурном интервале 1300-1400°C при 1 атм общего давления экспериментально исследовано влияние щелочей на растворимость циркона в модельных многокомпонентных силикатных расплавах. Эксперименты выполнены методом петли в вертикальной трубчатой печи либо на воздухе, либо при значениях фугитивности кислорода, соответствующих буферу QFM+1. Повышение содержания K_2O в расплаве от нуля до 8 мас.% увеличивает растворимость циркона в расплаве при температуре 1400°C почти в 3 раза, от 1.3 до 3.5 мас.% ZrO_2 . Полученное уравнение, описывающее растворимость циркона в экспериментах (33 расплава) дает одинаковые в пределах ошибки эмпирические коэффициенты для щелочей ($dNa = 2.77 \pm 0.23$, $dK = 2.81 \pm 0.29$, 1σ). Таким образом, Na_2O и K_2O повышают растворимость циркона в расплавах и их влияние сопоставимо.

ВЕСЭПМГ 2023 - 071

СТРОЕНИЕ, ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЛУННОЙ КОРЫ

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

va_kronrod@mail.ru; тел.: 8 (985) 950 00 18

Исследования проведены при финансовой поддержке госзадание ГЕОХИ РАН

Эволюционные тепловые модели Луны показывают, что строение и физические свойства коры, несмотря на относительно малую мощность ее по сравнению с мантией, оказывают существенное влияние на тепловое поле Луны. В результате миссии GRAIL были проведены беспрецедентные по точности измерения гравитационного поля спутника. Последующая обработка этих данных позволила получить оценки мощности, средней плотности и средней пористости коры под слоем реголита. В настоящей работе приведены результаты исследования вероятных распределений физических параметров коры по глубине: пористости, плотности, объемного тепловыделения, коэффициента теплопроводности. Приведены вероятные оценки пористости коры под слоем реголита.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В МАНТИИ ЛУНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КОРЕ**

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 ГЕОХИРАН

Проведено численное моделирование тепловой эволюции Луны с помощью решения одномерного нестационарного уравнения теплопроводности в приближении центральной симметрии, учитывающего как кондуктивный, так и конвективный теплоперенос, а также процессы нагрева вещества мантии за счет энергии радиоактивного распада. Исследована зависимость распределения температуры в коре и мантии Луны от эффективного коэффициента теплопроводности (k_{ef}) в коре. При вариациях значения k_{ef} в диапазоне от 1 до 2 Вт/м·К изменения расчетной температуры на границе кора–мантия достигают почти 400 °С. Ограничения, накладываемые сейсмическими данными, приводят к наиболее вероятному значению k_{ef} в коре ~1–1.2 Вт/м·К. При таких значениях k_{ef} полученные в результате расчетов распределения температуры согласуются с геофизическими данными, а также с температурными профилями в Луне, полученными ранее на основании сейсмических ограничений.

ГЛУБИННЫЙ ГЕНЕЗИС УГЛЕРОДА УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

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

Впервые выполнен совместный анализ сейсмических и электрических волноводов консолидированной коры и угольных бассейнов (районов, площадей) на территории России. Помимо карты волноводов с угольными бассейнами сопоставлялась схема добротности консолидированной коры.

Сейсмические и электрические волноводы коррелированы между собой, но контуры сейсмических и электрических волноводов могут не совпадать, что свидетельствует о различии физических свойств и химического и агрегатного состояния массивов пород в области волновода. В плане положение сейсмических и электрических волноводов совпадает с угольными бассейнами. Под всеми угольными бассейнами фиксируются волноводы. Наиболее четко эта взаимосвязь видна для угольных бассейнов с высоким содержанием метана. На схеме добротности угольные бассейны коррелируются с границами изменения значений добротности.

На основании выполненного анализа сделан вывод о глубинном происхождении углерода в угольных бассейнах. Четкая корреляция угольных бассейнов с волноводами в свою очередь определяет возникновение волноводов в результате процесса дегазации Земли.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

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

Под угольными бассейнами в регионах с различным тектоническим строением в консолидированной коре фиксируются зоны волноводов (слои пониженной скорости и электрического сопротивления). В статье проанализировано возможное влияние волноводов на преобразования угля под воздействием миграции глубинного флюида и активизации деструктивных процессов.

Особенно интенсивно генерация метана проявляется при внезапном выбросе угля и газа, причем удельное количество метана, выделяющегося при выбросах, обычно существенно превышает газоносность угольного пласта.

Одной из причин повышенного содержания метана в угольных пластах может являться реакция углерода с водородом с образованием метана. Уголь как аморфное вещество обладает свойством удерживать водород. В заключении сделан вывод, что метан в пластах угля может иметь следующее происхождение: 1 – сингенетическое; 2 – миграционное; 3 – за счет реакции с водородом.

Отмечена возможность использования пластов угля для совместного хранения метана и легких газов (водород, гелий).

ПЕРИТЕКТИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ОЛИВИНА В АЛМАЗООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ
КАРБОНАТ-СИЛИКАТ-(С-О-Н) ПРИ 6 ГПа

Кузюра А.В., Литвин Ю.А., Спивак А.В. (ИЭМ РАН)

shushkanova@iem.ac.ru, litvin@iem.ac.ru; тел.: 8 (919) 786 42 17

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

Экспериментально при 6 ГПа и 700-1200 °С (условия верхней мантии) исследовано влияние компонентов сверхкритического С-О-Н-флюида (при содержании 7.5 мас. %) на фазовые отношения при плавлении многокомпонентной алмазобразующей системы оливин-жадеит-диопсид-(Mg-Fe-Ca-Na-карбонаты)-(С-О-Н). Установлена перитектическая реакция оливина и жадеит-содержащего расплава с образованием граната как ключевой механизм ультрабазит-базитовой эволюции алмазобразующих расплавов. Сверхкритический С-О-Н-флюид при плавлении многокомпонентной алмазобразующей системы оливин-жадеит-диопсид-(Mg-Fe-Ca-Na-карбонаты)-(С-О-Н) в эксперименте оказывает существенное влияние на фазовые отношения. Его компонент CO₂ как метасоматический агент активно участвует в дополнительной карбонатизации силикатных твердых фаз и расплавов алмазобразующих сред. Включения CO₂ в новообразованных гранатах свидетельствуют об этом. H₂O-компонент флюида совместно с карбонатными соединениями алмазобразующей системы существенно понижают температуру ее ликвидусной и солидусной границ, включая и температуру установленной перитектической реакции оливина и жадеит-содержащего расплава. После завершения кристаллизации полностью смесимого силикат-карбонат-флюидного расплава в субсолидусе алмазобразующей системы обнаруживаются фаза сверхкритического водного флюида и водосодержащий карбонат несквегонит MgCO₃·3H₂O, идентифицированный методом Раман-спектроскопии.

**ЗАДАЧА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЛУННОГО КРАТЕРА
ПО ОРБИТАЛЬНЫМ СНИМКАМ**

Кулешова К. А., Шпекин М.И., Гарафутдинов К.А. (КФУ)

Цифровая модель кратера с привязкой к лунной системе координат представляет собой непростую, но привлекательную задачу. Трудности связаны, прежде всего, с компьютерной обработкой больших изображений, каковыми являются орбитальные снимки высокого разрешения. Так, например, 3D-модель кратера диаметром 150-200 км требует 15-20 часов машинного времени на одной фотограмметрической станции. Такие затраты касаются снимков высокого разрешения, которые позволяют создать качественную модель с отображением деталей строения рельефа кратера, вызывающих наибольший практический интерес. Отсюда появляется и привлекательность самой задачи, поскольку цифровая модель высокого качества открывает новые измерительные возможности. Это, в частности, измерение объемов, площадей, а также расстояний. В докладе представлены результаты построения моделей двух хорошо известных кратеров. Это кратеры Циолковский и Эйткен в экваториальной зоне обратной стороны Луны. Для кратера Эйткен использованы оцифрованные снимки КК «Зонд-8» и «Аполлон-17», а для кратера Циолковский – снимки КК «Аполлон-15,-17». Строение избранных элементов рельефа в этих двух кратерах рассмотрено более подробно. Это касается вулкана и кольца на днище Циолковского, а также ледниково-подобного языка центральной горки кратера Эйткен.

СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СТЕКЛАХ ИМПАКТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ,
ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ФУРЬЕ-ИК СПЕКТРОСКОПИИ

Куровская Н.А., Луканин О.А., Крюкова Е.Б., Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН)

Kurum46@mail.ru; тел.: 8 (495) 939 70 05

Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН

Для выяснения особенностей поведения летучих компонентов при высокоскоростных ударных событиях были определены содержания воды в стеклах различных типов тектитов (молдавиты, индошиниты, филиппиниты, австралиты) и расплавных импактитов (стекла Ливийской пустыни, иргизиты из кратера Жаманшин, импактные бомбы из кратера Эльгыгытгын). Впервые было проведено детальное изучение внутреннего распределения воды в тектитах и расплавных импактитах. Микроскопически тектиты, иргизиты, ливийское стекло представляют собой однородные стекла однотонного цвета, индошиниты типа Муонг-Нонг и импактиты – полосчатые с чередованием темных и светлых полос или пятнистые. Химический состав исследуемых стекол определялся с использованием электронного микронзонда. По содержанию SiO_2 все тектитовые стекла и большая часть иргизитов близки к риолитам (70-80 мас. %). Состав полосчатых стекол импактитов кратера Эльгыгытгын в пределах одного образца варьировал от андезитового до риолитового. Суммарные концентрации растворенной воды ($\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$) в исследуемых стеклах определялись методом Фурье-ИК спектроскопии из интенсивности полос поглощения в области $3570\text{-}3675\text{ см}^{-1}$ на основании закона Бугера–Ламберта–Бера. По степени обогащенности водой импактные стекла образуют следующий ряд (мас. %): тектиты сплэш-форм (0.011–0.027 мас %) – тектиты Муонг-Нонг (0.027–0.046) – иргизиты (0.068-0.121) - импактные бомбы (0.057-0.218) – стекла Ливийской пустыни (0.348-0.429). Таким образом, концентрации воды в стеклах расплавных импактитов значительно превышают содержания воды в сплэш-форм тектитах. Тектиты Муонг-Нонг являются в этом отношении переходным видом между тектитами и расплавными импактитами. Полосчатые стекла импактных бомб кратера Эльгыгытгын демонстрируют наиболее контрастное неравномерное внутреннее распределение как петрогенных элементов, так и воды.

ВЕСЭПМГ 2023 - 078

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАВНОВЕСНЫХ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ УДАРНЫХ КЛАССОВ S1-S3

Куюнко Н.С. (ГЕОХИ РАН)

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

Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН

Приведены результаты исследований равновесных обыкновенных хондритов ударных классов S1-S3 термолюминесцентным методом. Выполнены измерения естественной (накопленной в космическом пространстве) и наведенной в лабораторных условиях от внешнего радиоактивного источника излучения термолюминесценции метеоритов в температурном интервале 50-350°C. Интенсивность термолюминесценции рассчитана относительно хондрита Dhajala N3.8. Определены температуры максимума пика термолюминесцентного свечения, его высота и площадь под кривой свечения изучаемых метеоритов. Сравнительные измерения естественной и наведенной гамма-излучением термолюминесценции и вычисление эквивалентной дозы облучения позволили оценить величину перигелия орбиты исследованных хондритов. Результаты согласуются с данными, полученными другими методами.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ,
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РАВНОВЕСНОГО ЭНСТАТИТОВОГО
ХОНДРИТА ПИЛИСТВЕРЕ EL6

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

lavza@mail.ru; тел. 8 (496) 522 19 88

Методом ИНАА определены содержания литофильных и сидерофильных микроэлементов в немагнитных размерных фракциях из равновесного энстатитового хондрита Пилиствере EL6. Найдено, что все «*ультра- и тонкозернистые*» немагнитные фракции в изученном хондрите обогащены литофильными и обеднены сидерофильными микроэлементами. Предполагается, что такое распределение элементов связано с небулярным фракционированием металл–силикат. Характерной особенностью распределения редкоземельных элементов в этих фракциях являются повышенные содержания, как легких, так и тяжелых РЗЭ с положительными и отрицательными Eu аномалиями, что может быть обусловлено присутствием большого количества акцессорных минералов, таких как ольдгамит, плагиоклаз, синоит и др. Распределение элементов в «*среднезернистых*» фракциях зависит от содержания акцессорных минералов. Характерной особенностью распределения микроэлементов в «*грубозернистых*» фракциях является то, что с увеличением размера зерен увеличиваются содержания как литофильных, так и сидерофильных элементов, что обусловлено процессами метаморфизма *in situ*.

ВЕСЭПМГ 2023 - 080

**РАЗНООБРАЗИЕ ФРАГМЕНТОВ ПОРОД В ЛУННОЙ МАТЕРИКОВОЙ
БРЕКЧИИ NWA 11828**

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

Сандалов Ф.Д. (геол. ф-т МГУ)

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

С.И. Демидова (тема государственного задания №137-2019-0002)

Метеорит NWA 11828 является лунной реголитовой брекчией преимущественно полевошпатового состава, содержащей обломки пород и минералов, сцепленных ударно-расплавной матрицей. На основе структурно-текстурных признаков и химического состава минеральных фаз проведена классификация наиболее крупных кластов брекчии NWA 11828. Особое внимание уделено поиску редких компонентов в метеорите. Установлено, что помимо типичных обломков материковых пород анортозит – норит – габбро-норит - троктолитового состава присутствуют редкие обломки морских базальтов и фрагмент габбро-норитового анортозита, обогащенный KREEP-компонентом. Источниками таких пород могли являться не только первичные материковые породы магнезиальной серии, но и ферроанортозиты и породы щелочной серии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ К-РИХТЕРИТА В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА K_2CO_3 - Na_2CO_3 - CO_2 - H_2O

Лиманов Е.В., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Спивак А.В., Ван К.В. (ИЭМ РАН), Воробей С.С. (ГЕОХИ РАН)

limanov.ev@iem.ac.ru, тел.: +7(925) 383-61-31

Источник финансирования: Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-27-00065, <https://rscf.ru/project/23-27-00065>

К-рихтерит является специфическим минеральным индикатором высоких стадий модального мантийного метасоматоза, процесса ответственного за формирование ассоциаций минералов, нехарактерных для первичного перидотитового парагенезиса. Его образование происходит в ходе реакции $8En + Di + [1/2K_2O + 1/2Na_2O + H_2O] = K-Rct + 2Fo$, что была исследована нами при мантийных условиях: $1000^{\circ}C$ и 3 ГПа. Установлено, что образование К-рихтерита зависит как от $(K_2CO_3+Na_2CO_3)/(H_2O+CO_2)$, так и от 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. Флюиды с высоким содержанием калия приводят к образованию К-рихтерита, близкого по составу к природному из перидотитов. В ряде случаев подобный флюид приводит к разложению амфибола и стабилизации щелочного расплава. Более натровый флюид ответствен за образование К-рихтерита, близкого по составу к аналогам из лампроитовых магм. Полученные закономерности могут быть использованы при оценке давления, активностей компонентов флюида и условий образования К-рихтерита.

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СТРУКТУРЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ХРОМ-ПИРОПА

Лин В.В. (ИГМ СО РАН)

linvv@mail.ru; тел.: 8 (383) 306 64 03

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева

При 5 ГПа и 1300°C на многопуансонном аппарате «БАРС» раскристаллизован природный материал на основе серпентина с добавками редкоземельных элементов (Lu, Yb, Er, Dy, Gd, Sm, Pr). Получена минеральная ассоциация, отвечающая перидотитовому парагенезису и включающая субкальциевый хромсодержащий пироп. Суммарное содержание РЗЭ в гранате достигает 7 мас.%. Показано, что схема вхождения РЗЭ (R^{3+}) в структуру граната отвечает вытеснению ими двухвалентных катионов с позиции с координацией 8 на позицию с координацией 6 вместо трехвалентных катионов – $^{VIII}[R^{3+}_{2x/3}A^{2+}_{1-2x/3}]_3$ $^{VI}[A^{2+}_x B^{3+}_{1-x}]_2$ $^{IV}[Si^{4+}]_3O_{12}$. Такая схема описывается в литературе как «менцеритовая». При примерно равной концентрации различных РЗЭ в исходной шихте их количество в гранате отчетливо зависит от размера ионного радиуса и, соответственно, от атомного веса. Это согласуется с известными фактами о предпочтительном вхождении тяжелых РЗЭ в структуру граната по сравнению с легкими.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕЗИСА СТИШОВИТА В
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Литвин Ю.А., Спивак А.В., Кузюра А.В. (ИЭМ РАН)

shushkanova@iem.ac.ru, litvin@iem.ac.ru; тел.: 8 (919) 786 42 17

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

Вероятный импактный генезис стишовита периода аккреции метеоритов - космический по источникам энергии и вещества. Аккреционный стишовит растворился в глобальном магматическом океане. Впервые генезис стишовита в земных условиях реализован при кристаллизации и фракционной ультрабазит-базитовой эволюции магматического океана. По экспериментальным данным, это стало возможным в перитектических реакциях рингвудита-акимотоита переходной зоны и бриджменита нижней мантии, однако стишовит на таких глубинах недоступен. Эти же реакции реализованы в алмазообразующих системах, о чем свидетельствуют парагенные включения стишовита в сверхглубинных алмазах, перемещенных на земную поверхность и доступные для анализа как кинетически устойчивые метастабильные фазы. В условиях глобальной мантийной конвекции субдукционное погружение литосферных плит до слоя D'' сопровождается полиморфным превращением коэсита в стишовит с последующим превращением в пост-стишовитовые фазы. Восхождение суперплюмов от слоя D'' до земной коры инициировало перитектические реакции пост-перовскита и бриджменита, а затем рингвудита-акимотоита с образованием стишовита, который в итоге превращался в фазы SiO₂ низкого давления. С возникновением земной коры возобновился космический импакт-метеоритный генезис стишовита.

ВЕСЭПМГ 2023 – 084

ВЕСЭМПГ/ХИТАРИАДА - 2023: ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫЕ ДАТЫ

Луканин О.А. (ГЕОХИ РАН)

Lukanin@geokhi.ru

Работа выполнена по госзаданию ГЕОХИ РАН

Сообщение посвящено знаменательным для геохимиков-экспериментаторов юбилейным датам 2023 года: 120 лет со дня рождения член-корр. АН СССР Николая Ивановича Хитарова – организатора и научного руководителя ежегодного семинара экспериментаторов, и 90 лет со дня рождения профессора, доктора геол.-мин. наук Арнольд Арнольдовича Кадика.

**ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЭНДОГЕННОГО И ИМПАКТНОГО АЛМАЗООБРАЗОВАНИЯ КАК
ОТРАЖЕНИЕ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЯ-ЛУНА**

Мальков Б.А. (СыктГУ им. П. Сорокина), Куратов В.В. (ФМИ Коми НЦ УрО РАН)
malkov36@mail.ru, kurатов@ipm.komisc.ru

1. Алмазы образуются в эндогенных и при импактных условиях в разных средах, при различных РТ — параметрах и неодинаковых скоростях протекания процессов.
2. Это позволяет отслеживать периодичность тех и других в огромном интервале геологического времени, точно определяя гомологические ряды (родословные) тех и других по уже накопленному наукой каталогу их прецизионного изотопного датирования.
3. При несомненной самостоятельности каждого из этих двух процессов их организатором и дирижёром является наша Галактика, управляющая всеми процесами в системе Земля-Луна.
4. Периоды этих процессов соотносятся как минуты с часами, а секунды с минутами, когда при собственных временных рубежах какие-то из них хронологически совпадают.

ВЛИЯНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД В ЗОНЕ ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ РАЗЛОМА НА МИГРАЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПУНКТА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА УЧАСТКЕ ЕНИСЕЙСКИЙ НИЖНЕКАНСКОГО МАССИВА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

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

malk@igem.ru; vil@igem.ru; тел.: 8 (499) 230 84 21

Рассмотрено влияние формирующихся тектонических разломов на миграцию радионуклидов из пункта глубинного захоронения высокорadioактивных отходов (ПГЗРО) в биосферу в зависимости от проницаемости пород в зоне формирующегося разлома. Задача решалась методами математического моделирования на примере участка Енисейский Нижнеканского массива. Рассматривалась трехмерная модель течения подземных вод и миграции радионуклидов с учетом неоднородности проницаемости невозмущенных пород массива. На основании данных предшествующих экспериментов полагалось, что долгоживущие актиниды поступают при выщелачивании в подземные воды преимущественно в высокоподвижной коллоидной форме. В качестве исходных данных для численного моделирования использовались экспериментальные данные о проницаемости пород.

ПРОЯВЛЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДИФФУЗИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

Мартынов К.В., Андрющенко Н.Д., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН)
mark0s@mail.ru; тел.: 8 (985) 777 59 43

При экспериментальном изучении диффузии радионуклидов в поровом растворе барьерных глинистых материалов кроме обычной для многих радионуклидов сорбционной задержки на поверхности глинистых минералов наблюдались эффекты, вызванные другими физико-химическими процессами, протекающими одновременно с диффузией и взаимовлияющими друг на друга. Эти процессы, названные сопряженными процессами, связаны с осаждением или растворением соединений радионуклидов в поровом растворе, а также с десорбцией ранее сорбированных частиц радионуклидов с поровой поверхности. Они проявляются в результате изменения физико-химических условий в поровом растворе, которые происходят при взаимодействии поровых растворов барьерных глин с химически контрастными растворами выщелатов матричных и конструкционных материалов (фосфатных, боратных, портландцементных).

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АТАКАМИТА

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

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

Атакамит – природный основной хлорид меди, который образуется в зоне окисления медных месторождений, а также в продуктах деятельности вулканических fumarol. Изучен атакамит из палеофумарол шлакового конуса Гора 1004 Большого Трещинного Толбачинского Извержения. Диагностика образца выполнена методами порошковой рентгенографии, ИК и КР спектроскопии. Кристаллохимическая формула рассчитана на основании исследований методами термогравиметрического и электроннозондового анализов и имеет вид $Cu_2Cl(OH)_3$. Методом расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Кальве «Setaram» (Франция) определена энтальпия образования атакамита из элементов $\Delta_f H^0(298.15\text{ K}) = -805.6 \pm 7.8$ кДж/моль. С использованием величины $S^0(298.15\text{ K}) = 167.78 \pm 0.66$ Дж/(моль·К) из нашей предыдущей работы рассчитаны значения энтропии и энергии Гиббса образования атакамита из элементов: $\Delta_f S^0(298.15\text{ K}) = -513.78 \pm 0.66$ Дж/(моль·К) и $\Delta_f G^0(298.15\text{ K}) = -652.4 \pm 7.8$ кДж/моль соответственно.

МАГМАТИЧЕСКИЙ ОЛИВИН КАК ПРИРОДНАЯ БАРОКАМЕРА ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЙ –
НАБЛЮДЕНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, СЛЕДСТВИЯ

Миронов Н.Л. (*ГЕОХИ РАН*), Портнягин М.В. (*GEOMAR, Kiel, Germany*),
Крашенинников С.П. (*ГЕОХИ РАН*), Альмеев Р. (*Institute fur Mineralogy, Hannover, Germany*),
Бочарников Р. (*Gutenberg University, Mainz, Germany*), Гуренко А. (*CRPG-CNRS, Nancy, France*),
Наумов В.Б., Шишкина Т.А. (*ГЕОХИ РАН*),
Хольтц Ф. (*Institute fur Mineralogy, Hannover, Germany*)

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

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

Одним из физико-химических условий кристаллизации оливина из расплава является давление. Оно может быть оценено на основе изучения различного типа магматических включений в оливине (кристаллических, флюидных и расплавных). Однако, оценки, сделанные, например, по включениям клинопироксена (для ассоциации ОI-Срх-расплав) существенно выше, чем просто для стекол расплавных включений (РВ) по содержанию в них H₂O и CO₂. Для изучения этого вопроса РВ в оливине вулканов Толбачик, Камчатка и Этна, Италия были экспериментально гомогенизированы при 4 kb и 1330 °С на установке типа «газовая бомба», ИРV в г. Ганновер, Германия и проанализированы на ионном зонде в г. Нанси, Франция. Содержания воды и CO₂ составили 4-5 % и 0.5-1.2 wt.%, а оценки давления кристаллизации ~7-15 кб, что совпадает с данными, полученными для включений клинопироксена. Главным следствием обратимости восстановления давления внутри расплавных включений является возможность достоверной оценки исходного содержания летучих в первичных мантийных магмах на основе экспериментального и аналитического изучения РВ в магматическом оливине.

ВЕСЭПМГ 2023 - 090

**КРИТЕРИЙ ЗАМЕРЗАНИЯ И УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ**

Молодец А.М. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)

molodets@icp.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 10 49

Работа выполнена частично в рамках Госзадания № АААА-А19-119071190040-5

По аналогии с моделью плавления Линдемана обоснован однофазный критерий замерзания при высоких температурах и давлениях. Критерий замерзания сформулирован в виде явной функции удельного объема расплава. Рассмотрена зависимость температуры замерзания от давления на основе теплофизических свойств сжатого расплава. Представлен критерий замерзания расплавленного цинка в сочетании с его уравнением состояния в мегабарном диапазоне давлений. Выполнено сопоставление модельных расчётов с современными экспериментальными результатами по плавлению цинка до давлений ≈ 120 GPa и до температур ≈ 4000 K.

ВЕСЭПМГ 2023 - 091

**ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА, НИКЕЛЯ И ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ ПРИ
ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ СТУПЕНЧАТО-ЦИКЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО СЖАТИЯ**

Молодец А.М., Голышев А.А. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)

molodets@icp.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 10 49

*Работа выполнена в рамках Госзадания № АААА-А19-119071190040-5 и
Договора №17706413348210001380/226/3866-Д*

Проведены *in situ* измерения электросопротивления сжатых и разогретых в процессе ступенчато-циклического ударного нагружения образцов железа с гексагональной плотноупакованной решёткой (ϵ -Fe), никеля и аустенитной стали 18-8. Выполнено математическое моделирование полученных экспериментальных результатов в рамках гидрокода, опирающегося на разработанные уравнения состояния рассматриваемых металлов. Моделирование позволило реконструировать объёмно-температурную зависимость удельного электросопротивления железа, никеля и железоникелевого сплава при давлениях ≈ 20 – 70 ГПа и температурах ≈ 750 – 950 К. Полученные результаты по электропроводности ударно сжатых и разогретых ϵ -Fe, никеля и аустенитной стали 18-8 сопоставлены с соответствующими литературными данными.

РАЗЛОЖЕНИЕ ТИТАНОНОСНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КОКШАРОВСКОЙ
ИНТРУЗИИ УЛЬТРАБАЗИТОВ (ПРИМОРЬЕ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕСИ
ГИДРОДИФТОРИДА И СУЛЬФАТА АММОНИЯ

Молчанов В.П. (ДВГИ ДВО РАН), Медков М.А., Юдаков А.А. (ИХ ДВО РАН)
vpmol@mail.ru; тел.: 8 (914) 734 63 65

На юге Дальнего Востока открыт новый перспективный тип комплексных руд, связанных с интрузиями ультрабазитов. На примере одного из этих объектов, Кокшаровского месторождения, исследованы возможности извлечения полезных компонентов из титаномагнетитовых руд с применением приемов пиро-гидрометаллургии. В результате выполненного эксперимента было изучено твердофазное взаимодействие титансодержащего минерального сырья со смесью сульфата аммония с гидроdifторидом аммония в температурном интервале до 430⁰С. Установлено, что в интервале температур до 200⁰С протекает процесс фторирования компонентов минерального сырья NH₄HF₂ с разрушением кристаллической структуры минералов и образованием фторидов металлов или их комплексных фтораммониевых соединений, на второй стадии при повышении температуры до 350⁰С происходит сульфатизация полученных соединений с образованием растворимых сульфатов металлов. Водное выщелачивание продукта обработки титансодержащего минерального сырья смесью NH₄HF₂ с (NH₄)₂SO₄ при температуре 330-430⁰С и соотношении реагентов концентрат: NH₄HF₂:(NH₄)₂SO₄ = 1:2.5:5 позволяет минеральное сырье полностью перевести в раствор. Полученный опыт переработки титаномагнетитовых руд поможет более обоснованно наметить пути освоения дальневосточных месторождений с соблюдением принципов рационального природопользования и охраны окружающей среды.

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И
ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФРАГМЕНТОВ КАМЕННЫХ МЕТЕОРИТОВ**

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

Особенностью данного исследования является совершенствование методов комплексной интерпретации измерений параметров разрушения каменных метеоритов при их испытании на прочность в лабораторных условиях. Совокупность результатов, определения прочности при сжатии и при растяжении, представленных в виде детерминированных нагрузочно-деформационных характеристик, рассматривается на основе эволюционных стохастических моделей в континуальном контексте. Наблюдаемые эффекты процесса разрушения образцов из фрагментов обыкновенных хондритов (Царев, Ghubara, SaU-001), соответствующие проявлениям неустойчивости деформаций и имеющие динамический взрывоподобный характер приводятся в соответствие с оптически наблюдаемыми в хондритах очаговыми структурами камуфлетного типа. При этом замечено, что явления знакопеременного неустойчивого деформирования образцов при сжатии как в допредельном, так и запредельном состоянии фиксируются сменой режима нагружения и в общем случае связываются с прорастанием заложенных в космической истории метеоритов магистральных трещин. Их кривизна и наложенный эшелонный характер подчеркивают особенности древних процессов многоактной деформации, а структуры ветвления указывают на проявление градиентной механической неоднородности метеоритов. В качестве прообраза структур хрупкого разрушения, фрагментарно наблюдаемых как в хондрах, так и в матрице метеоритов, используются данные модельных экспериментов по ударному разрушению статически деформированного закаленного стекла.

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФИДНОЙ СЕРЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ И СОСТАВ ЛИКВИДУСНОГО ХРОМШПИНЕЛИДА В БАЗАЛЬТАХ НОРМАЛЬНОЙ ЩЕЛОЧНОСТИ

Николаев Г.С. (ГЕОХИ РАН)

gsnikolaev@rambler.ru; тел.: 8 (495) 939 70 03

Работа выполнена в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

Влияние сульфидной серы на кристаллизацию шпинелида можно проследить по экспериментам (Sattari et al., 2002) при 1330°C и 10 кбар. В качестве их стартового состава был принят базальт 401 (Roeder, Reynolds, 1991). Сопоставление результатов этих исследований позволяет провести сравнение кристаллизации шпинелида из идентичного расплава как в свободной от серы, так и в сульфидонасыщенной системах.

Так как опыты проводились при различных температурах, в широком диапазоне fO_2 и с различными содержаниями хрома, которые являются мощными факторами, влияющими на состав хромшпинелида, непосредственно сравнивать между собой результаты экспериментов невозможно. Для сравнительного анализа использовались расчеты проведенные по модели равновесия шпинелид – расплав SPINMELT-2 (Николаев и др., 2018), которая была откалибрована на экспериментах, свободных от серы. Моделировались равновесные температура и состав шпинелида соответствующие составу расплава и условиям каждого опыта. В качестве меры сравнения выбрано отклонение расчетных параметров от экспериментальных ($\Delta = \text{расч} - \text{эксп}$).

Для части параметров эти отклонения не велики и находятся на грани точности расчета, но для части компонентов они значительны: $\Delta T = 18.4 \pm 3.6^\circ\text{C}$, $\Delta \text{Cr} = -12.0 \pm 0.8$, $\Delta \text{Al} = 11.1 \pm 0.8$, $\Delta \text{Fe}^{3+} = 1.0 \pm 0.04$, $\Delta \text{Fe}^{2+} = -3.2 \pm 0.2$, $\Delta \text{Mg} = 3.1 \pm 0.3$ ат.%. Таким образом, появление сульфидной серы в системе понижает ликвидусную температуру шпинелида, и в его составе понижает содержания Al, Fe^{3+} и Mg, но повышает содержания Cr и Fe^{2+} .

О ХАРАКТЕРЕ И КОЛИЧЕСТВЕННОМ СОДЕРЖАНИИ ВОДЫ В ВОДНЫХ ФОСФАТАХ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ СО СТРУКТУРОЙ РАБДОФАНА

Новиков М.П., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН)
novikovi@chgnnet.ru; тел.: 8 (496) 522 31 43

В настоящей работе проводились исследования физико-химических свойств соединений водных редкоземельных фосфатов, изучение которых сопряжено с известными трудностями их очень редкого распространением в природе. Испытания осуществлялись на синтетических образцах. Главным объектом изучения служили фосфаты морфотропной серии синтетических аналогов рабдофана.

Результаты исследований показали, что количество воды в исследуемых образцах на примере водного фосфата лантана находится в обратной зависимости от среднего размера частиц. В результате изучения кинетики дегидратации водного фосфата лантана установлено, что кривые дегидратации носят линейный характер, что в свою очередь свидетельствуют о постоянной скорости $dx/dt = K$ и процесс можно отнести к реакции первого порядка. Найденное значение энергии активации составляет 16.11 ккал/моль. Незначительная величина $E_{акт}$ и характер кинетических кривых дегидратации явно указывают на цеолитный тип воды в соединении.

Детальный термографический анализ, равно как и исследование кинетики дегидратации свидетельствуют о цеолитном характере воды в соединениях с гексагональной структурой, количество которой составляет 0.5 моль в пересчете на одну формульную единицу. Следовательно, химическую формулу для морфотропной серии синтетических аналогов рабдофана правильнее записывать в виде $LnPO_4 \cdot 0.5H_2O$, т.е. с учетом только цеолитной воды.

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОКИМБИТА

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

Проведено комплексное физико-химическое изучение кокимбита из рудника Хавьер (Перу). Методами рентгенографического и КР спектроскопического исследований было подтверждено соответствие образца кокимбиту и установлен его мономинеральный состав. По результатам термического и электроннозондового анализов, мёссбауэровской спектроскопии рассчитана формула $Al_{0.97}Fe_{3.04}^{3+}Na_{0.03}K_{0.02}[SO_4]_{6.04}(H_2O)_{12} \cdot 6H_2O$. Методом калориметрии растворения в расплаве бората свинца состава $2PbO \cdot B_2O_3$ на микрокалориметре Кальве «Setaram» (Франция) определена энтальпия образования кокимбита идеального состава $AlFe_3^{3+}[SO_4]_6(H_2O)_{12} \cdot 6H_2O$ из элементов $\Delta_f H^0(298.15 \text{ K}) = -11118 \pm 40$ кДж/моль. Оценено значение его абсолютной энтропии $S^0(298.15 \text{ K}) = 1248.3 \pm 3.0$ Дж/(моль·К), рассчитаны энтропия образования $\Delta_f S^0(298.15 \text{ K}) = -5714.0 \pm 3.0$ Дж/(моль·К) и энергия Гиббса образования из элементов $\Delta_f G^0(298.15 \text{ K}) = -9411 \pm 40$ кДж/моль. Оценены значения энтальпии и энергии Гиббса образования из элементов алюинококимбита $Al_2Fe_2^{3+}[SO_4]_6(H_2O)_{12} \cdot 6H_2O$: -11540 ± 29 и 9830 ± 29 кДж/моль соответственно.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОДАЛИТА

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

Проведено изучение двух образцов содалита: образец I состава $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2 \cdot 0.4\text{H}_2\text{O}$ из щелочного ультраосновного массива с карбонатитами Ковдор (Мурманская область, Россия) и образец II состава $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2 \cdot 0.2\text{H}_2\text{O}$ из массива нефелиновых сиенитов и миаскитов Баян Кол (республика Тува) методами термического и электроннозондового анализа, порошковой рентгенографии, спектроскопии инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния света. Диагностические исследования показали мономинеральный состав изученных образцов. Методом расплавной калориметрии растворения определены энтальпии образования из элементов содержащего воду содалита: -13535.5 ± 10.4 (I) и -13503.4 ± 18.8 (II) кДж/моль. Определено значение энтальпии образования содалита теоретического состава $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$ $\Delta_f H_{el}^0(298.15 \text{ K}) = -13446.1 \pm 10.7$ кДж/моль. С использованием полученных значений энтальпий образования и литературных данных по $S^0(298.15 \text{ K})$ содалита были рассчитаны стандартные энергии Гиббса образования безводного и содержащего различное количество воды содалита.

ВЕСЭПМГ 2023 - 098

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФАЗЫ Pt_3Cu_2Sn , МЕТОДОМ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

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

eio@iem.ac.ru, тел. 8(49652) 25849

Грант РФФ 22-27-00513

Интерметаллид Pt_3Cu_2Sn встречен в природе, но, на данный момент, не утвержден как минеральный вид. Термодинамические свойства (G , S , H) указанного соединения определены из реакции: $3Pt+Cu_2O+SnO_2=Pt_3Cu_2Sn+3/2O_2$, путем измерения парциального давления кислорода относительно такового над парой Ni/NiO . Измерения температурной зависимости ЭДС ($E/mV(T)$) проводились в ячейке с твердым электролитом с кислород-ионной проводимостью (YSZ) - ZrO_2 керамика, стабилизированная Y_2O_3 (15 вес%):

(+)Pt | Ni, NiO | YSZ | Pt, Cu_2O , SnO_2 , Pt_3Cu_2Sn | Pt(-).

В результате анализа полученной температурной зависимости ЭДС, с использованием справочных данных для Pt, Cu_2O и SnO_2 , рассчитаны стандартные (298.15 К, 10^5 Па) величины образования Pt_3Cu_2Sn из элементов.

**ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ САМОРОДНОГО Fe В ЗЕМНОЙ КОРЕ ПРИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВОДОРОДА С АНДЕЗИТОВЫМИ РАСПЛАВАМИ
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)**

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

persikov@iem.ac.ru; тел.: 8 (906) 768 89 68

Работа выполнена в рамках темы НИР № FMUF-2022-0004 ИЭМ РАН при финансовой поддержке РФФ, грант № 22-27-00124

Проведено экспериментальное исследование кинетики, механизмов взаимодействия, кристаллизации и самородного металл - образования в системе водород-андезитовый расплав при давлениях водорода 7 - 100 МПа и температурах 900 - 1250 °С. Установлено, что, несмотря на высокий восстановительный потенциал системы H_2 - андезитовый расплав ($f(O_2) = 10^{-13}$), реакции окисления водорода и восстановления оксидов Fe в расплаве не идут до конца. Первоначально однородные андезитовые расплавы становятся неоднородными. H_2O образуется во флюидной фазе (изначально чистый водород); H_2O (0.21 – 0.95 мас. %), растворяется в андезитовых расплавах, а мелкие металлические капли ликвационной текстуры образуются в них при температуре 1250 °С, значительно ниже температуры плавления металла (1560°С). В кристаллизационных экспериментах установлено, что составы кристаллов (амфиболы и плагиоклазы), образующихся в эксперименте по кристаллизации расплава андезита в Толбачик, близко соответствуют составам кристаллов лавовых потоков этого вулкана. Этот результат можно рассматривать как экспериментальное подтверждение участия водорода в вулканическом процессе, что также согласуется с составом вулканических газов, обнаруженных при извержении этого вулкана.

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АНДЕЗИТОВОГО РАСПЛАВА ПРИ УМЕРЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ ВОДОРОДА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

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

persikov@iem.ac.ru; тел.: 8 (906) 768 89 68

Работа выполнена в рамках темы НИР № FMUF-2022-0004 ИЭМ РАН при финансовой поддержке РФФ, грант № 22-27-00124

Важные проблемы дифференциации магмы, образования самородных металлов и процессов рудообразования в земной коре все чаще связывают с активным участием водорода. В данной работе получены новые экспериментальные данные по кристаллизации андезитовых расплавов при высоких температурах (900 – 1250 °С) и давлениях водорода (10-100 МПа), которые уточняют возможную роль водорода в процессах, происходящих в андезитовых расплавах в земной коре и при вулканизме в сильно восстановленных условиях ($f(\text{O}_2) = 10^{-14}$). В экспериментах по кристаллизации было установлено, что составы кристаллов (пироксены и плагиоклазы), образовавшиеся в эксперименте по кристаллизации расплава андезита под давлением водорода, близко соответствуют составам кристаллов лавовых потоков вулкана Авача на Камчатке. Этот результат можно рассматривать как экспериментальное подтверждение участия водорода в вулканическом процессе.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ВЛИЯНИЮ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РОСТ КРИСТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Пискунова Н. Н. (И-т геологии им. Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)
piskunova@geo.komisc.ru; тел.: +7 (909) 128 94 18

Лабораторные исследования влияния механического воздействия на процессы роста кристаллов с помощью высокоразрешающей техники, могли бы способствовать достоверной реконструкции схожих природных кристаллогенетических процессов.

1. Направленное воздействие на кристалл 10-нанометровым концом иглы АСМ с небольшой силой вызвало возникновение на вершине холмика роста множества дефектов, на которых сформировались протяженные царапины микрометровой ширины. Царапины быстро заросли, однако в дальнейшем на окружающей поверхности произошла флуктуационно-диссипативная перестройка поверхности.

2. Изучено взаимодействие ступеней роста с частицами низкоадгезивной примеси. Показано, что винтовая дислокация возникла только на одной из множества частиц и предложен механизм ее образования. Он позволяет объяснить парадоксальную слабую дефектность ростовой поверхности при значительном количестве захваченных кристаллом твердых примесей. Также впервые в наномасштабе зарегистрирован процесс прорастания винтовой дислокации сквозь накрывающий ее кристаллический макрослой.

3. Проведено сравнение данных с результатами экспериментов без какого-либо специального воздействия.

Будет продемонстрировано 4 видео по 30 секунд.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ SIT МОДЕЛИ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ СУЛЬФАТ-ИОНА С КАТИОНАМИ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ С УЧЕТОМ АССОЦИИ

Плясунов А.В. (ГЕОХИ РАН)

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

Учёт коэффициентов активности ионов необходим при термодинамическом моделировании геохимических процессов. Среди моделей, не противоречащих соотношениям термодинамики, наиболее простой является т.н. SIT (Specific Interactions Theory) модель, принимающая во внимание только бинарные взаимодействия катион-анион (согласно принципу специфических взаимодействий Брэнстеда). Представлены выражения для среднеионных коэффициентов активности и активности воды в растворах на основе SIT. Не решённый до сих пор вопрос – это определение параметров SIT модели из коэффициентов активности частично ассоциированных электролитов, таких как сульфаты, карбонаты, фосфаты щелочных и щёлочноземельных металлов. Однако теоретическая основа для такого рода расчётов (соотношения между стехиометрическими и «истинными» коэффициентами активности электролитов) известна с 30-х годов 20-го века. На этой основе определены параметры SIT модели для взаимодействий сульфат-иона с катионами щелочных металлов, учитывая образование ионных пар в растворах.

СОВМЕСТНЫЙ РАСЧЁТ ХИМИЧЕСКИХ И ИЗОТОПНЫХ РАВНОВЕСИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА GEOSHEQ_ISOTOPE: ИЗОТОПЫ ЖЕЛЕЗА

**Поляков В.Б. (ГЕОХИ РАН), Мироненко М.В. (ГЕОХИ РАН),
Аленина М.В. (ГЕОХИ РАН)**

polyakov@geokhi.ru тел.: 8 (985) 950 45 56

Исследования проводились в рамках госзадания ГЕОХИ РАН

Работа расширяет возможности комплекса GEOSHEQ_ISOTOPE для совместного расчёта химических и изотопных равновесий на изотопы железа. Ранее комплекс был модернизирован для расчёта химических и С, О изотопных равновесий. В список независимых компонентов включены изотопы ^{56}Fe и ^{54}Fe вместо элемента Fe (Mironenko et al., 2018; Поляков и др., 2020). В список зависимых компонентов добавлены соответствующие изотопологи. Энергия Гиббса ^{56}Fe изотопологов принята равной энергии элемента Fe. Энергии Гиббса ^{54}Fe изотопологов рассчитаны через соответствующие $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ β -факторы аналогично тому, как это ранее делалось для ^{13}C и ^{18}O изотопологов (Mironenko et al., 2018; Поляков и др., 2020). Изотопные равновесия рассчитываются, считая смесь изотопов идеальной. Расчёт равновесий проводится методом минимизации энергии Гиббса. Развитие комплекса потребовало создание согласованной базы данных по $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ β -факторам. Критерием отбора для включения в базу данных явилось согласие температурных зависимостей β -факторов, полученных разными методами. Приведены примеры совместного расчёта химических и С-О-Fe изотопных равновесий в гидротермальной системе.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И КИСЛОТНОСТИ РАСТВОРА НА СКОРОСТЬ И МЕХАНИЗМ РАСТВОРЕНИЯ СЕРПЕНТИНА

Проскуракова А.С., Карасева О.Н., Лакштанов Л.З., Ханин Д.А. (ИЭМ РАН)

olga@iem.ac.ru; тел. +7 (496) 522 58 54

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-27-00035)

Один из современных методов утилизации парникового углекислого газа – закачивание CO_2 в горные породы для минерализации. С целью изучения кинетики растворения серпентина, который является одним из наиболее перспективных возможных минерализаторов CO_2 , проведены эксперименты с использованием проточных ячеек при температуре 25°C в нейтральных и углекислотных растворах, в 0.1-1.0 mM растворах соляной, лимонной, щавелевой кислот. В результате исследований рассчитаны скорости растворения серпентина в зависимости от кислотности и состава среды. Расчет стационарных скоростей растворения силикатов в разных средах был произведен по формуле $r=(C_i*F)/(n*S*m)$, где C_i – молярная концентрация Mg или Si в растворе, F – объемный расход жидкости, л/сек, n – стехиометрическое количество молей Mg или Si, S – удельная поверхность минерала, $\text{cm}^2/\text{г}$, m – масса навески минерала, г. Определено, что растворение серпентина в нейтральных растворах (0.01 M NaCl) и соляной кислоты происходит конгруэнтно, в то время как присутствие углекислого газа способствует инконгруэнтному растворению, то есть преимущественному выщелачиванию катионов магния. Также установлено, что использование в проточных системах растворов органических кислот значительно повышает выщелачивание магния, при этом сохраняя кремний в каркасе минералов.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ Cu-Ni МИНЕРАЛИЗАЦИИ, КАК ИНДИКАТОРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ РАСПЛАВОВ (НА ПРИМЕРЕ МОНЧЕГОРСКОГО И ДОВЫРЕНСКОГО КОМПЛЕКСОВ)

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

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

Минералогические исследования фракций сульфидов из сидеронитовых руд Йоко-Довыренского массива (Северное Прибайкалье, Россия) позволили установить наличие доменов, обогащенных сульфидами меди – по сравнению с преобладающей матрицей пирротин-троилитового состава. Геохимические исследования данных участков, размером до первых десятков сантиметров, продемонстрировали закономерные различия в их составе, при этом более медистые домены относительно обогащены Cu, Te и ЭПГ.

Схожие закономерности были выявлены и в сульфидных рудах Мончегорского комплекса. Для этих образцов удалось установить наличие трех зон, последовательно сменяющих друг друга: брекчиевидная пентландитовая, с подчинённым халькопиритом; брекчиевидная пентландит-халькопиритовая; и прожилковая халькопирит-пентландитовая, богатая минералами ЭПГ.

Подобные минералого-геохимические закономерности можно рассматривать как признак миграции с последующей сегрегацией позднего прото-ISS сульфидного расплава, образовавшегося в ходе дифференциации исходной сульфидной жидкости на MSS и остаточный расплав в ходе субсолидусной истории остывания рудоносных кумулатов.

**ГЕНЕЗИС ДИАНИТА В ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОМ МАССИВЕ ИНАГЛИ
(АЛДАНСКИЙ ЩИТ)**

**Радомская Т.А., Канева Е.В., Шендрик Р.Ю., Чуешова А.Г.,
Митичкин М.А. (ИГХ СО РАН)**

taniaojigova@mail.ru; тел.: 8 (950) 0605973

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–27–00183,

<https://rscf.ru/project/22-27-00183/>

В работе приводятся данные об условиях формирования дианита в щелочно-ультраосновном массиве Инагли (Алданский щит). Дианит представляет собой породу серовато- и голубовато-синего цвета, сложенную спутанно-волокнустым амфиболом. Амфибол по химическому составу отвечает рихтериту. По ИК-спектрам отражения подтверждено, что дианит сложен рихтеритом.

Наиболее информативными для реконструкции условий образования дианита являются участки контактов форстеритовых дунитов, и пересекающих их щелочных редкометальных пегматитов микроклин-альбит-амфиболового состава, где амфибол образует незначительные зоны шириной от нескольких мм до десятков см. Обнаруженный в данных пегматитах стронцийсодержащий фресноит, позволил предположить, что температура расплава, из которого кристаллизовались щелочные пегматиты фресноит-натролитового подтипа, составляла не менее 900 °С. Несмотря, на высокую концентрацию стронция в щелочном расплаве, рихтерит содержит следовые количества этого элемента. Присутствие реликтов хромита и повышенные содержания хрома в рихтерите указывают на то, что протолитом для образования дианита служила ультраосновная порода. Таким образом, дианиты образуются в результате контактово-метасоматического процесса при воздействии щелочных расплавов на оливиновые породы на позднемагматическом высокотемпературном этапе.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ РОМЕИТА В РАСТВОРАХ NaF ПРИ 800°C,
200 МПа И Cu₂O-CuO БУФЕРЕ**

Редькин А.Ф., Котова Н.П. (ИЭМ РАН)

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

РФФИ 20-05-00307 и ФНИ государственных Академий Наук FMUF-2022-0003

Получены экспериментальные данные растворимости ромеита (CaNa)Sb₂O₆F в ассоциации с флюоритом CaF₂ в растворах NaF в интервале концентраций от 0 до 8 моль·кг⁻¹ H₂O при $f(\text{O}_2)$, заданной Cu₂O-CuO буфером. Данные ICP и XRD анализов указывают на рост растворимости ромеита с ростом концентрации NaF. Установлено, что растворение ромеита происходит в результате выноса Sb⁵⁺ из структурных позиций в результате чего образуются скелетные формы флюорита. Новые Sb-содержащие фазы в твердых продуктах опытов, согласно XRD и SEM анализам, не обнаружены.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ
УГЛЕРОДА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КАРБОНАТНОГО ВЕЩЕСТВА
ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Реутский В.Н., Борздов Ю.М., Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН)

reutsky@igm.nsc.ru, +7 (913) 763 67 33

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-17-00075,
<https://rscf.ru/project/19-17-00075>.*

Взаимодействие карбонатов с металлами является одним из механизмов высвобождения элементарного углерода в природных процессах, включая алмазообразование. В силу кинетической природы металл-карбонатного взаимодействия, экспериментальные исследования изотопного фракционирования могут существенно дополнять термодинамические расчёты изотопных равновесий.

В экспериментах по взаимодействию железа и железо-никелевого сплава с $(\text{Mg,Ca})\text{CO}_3$ при 800-1550°C и давлении 6.3 ГПа установлено, что присутствие никеля блокирует образование карбидов железа. При этом величина изотопного фракционирования углерода между карбонатом и углеродом, растворённым в металле, аппроксимируется линией термодинамического изотопного равновесия кальцит – когенит. В наших экспериментах карбонат является единственным источником углерода, который обеспечил формирование графита, алмаза, растворённого в металле углерода, металл-углеродного и карбонатного расплавов.

При 800-1000°C восстановленный карбонатный углерод растворяется в твёрдом металле, обедняясь при этом тяжёлым изотопом на 17-20‰. Выше 1330°C фракционирование между карбонатным и металл-углеродным расплавами сокращается до равновесных 8.5‰. Выше 1400°C, за счёт кристаллизации алмаза, наблюдаемое фракционирование между карбонатным и металл-углеродным расплавами смещается от линии равновесия $\text{CaCO}_3\text{-Fe}_3\text{C}$.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОКСИТЕРМОГРАФИИ В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАЦИЯХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В УСЛОВИЯХ ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА

**Роговая И.В. (ГЕОХИ РАН), Каргаполова Д.С. (Университет «Дубна»),
Зуев Б.К. (ГЕОХИ РАН)**

В докладе обсуждается проблема изменения химического состава в условиях геохимического барьера на примере реки Волга в районе Ивановской ГЭС и применения аналитических методов для исследования его трансформации на уровне фракций.

Приводится обоснование необходимости применения метода окситермографии для изучения фракционного распределения органического вещества. Прибор был создан профессором, д.т.н. Зуевым Б.К. в ГЕОХИ РАН. В докладе обсуждаются результаты, полученные ранее в ходе выполнения диссертационного исследования Роговой И.В. В рамках выполнения курсовой работы Каргаполовой Д.С. в Университете «Дубна» впервые рассматривается возможность работы на безреагентном типе окситермографа для решения этой эколого-геохимической задачи. Приводится обоснование выбора режима работы прибора и пример его реализации.

О ХАРАКТЕРЕ СВЯЗИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГЛУБИННЫХ ФЛЮИДОВ С ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ВЕРХНЕЙ, СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ КОРЫ И БИОТЫ

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

Рукавишникова Т.А. (ИТПЗ РАН)

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

РНФ, №23-27-00395

Анализ микроэлементного (МЭ) состава различных флюидов – известный метод исследования. Однако ранее не предпринималось систематической попытки сравнения МЭ состава различных глубинных флюидов с химическим составом основных георезервуаров: верхней, средней и нижней коры и разных типов биоты (растения и животные, водные и наземные). Авторами составлена база данных из более 300 анализов МЭ состава различных каустобиолитов (включая нефти), углекислых и грязевулканических флюидов, с определением большого числа элементов. Рассчитывались коэффициенты корреляции логарифмов концентрации, что позволяет учитывать данных по элементам как с высокими, так и с очень низкими содержаниями. Результаты расчетов выявляют максимум связи с одним из горизонтов земной коры, что, по-видимому, отвечает доминированию пород этого горизонта в формировании МЭ облика данного флюида. Довольно часто определяется и доминирующий тип исходной биоты. Для подавляющего большинства нефтей максимальна связь с составом нижней коры. Приводится ряд неизвестных ранее регрессионных соотношений, обсуждается их интерпретация, указывающая на характер глубинного флюидного режима в связи с процессами нефте- и сейсмогенеза.

РАЗЛОЖЕНИЕ К-КИМРИТА ($KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$) ПРИ ВЫСОКИХ РТ-ПАРАМЕТРАХ

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

romanenko@igm.nsc.ru; тел.: +7-913-932-53-77

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 18-17-00186

К-кимрит встречается в системе $KAlSi_3O_8-H_2O$ при давлениях выше 2-3 ГПа и 300°C и обнаружен в полифазных минеральных включениях. Согласно моделированию фазового равновесия THERMOCALC, в системе эклогит-вода (NCKFMASH- H_2O) вдоль тепловой геотермы К-кимрит с мусковитом/фенгитом является основной калийсодержащей фазой от 200 до 270 км, и основной калиевой фазой в диапазоне от 270 до 310 км. Однако экспериментальных исследований стойкости К-кимрита к высоким давлениям не проводилось.

Эксперимент проводился с использованием ячейки с алмазными наковальнями с лазерным нагревом и КР-спектроскопией с возможностью картирования. Исходным материалом был порошкообразный К-кимрит. Во избежание загрязнения среда под давлением не использовалась, что приводит к градиентам давления около 0,5 ГПа, условия эксперимента составляли 11,3(5) стабилен как минимум при 400 и 700 °С и 7,8 и 13,1 ГПа соответственно. В качестве продуктов разложения К-кимрита идентифицированы $K_2Si_4O_9$ -вадеит, SiO_2 -коэсит и неизвестная алюминиевая фаза. Мусковит также обнаружен в кайме основных продуктов реакции. Возможно, это связано с неравновесной кристаллизацией из выделяющегося в ходе реакции флюида.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПАЛЛАДИЯ В
СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ СУЛЬФИДНОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ФЛЮИДЕ

**Рубцова Е.А. (геол. ф-т МГУ, ИГЕМ РАН), Акинфиев Н.Н., Зотов А.В.,
Тагиров Б.Р. (ИГЕМ РАН)**

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

Растворимость $PdS_{(к)}$ (высоцкит) была измерена в водных растворах H_2S (0.1-2.0*m*, моль/кг H_2O) и $H_2S + NaOH$ (0.02-0.4*m* $H_2S + 0.05$ -0.4*m* $NaOH$) при 4, 25, 75°C, 1 бар и 450, 490°C, 1000 бар. Эксперименты проведены с использованием ампульной ($t < 100^\circ C$) и автоклавной методик. По результатам экспериментов с помощью программы OptimA были рассчитаны значения свободных энергий Гиббса комплексов $Pd(HS)_2^\circ$ и $Pd(HS)_3^-$ и на их основе были получены предварительные значения констант реакций растворения $PdS_{(к)}$ с образованием этих комплексов ($K^\circ_{Pd(HS)_2^\circ}$; $K^\circ_{Pd(HS)_3^-}$). Рост температуры приводит к небольшому снижению устойчивости $Pd(HS)_3^-$. Для комплекса $Pd(HS)_2^\circ$ наблюдается небольшое снижение устойчивости при $t < \sim 300^\circ C$ и рост при более высоких температурах. Полученные константы реакций в диапазоне температур 4 – 490°C были использованы для определения параметров уравнения плотностной модели, которое может быть использовано для прогнозирования растворимости Pd-содержащих минералов вплоть до 700°C, 2000 бар.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ КРИОЛИТСОДЕРЖАЩИХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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

aleks7975@yandex.ru; тел.: 8 (495) 939-70-05

Работа выполнена при поддержке государственного задания ГЕОХИ РАН, по госбюджетной теме «Режимы петрогенеза внутренних геосфер Земли» геол. ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова и при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №16-05-0089)

В данной работе были изучены редкометальные криолитсодержащие граниты из трех месторождений Восточной Сибири: Зашихинского, Катугинского и Улуг-Танзек. В каждом из этих месторождений встречаются лейкократовые щелочные ($K_2O+Na_2O \sim 9$) литийсодержащие граниты с высокими содержаниями ниобия, циркония, рубидия, гафния, в меньшей степени тантала, а также урана, тория и редкоземельных элементов. Типичным сопутствующим минералом этих гранитов является криолит. При изучении соответствующих пород было обнаружено, что криолит чаще всего образует гнезда или прожилково-вкрапленные выделения светло-коричневого или серого цвета. Криолит находится в парагенезисе с калиевым полевым шпатом, кислым плагиоклазом, литиевой слюдой – полилитионитом. Совместно с криолитом часто кристаллизуются рудные минералы: колумбит, циркон, торит, гагаринит, галенит, пирит и др. Аналогичные парагенезисы породообразующих и рудных минералов получены в наших экспериментах при изучении литийсодержащей, насыщенной фтором и водой модельной гранитной системы. Криолит кристаллизуется из солевого расплава, и совместно с ним образуются фториды редкоземельных элементов, торит, циркон и другие. Эти данные подтверждают, что криолит может служить реперным минералом редкометально-редкоземельной минерализации в литийсодержащих насыщенных фтором редкометальных гранитах.

ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕЧНЫХ ВОДАХ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ

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

greenkrok@ya.ru; тел.: 8 (495) 939 29 61

При поддержке РФФ, проект № 21-77-1002

Изучение процесса миграции веществ является одной из главных задач геохимии. Бореальные регионы играют важную роль в переносе элементов с континентов в океан в высоких широтах. В ходе работы проводилось изучение форм нахождения тяжелых металлов в речных водах. Объектами исследования были воды пяти рек, расположенных в разных областях, относящихся к бореальной зоне.

Определение форм металлов проводили с использованием комбинации физических (фильтрации), химических (ионообменная хроматография) и расчетных методов (Visual MINTEQ).

Получено, что для всех рассмотренных металлов преобладающая форма нахождения – связанная с органическим веществом. Отмечено, что для Fe и Cu преобладают анионные комплексы с органическими лигандами вида $[MeL]^{n-}$. Преобладающая форма нахождения Pb и Cd – нейтральный органический комплекс вида $[MeL]^0$. Для Zn и Ni характерны – как нейтральные, так и положительно заряженные органические комплексы вида $[MeL]^0$ и $[MeL]^{n+}$. Анионные комплексы предположительно образованы с высокомолекулярными органическими лигандами, катионные и нейтральные, в свою очередь – с низкомолекулярными.

**АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЛИН МАЙКОПСКОЙ СЕРИИ И
ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКИХ ГЛИН В ОТНОШЕНИИ ИОНОВ РТУТИ (II)**

Салаватова Д.С., Бычков Д.А., Фяйзуллина Р.В. (геол. ф-т МГУ)
salavatova-jamilya2012@yandex.ru; тел.: 8 (922) 350 46 64

Сведения об адсорбционных свойствах глин майкопской серии и грязевулканических глин в отношении ионов ртути (II) могут стать полезными в понимании поведения данного микроэлемента в грязевулканической системе. Предполагается, что глины майкопской серии сорбируют ртуть, погружаются в зону грязевулканического очага и преобразуются, в результате чего происходит высвобождение ртути, которая дальше начинает собственное поведение в грязевулканической системе. Для изучаемых глин экспериментально показано, что при соотношении масс сорбента и хлоридно-гидрокарбонатного раствора 1:900 адсорбционное равновесие наступает спустя 4 дня при активном перемешивании. В эксперименте по изучению изотерм адсорбции ртути на глинах установлено, что процесс адсорбции лучше всего описывается уравнениями Редлиха-Петерсона и Тота. Стоит отметить, что процесс адсорбции ртути на глинах майкопской серии происходит интенсивнее, чем на грязевулканических глинах. Этот факт может объясняться тем, что глины майкопской серии подвержены набуханию в большей степени, чем грязевулканические глины.

СО₂ И ПЛАВЛЕНИЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Сафонов О.Г., Митяев А.С., Ходоревская Л.И., Косова С.А. (ИЭМ РАН)

oleg@iem.ac.ru; тел. +7 (496) 524 44 25

Грант РФФ 23-17-00074

Присутствие первичных включений, содержащих СО₂, дочерние карбонатные фазы и графит, и сосуществование таких включений с включениями силикатных расплавов в минералах мигматитов и гранитоидов различного состава иллюстрируют связь между гранитообразованием и активностью углекислых флюидов в областях высокотемпературного метаморфизма и анатексиса в нижней и средней континентальной коре. Однако экспериментальные данные предоставляют противоречивые результаты о роли этих флюидов в гранитообразовании в условиях метаморфизма. Большая их часть демонстрирует негативное влияние СО₂ на плавление кварц-полевошпатовых ассоциаций. Тем не менее, отдельные эксперименты указывают на возможную позитивную роль СО₂ в плавлении богатых слюдами ассоциаций. Также одним из перспективных направлений в решении вопроса связи углекислых флюидов и гранитоидных магм может быть модель, согласно которой источником для магм и флюидов в отдельных случаях могли служить породы, изначально содержавшие карбонатные минералы или графит. Эти аспекты экспериментальных исследований гранитообразования с участием СО₂ будут рассмотрены в заявленном докладе.

СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ $\text{NaGaSi}_3\text{O}_8$ И $\text{NaAlGe}_3\text{O}_8$ СО СТРУКТУРОЙ АЛЬБИТА

Сеткова Т.В., Спивак А.В., Балицкий В.С. (ИЭМ РАН), Ковалев В.Н. (МГУ, ИЭМ РАН), Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН)

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

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

В термоградиентных гидротермальных условиях при температуре 600/650°C и давлении 100 МПа получены кристаллы $\text{NaGaSi}_3\text{O}_8$ размером 200 мкм и $\text{NaAlGe}_3\text{O}_8$ размером 500 мкм со структурой альбита. Кристаллы имеют пластинчатый габитус, образуются в виде отдельных кристаллов и их сростков. Проведено сравнение КР – спектров природного, синтетического альбита с галлиевым и германиевым аналогами. Установлено смещение основных полос на КР-спектрах в зависимости от состава.

**ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В КВАРЦЕ, ОБРАЗОВАННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АСФАЛЬТЕНОВ С ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМИ РАСТВОРАМИ ПРИ
300 – 650 °С И 100 МПа**

**Сеткова Т.В., Балицкий В.С., Голунова М.А. (ИЭМ РАН), Лахова А.И.,
Петров С.М. (КНИТУ), Балицкая Л.В., Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН)**
setkova@iem.ac.ru; тел.: +7 (496) 522 58 47

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0003

Асфальтены – высокомолекулярные компоненты нефти, образующие сложные структурные единицы, являются остаточным продуктом экстракции тяжёлых нефтяных остатков. Объектами исследования служили образцы асфальтенов, полученные путем их осаждения эфиром. Эксперименты по взаимодействию гидротермальных растворов с асфальтенами, проводили с одновременным выращиванием кристаллов кварца в широком диапазоне температур 300/350, 400/450, 500/550 и 600/650 °С при давлении 100 МПа. После опытов из выращенных кристаллов кварца готовили полированные пластинки и изучали образованные в них флюидные включения оптическими и термобарогеохимическими методами. Установлено, что фазовый состав образовавшихся в кварце включений зависит от температуры эксперимента. Включения в кварце, сформированные при температурах 300/350 и 400/450 °С характеризуются высоким содержанием нефтяных углеводородов. Фазовый состав включений, сформированных при температуре от 500 °С и выше представлен водным раствором и твердыми битумами, фаза нефтяных углеводородов во включениях отсутствует.

СИСТЕМЫ Fe-S И Ni-S ПРИ 6 ГПа

**Сидько Д.Е., Шацкий А.Ф., Арефьев А.В., Виноградова Ю.Г. (ГЕОХИ РАН),
Литасов К.Д. (ИФВД РАН)**
danilasidko@yandex.ru; тел.: +7 (961) 227 84 48

При 6 ГПа эвтектика Fe-FeS установлена при 1000 °С и 33 мол% S. Fe_{1-x}S не испытывает плавления по меньшей мере до 1500 °С. Эвтектика Fe_{1-x}S-FeS₂ расположена при 1350 °С и 63 мол% S. FeS₂ плавится конгруэнтно при 1375±25 °С. В интервале 450-1100 °С растворимость Fe в S не превышает 0.5 мол % и возрастает до 10 мол% при 1300 °С. При 1400 °С фиксируется непрерывный переход от расплава серы к сульфидному расплаву.

Система Ni-S при 6 ГПа и 450 °С имеет пять промежуточных соединений: Ni₃S, Ni₃S₂, Ni_{4-x}S_{3-x}, Ni_{1-x}S и NiS₂. Фаза Ni₃S разлагается при 450 °С, с образованием Ni и Ni₃S₂. Эвтектика Ni-Ni₃S₂ установлена при 525±25 °С и 31 мол% S. Ni₄S₃ плавится инконгруэнтно при 700 °С с образованием NiS и расплава с 39 мол% S. NiS плавится конгруэнтно при 1375±25 °С. Эвтектика Ni_{1-x}S-NiS₂ расположена при 1300 °С и 54 мол% S. NiS₂ плавится конгруэнтно при 1425±25 °С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УГЛЕКИСЛОГО ФЛЮИДА И ВОДОСОДЕРЖАЩЕГО КИСЛОГО РАСПЛАВА

Симакин А.Г., Девятова В.Н. (ИЭМ РАН), Ширяев А.А. (ИФХЭ РАН)
simakin@iem.ac.ru; тел.: 8 (496) 522 58 53

Продувка магмы коровым, в частности углекислым, флюидом является важным процессом (противоположным дегазации), который влияет на состав магмы и стиль вулканических извержений. Экспериментально изучено взаимодействие углекислого газа с водосодержащим альбитовым расплавом при $P=200$ МПа. В первой серии опытов пузырьки углекислого флюида покидали расплав. Во второй серии опытов углекислый флюид взаимодействовал с цилиндрическим слоем расплава. В обоих случаях происходила быстрая дегидратация расплава и медленное насыщение CO_2 . Содержание летучих компонентов в закалочном стекле измерялось методом микро-FTIR спектроскопии. Установлено, что во втором режиме граничные содержания воды и CO_2 (при разрешении около 20 мкм) составили 2-1.5 мас. % H_2O и 200-300 ppm CO_2 . Составы расплавов образованных при продувке CO_2 в динамическом режиме от исходного с высокой концентрацией H_2O к равновесной с низкой H_2O и высокой CO_2 на диаграмме $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ следуют L-образному тренду, а не вдоль кривой равновесной растворимости. Подобные тренды, наблюдаемые по данным анализов расплавных включений, можно ошибочно приписать дегазации при подъеме магмы.

ПРИРОДА ФЛЮИДА В СИСТЕМЕ С-О-CL-(H) ПРИ НИЗКОЙ FO₂ КАК
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАСТВОРИТЕЛЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Симакин А.Г. (ИФЗ РАН, ИЭМ РАН), Шапошникова О.Ю., Девятова В.Н., Бондаренко Г.В. (ИЭМ РАН), Исаенко С.И. (ИГ УрО РАН)

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

Проведена серия экспериментов с флюидом в маловодной системе С-О-Cl-(H) при P=200 МПа и T=950°C и низкой летучести кислорода. Опыты проводились в Pt, Pt и Pd и Au ампулах по двухампульной методике. Флюид генерировался при термическом разложении в малой ампуле FeCO₃, MgC₂O₄ и MgCO₃ в разных пропорциях. Небольшое количество воды присутствовало в виде примеси, оставшейся в исходных веществах после просушки. Хлор вводился в виде NaCl. В результате обменных реакций образовывались хлориды железа. Методами Рамановской спектроскопии отмечено формирование органических соединений и элементарного углерода. Флюоресценция исключила съемку спектров флюидных включений в альбитовом стекле-ловушке, в отличие от опытов без хлора. Отмечена полоса COCl₂ при примерно 580 см⁻¹, который, видимо, конденсируется вместе с органикой на стенках пузырей. При длительной съемке полоса исчезает. Сравнение слабых линий в области 1800-2150 см⁻¹, модулирующих широкую полосу флюоресценции, в опытах с различными благородными металлами позволило сделать выводы об относительной устойчивости СО содержащих комплексов.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА

**Слободов А.А. (СПбГТИ, ИТМО), Шорников С.И. (ГЕОХИ РАН), Радин М.А. (СПХФУ),
Ворожцова Ю.С., Иванова А.Н., Ефимов Р.Д. (ИТМО)**

aslobd@gmail.com; тел.: +7 (904) 333 71 53

Существующие системы и базы термодинамических характеристик характеризуются недостаточной полнотой и согласованностью данных для широких классов веществ. Предлагаемый подход и разработанные базы данных дают основу для решения этих проблем. Сформулированы основные критерии полноты и согласованности, представлен термодинамический аппарат расчета термодинамических функций. Эффективность разработанных методов и баз данных иллюстрируются результатами моделирования и расчета фазово-химических превращений и равновесий для 14-компонентной системы $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{TiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{воздух} (\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}_2)$ в широкой области значений параметров состояния (состава, температуры, давления), соответствующей ряду геохимических процессов, а также условиям формирования и синтеза керамического материала.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЛАНТАНОИДОВ В СИСТЕМЕ
МАГНЕТИТ (ГЕМАТИТ) – ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ РАСТВОР ПРИ 450 °С
И ДАВЛЕНИИ 100 МПа**

Смагунов Н. В., Липко С. В., Таусон В. Л., Белозерова О. Ю.,

Бабкин Д. Н. (ИГХ СО РАН)

vltauson@igc.irk.ru; тел 8 (395) 242 99 67

Проект ФНИ № 0284-2021-0002

Представлены первые результаты экспериментального изучения гидротермальной мультисистемы, включающей лантаноиды (Ln) и оксиды Fe – магнетит и гематит. Содержания Ln в растворах и в кристаллах определялись методами ИСП-МС и ЛА-ИСП-МС соответственно. Полученные коэффициенты распределения и сокристаллизации Ln интерпретированы как максимальные оценки “истинных” значений коэффициентов для структурной примеси. Показано, что Ln (кроме Eu) совместимы в гидротермальном магнетите, тяжелые Ln (начиная с Tb) когерентны в гематите. Установлена четко выраженная тенденция повышения обоих коэффициентов с атомным номером Ln, начиная с Gd-Tb, что важно для использования соотношения легких и тяжелых Ln как типохимического признака при локализации источника рудных элементов. В ассоциациях с магнетитом и гематитом получены собственные фазы Ln оксихлоридного (без Fe) и оксигидроксидного (с Fe) состава, которые демонстрируют пример совмещения легких и тяжелых Ln в пространстве единой гидротермальной системы за счет совместной кристаллизации фаз, избирательно аккумулирующих легкие и тяжелые лантаноиды.

СТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ ОЛИВИНОВЫХ ПОРОД МОНЧЕПЛУТОНА: ПЕРВЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ

**Соболев С.Н., Пшеницын И.В. (ГЕОХИ РАН),
Арискин А.А. (Геол.ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Николаев Г.С. (ГЕОХИ РАН),
Грошев Н.Ю. (КНЦ РАН.
ssn_collection@bk.ru; тел.:8 (910) 469 33 47**

Получены первые обширные данные о распределениях кристаллов оливина по размерам (CSD) для перидотитов, гарцбургитов и дунитов Мончегорского расслоенного плутона. В дунитах дунитового блока распределения оливина делятся на линейные (тип 1), логнормальные (тип 2), логнормальные крупнозернистые (тип 3). CSD в обогащенных хромитом дунитах Сопчеозерского месторождения сходно с типом 1 и 2, но некоторые существенно отличаются в области малых кристаллов (тип 4). Оливин, рассеянный в хромититах, в целом имеет линейное CSD, но с вариациями наклона (тип 5), некоторые распределения демонстрируют параллелизм с оливином из хромититового ксенолита (тип 6) на г. Кумужья (Барков и др. 2015). Перидотиты из ультраосновного тела скважины М1 (Смолькин и др. 2022) имеют в целом линейные формы CSD и сходны с типом 1 в дунитовом блоке, но встречаются и более крупнозернистые разности сходные с типом 3. Так же на него похожи некоторые гарцбургитовые ксенолиты на г. Кумужья. Перидотиты краевой зоны НКТ на г. Травяная имеют логнормальные CSD оливина с закономерными отличиями между дунитами и гарцбургитами.

**СОСТАВ ФЛЮИДА В КАРБОНАТ И ХЛОРСОДЕРЖАЮЩЕМ ПЕЛИТЕ
ВБЛИЗИ ВТОРОЙ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ**

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 Российского научного фонда (проект 22-17-00005)

Экспериментально при 3.0 ГПа и 750 и 900°C с использованием метода алмазной ловушки исследован состав флюида в карбонат и хлорсодержащем пелите. Анализ данных ИСП-АЭС и масс-балансных расчетов, позволил установить, что в изученной системе уже при 3.0 ГПа и 750°C образуется флюид близкий по составу к сверхкритическому. Такой флюид, содержит 30-50 мас. % H₂O+CO₂, до 1 мас. % Cl. Он обогащен Si и Al, и содержит следующий ряд элементов в порядке снижения их концентрации: K>Na>Ca≈Fe>Mg>Mn>Ti≈P. При изученных параметрах в пелитовой системе наблюдается высокая подвижность P, Sr и B, и относительно низкая Li и S. Таким образом, близкий по составу к пелитовым расплавам зон субдукции, флюид может транспортировать в область генерации дуговых магм большое количество летучих (H₂O, CO₂, Cl и P), а также значительное количество петрогенных компонентов. Однако, такой высоко концентрированный флюид будет иметь характерные геохимические метки низкотемпературных слабо концентрированных флюидов.

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ АЗОТА В КАРБОНАТ И ХЛОРСОДЕРЖАЮЩЕМ ПЕЛИТЕ ПРИ P-T-fO₂ ПАРАМЕТРАХ ГОРЯЧЕЙ СУБДУКЦИИ

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

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

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

Фракционирование азота изучено при 3,0-7,8 ГПа, 900–1070°C и fO_2 от NNO до NNO-3 лог. ед. с использованием природного пелита, содержащего 1830 ppm азота. При параметрах экспериментов основными концентраторами азота являлись фенгит и силикатный расплав (3,0 ГПа) или флюид (5,5-7,8 ГПа). При $fO_2 \sim NNO$ фенгит содержит 115-135 и 759–962 ppm $(NH_4)^+$, в равновесии с расплавом и флюидом, соответственно. В них основными компонентами летучих являются H₂O и CO₂, а NH₃/(NH₃+N₂) отношение составляет 0.04-0.12. Полученные коэффициенты фракционирования $D_{NH_4-NH_3}^{Ms-Melt} = 0.41-0.58$ и $D_{NH_4-NH_3}^{Ms-Fluid} = 0.63-2.4$ свидетельствуют, что аммоний демонстрирует от умеренного несовместимого до совместимого поведения в метаосадках, субдуцируемых в горячих слэбах на глубины от 100 до 250 км. Введение дополнительного азота в виде меламина снижает fO_2 до NNO-1.7 – NNO-2.9 лог. ед., обеспечивает рост NH₃/(NH₃+N₂) отношения во флюиде до 0.44–0.86 и образование фенгита с 3750–3820 ppm $(NH_4)^+$. При P³6.3 ГПа в системе образуется уникальный К-кимрит, который способен захватывать до 1.4–1.6 мас. % $(NH_4)^+$, до 0.5 мас.% NH₃, and 4–6 мас.% N₂.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ПИРОЛИТА И РАСЧЕТ ЕГО СКОРОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ОЛИВИНА,
ОРТОПИРОКСЕНА, КЛИНОПИРОКСЕНА И ГРАНАТА**

**Соколова Т.С. (ИЗК СО РАН, ИТПЗ РАН), Филиппова А.И. (ИТПЗ РАН, ИЗМИРАН),
Дорогокупец П.И. (ИЗК СО РАН)**

sokolovats@crust.irk.ru; тел: 8 (395) 251 16 80

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 21-77-10070)

Ранее в наших работах в рамках единой термодинамической модели на основе свободной энергии Гельмгольца были построены уравнения состояния ряда важнейших мантийных минералов (оливин, ортопироксен, клинопироксен и гранат). На основе полученной термодинамики для чистых составов был смоделирован первичный состав пиролита (Ol – 57 вес. %, Орх – 17 вес. %, Срх – 12 вес. %, Gr – 14 вес. %, соответственно) и рассчитаны его скоростные характеристики. Два других состава пиролита были рассчитаны с учетом содержания железа в оливине и ортопироксене от 10 до 20 вес. %. Скорости S-волны для всех исследованных составов пиролита были сопоставлены со средними скоростными разрезами отдельных тектонических структур Арктического региона (стабильные области, складчатые пояса и окраинные моря). Полученные результаты позволили обсудить особенности состава породы верхней мантии под отдельными регионами и проанализировать температурные и глубинные закономерности, что представляет собой важное практическое приложение проводимых расчетов.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ДИОПСИДА ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) НА ОСНОВЕ
СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Соколова Т.С. (ИЗК СО РАН, ИТПЗ РАН), Дорогокупец П.И. (ИЗК СО РАН)

sokolovats@crust.irk.ru; тел: 8 (395) 251 16 80

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 21-77-10070

Диопсид ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) является одним из наиболее значимых минералов группы клинопироксена, содержание которой в различных петрологических моделях мантии (от пиrolита до пироксенита) составляет от ~ 15 до 60 вес. %, соответственно. Таким образом надежные термодинамические характеристики диопсида имеют принципиальное значение для расчета фазовых соотношений минералов на глубине в верхней мантии. В рамках единой термодинамической модели на основе свободной энергии Гельмгольца, которая была апробирована нами ранее на других распространённых минералах верхней мантии (оливин, ортопироксен и гранат), было построено уравнение состояния диопсида и рассчитаны его термодинамические свойства при заданных P - T параметрах. Рассчитанные параметры уравнения состояния диопсида, следующие: $V_0 = 66.1 \text{ см}^3 \text{ моль}^{-1}$, $K_0 = 113.4 \text{ ГПа}$, $K' = 5.2$, $\Theta_{01} = 1017 \text{ К}$, $\Theta_{02} = 312 \text{ К}$, $m_1 = m_2 = 15$, $\gamma_0 = 0.962$, $\beta = 1$. В докладе будет приведено сопоставление и обсуждение результатов расчета с экспериментальными и расчетными данными других авторов.

ТЕРМИЧЕСКИ ВОССТАНОВЛЕННЫЕ SI И P В НАНОСФЕРУЛАХ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН), Герасимов М.В., Зайцев М.А. (ИКИ РАН), Щербаков В.Д. (геол. ф-т МГУ), Рязанцев К.М., Крашенинников С.П., Яковлев О.И., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)
egorgeohim@ya.ru; тел.: 8 (903) 963 28 26

В работе описываются результаты серии экспериментов по имитированию микрометеоритной бомбардировки на поверхности Луны с помощью импульсного лазера. В мишенях из базальтового стекла после лазерного удара возникли россыпи нано- и субмикроскопические сферулы металлического железа. Анализ кратеров мишеней осуществлялся сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) TESCAN MIRA (ГЕОХИ РАН). Наиболее крупные сферулы металлического железа были проанализированы методом ЭДС. Такие сферулы содержали около одного весового процента никеля, до 5 вес % кремния, фосфора до 14 вес %, серы до 0,2 вес.%. Подобные объекты были обнаружены в лунном метеорите Dhofar 280. В них также были измерены концентрации металлического кремния, никеля и некоторых других элементов.

МИНЕРАЛЫ СУПЕРГРУППЫ ПИРОХЛОРА АПАТИТ-ФЛЮОРИТОВЫХ ПОРОД
БУРПАЛИНСКОГО МАССИВА

**Сотникова И.А. (ИГХ СО РАН), Спивак А.В., Вирюс А.А., Варламов Д.А.,
Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)**
sotnikova@igc.irk.ru

Уникальный редкометальный Бурпалинский массив относится к Северо-Байкальской щелочной провинции, представляет собой многофазную интрузию центрального типа. Апатит-флюоритовые и апатит-магнетит-флюоритовые породы образуют в центре массива крупное тело мощностью 10-50 м и протяженностью до 2-3 км в мелкозернистых нефелиновых сиенитах. В центральной части оно состоит в основном из флюорита (до 80 об. %), апатита (15 об. %), в небольшом количестве присутствуют флогопит, щелочной пироксен; акцессорные – бадделейт, циркон, ториянит; и рудные - титаномагнетит, ильменит, а также минералы супергруппы пирохлора. Минералы супергруппы пирохлора в породах представлены разновидностями пирохлоров (Nb^{5+}) и бетафинита (Ti^{4+}). Среди пирохлоров выделены: оксиплюмбопирохлор $(Pb, \#)_2(Nb, Ti)_2O_6O$, фторкальциопирохлор $(Ca, Na, \#)_2(Nb, Ti)_2O_6F$, гидроксикальциопирохлор $(Ca, Na, U, \#)_2(Nb, Ti)_2O_6(OH)$ и окситропирохлор(Y) $(Y, \#)_2Nb_2O_6O$. Гидроксикальциопирохлоры имеют зональную структуру; центральная часть содержит до $\square 20\%$ U, а краевая до $\square 7\%$. Разновидность бетафинита - оксиуранобетафит $(U, Ca, \#)_2(Ti, Nb)_2O_6O$ содержит до $\square 20\%$ U и находится в сростании с гидроксикальциопирохлором.

РАСТВОРИМОСТЬ ВОЛЬФРАМИТА В АЛЮМОСИЛИКАТНОМ РАСПЛАВЕ

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 исследовалась растворимость вольфрамита $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ в алюмосиликатных расплавах различной щелочности при $T = 1100^\circ\text{C}$ и $P = 1$ и 4 кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас. % H_2O . Эксперименты проводились на установке высокого газового давления продолжительностью 5 суток. Исходным материалом служило наплавленное стекло гранитного состава разной агпаитности (0.9–2), а также природный вольфрамит. Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа.

Выявлена зависимость содержаний вольфрама в расплаве от его агпаитности $((\text{Na}+\text{K})/\text{Al})$. При $T=1100^\circ\text{C}$ и $P=1$ кбар растворимость вольфрамита увеличивается с повышением агпаитности расплава. При $P=4$ кбар содержания вольфрама в алюмосиликатном стекле существенно возрастают, однако наблюдается обратная закономерность: содержание WO_3 в расплаве уменьшается с увеличением его коэффициента агпаитности, что, вероятно, связано с образованием кристаллов щелочных соединений вольфрама. В водосодержащих системах наблюдается гетерогенность расплава в виде образования эмульсии, выражающейся в присутствии микроскопических капелек, обогащенных вольфрамом.

ОСОБЕННОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ЛОПАРИТА В АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

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

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

Работа выполнена при поддержке программы FMUF-2022-0004

Растворимость лопарита в алюмосиликатных расплавах различного состава экспериментально изучалась при $T=1200$ и 1000°C и $P=2$ кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас % H_2O . Эксперименты проводились на установке высокого газового давления продолжительностью 1 сут. Исходным материалом служили искусственные стекла малиньитового, уртитового и эвтектического альбит-нефелинового состава, предварительно наплавленные при $T=1450^{\circ}\text{C}$ в печи с хромит-лантановыми нагревателями в платиновых тиглях в течение 2 час., а также природный лопарит Ловозерского массива. Состав образцов после экспериментов определялся методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа.

Выявлена зависимость растворимости лопарита от состава алюмосиликатного расплава ($\text{Ca}/(\text{Na}+\text{K})$, $(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$). Оценены коэффициенты разделения ряда элементов между силикатным расплавом и кристаллами лопарита ($K_i=C_i^{\text{melt}}/C_i^{\text{lop}}$). В водосодержащих системах наблюдается гетерогенность расплава в виде образования эмульсии, выражающейся в присутствии микроскопических капелек, обогащенных компонентами, присущими лопариту.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛАХ ХОНДР РАВНОВЕСНЫХ ОБЫКНОВЕННЫХ
ХОНДРИТОВ**

Суханова К.Г. (ИГГД РАН)

cris.suhanova92@yandex.ru

Исследование выполнено в рамках темы НИР ИГГД РАН FMUW-2022-0005

Распределение редких элементов в оливине, низко-Са пироксене и мезостазице, порфириновых и непорфириновых хондр равновесных обыкновенных хондритов отражает гетерогенность условий хондрообразования в протопланетном диске и позволяет проследить эволюцию вещества в нем. Порфириновые хондры сложены оливином с низким содержанием Y и Yb относительно непорфириновых хондр.

Колосниковые хондры характеризуются оливином с высоким содержанием редких элементов и пироксеном, сильно обедненным редкими элементами (Zr, Y, Nb). Пироксен радиально-лучистых хондр обогащен Nb, Sr и Ba.

Значительная обогащенность редкими элементами оливина колосниковых хондр отражает сильный нагрев вещества-предшественника и быстрое остывание расплава хондр. Редкие элементы в минералах радиально-лучистых хондр демонстрируют быстрое остывание низкотемпературного расплава, обедненного Mg и редкими элементами. Сильный нагрев расплава колосниковых и радиально-лучистых хондр и быстрое остывание минералов указывает на их образование в нестабильном регионе протопланетного диска.

ХАРАКТЕР РИФТОВОГО МАГМАТИЗМА-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ЗАПАДНОГО
ИНДИЙСКОГО ХРЕБТА–ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ
ОБСТАНОВКИ

Суцевская Н.М. (ГЕОХИ РАН), Щербаков В.Д. (МГУ)

nadyas@geokhi.ru

Работа выполнена в рамках Гос. задания ГЕОХИ РАН

По результатам изучения составов и ликвидусной ассоциации (оливин-шпинель) толеитов переходной зоны района трансформных разломов Эндрю Бейн – Дю. Туа в пределах Юго-Западного Индийского хребта установлены существенные различия в составах первичных магм и минералов. Показано, что более ранние этапы развития толеитового магматизма, сформировавшего борт трансформного разлома Эндрю Бейн, связаны с более глубинными выплавками обогащенных расплавов, образующихся вблизи горячих точек. В то время как магмы, собственно, рифтовой долины характеризуются наименее глубинным выплавлением, типичным для холодных областей медленнопрединговых хребтов. Различия в первичных расплавах толеитов рифтовой долины и трансформного разлома Эндрю Бейн прослеживаются и в составах ликвидусных оливинов. Если оливины магм рифтовой долины близки к типичным оливинам (Fe_{88-87}) расплавов, обогащенных натрием (тип Na-ТОР) с низкими содержаниями в них Ni и повышенными Mn, то оливины толеитов разломной зоны, наоборот, обогащены Ni и обеднены Mn, что может свидетельствовать о вовлечении в процесс плавления под формирующимся хребтом помимо океанической мантии пироксенитового вещества.

УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МАГМ КРОНОЦКОГО ВУЛКАНА (КАМЧАТКА):
ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

**Тобелко Д.П. (ГЕОХИ РАН), Горбач Н.В. (ИВиС ДВО РАН),
Щербаков В.Д. (геол. ф-т МГУ), Рогозин А.Н. (ИВиС ДВО РАН),
Портнягин М.В. (GЕОМАР)**

dariatobelko@gmail.com; тел. 8 (903) 186 55 30

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-27-00053, полевые исследования 2022 г. были поддержаны грантом № 22-17-00074

Кроноцкий вулкан - крупнейший среди активных стратовулканов фронтальной зоны Восточного вулканического пояса Камчатки, который до сих пор оставался практически неизученным в силу удаленности и труднодоступности. Породы вулкана представлены низко-К высоко-Fe толеитовыми базальтами, реже – андезибазальтами.

В этой работе мы представляем первые результаты изучения состава оливина и включений шпинели в нём из пяти образцов базальтов Кроноцкого вулкана. Исследованные зерна оливина имеют интервал составов от Fo₇₀ до Fo_{88.7}. Определения состава оливина и шпинели были выполнены при помощи электронного зонда JEOL JXA8900 (Геологический факультет МГУ).

По предварительным оценкам исходные магмы Кроноцкого вулкана, равновесные с оливином Fo_{85.1}, могли кристаллизоваться при температуре 1108±33 °С (2σ), летучести кислорода QFM+2.2 ± 0.2 (2σ) и содержали ~2.9 мас. % H₂O. Полученные данные по составу оливина свидетельствуют о перидотитовом источнике первичных магм Кроноцкого вулкана, что характерно и для других вулканов Восточного вулканического пояса Камчатки.

**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

Травкина А.В., Володин В.Д., Лигаев А.Н., Мясников И.Ю. (ГЕОХИ РАН)
a_travkina@mail.ru; тел.: 8 (906) 771 82 67

Изучение особенностей распределения и физико-химических форм нахождения радионуклидов и химических элементов представляет собой достаточно сложную задачу. Донные отложения, как и почвы - многофазные системы, в которых происходит множество физических, химических и биологических процессов. Радионуклиды отличаются от своих стабильных изотопов и элементов-аналогов источниками поступления, временем нахождения в экосистемах и крайне низкими концентрациями.

Предыдущие исследования показывают, что особенности распространения и степень загрязненности осадков техногенным Cs-137 могут определяться не только уровнями концентраций радиоизотопа, но также и характером его связей с матрицей и степенью мобильности. Кроме того, степень иммобилизации Cs-137 и, следовательно, его миграционная способность в донных отложениях, может определяться соотношением в них органической и минеральной фракций, что может быть характерным для образцов, обогащенных органикой. Из полученных нами данных видно, что наименьшие уровни активности Cs-137 наблюдаются для проб донных отложений, для которых характерны экстремально высокие содержания крупных фракций гравия и песка, составляющие в сумме более 50% всего осадка.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕСТЕРИТА В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ
ТЕМПЕРАТУР

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

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

Згурский Н.А. (Гос. Универ. «Дубна», ИЭМ РАН),

Ганичев Я.А. (Гос. Универ. «Дубна»)

tyurin@igic.ras.ru; тел.: 8 (495) 633 85 48

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 является продолжением исследований термодинамических свойств халькогенидов переходных металлов, встречающихся в природе в виде минералов, и имеющих перспективы для применения. В частности, кестерит с химической формулой $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ используется в тонкоплёночной фотовольтаике. Исследован собственный синтезированный образец, проведенный анализ показал, что кристаллическая структура и стехиометрическое соотношение компонентов образца соответствует кестериту.

Для $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ методами адиабатической и дифференциальной сканирующей калориметрии измерена изобарная теплоемкость в интервале 5-850 К. На основании экспериментальных данных оценена температура Дебая, рассчитаны коэффициенты уравнений Майера-Келли и Ходаковского, определены стандартные термодинамические функции: теплоемкость, энтропия, изменение энтальпии и приведенная энергия Гиббса.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СВЕЖЕВЫПАВШИХ ХОНДРИТАХ

Устинова Г. К. (ГЕОХИ РАН)

ustinova@dubna.net.ru

Излагается разработанная программа исследования космогенных радионуклидов в свежевывавших хондритах для изучения временных и пространственных вариаций галактических и солнечных космических лучей в Солнечной системе на длительной временной шкале и разных гелиоцентрических расстояниях. Изначально проблема была описана в деталях в книге (Лаврухина, Устинова, 1990; Москва, Наука) и поэтапно дополнялась и уточнялась в последующих работах. Принципиально главная роль в этих исследованиях принадлежит предложенному и разработанному аналитическому методу развития ядерного каскада в космических телах разных размеров и составов. Указана важность баллонных стратосферных измерений интенсивности ГКЛ, точность низкофоновых измерений содержаний радионуклидов и программа слежения и фотографирования падений метеоритов. Выдвинут проект глобальной метеоритной службы для изучения временных и пространственных вариаций галактических космических лучей во внутренней гелиосфере (Ustinova, Alexeev, The 81st Ann.Meet.Met.Soc.; Moscow, 2018). Показано, что непрерывный мониторинг скоростей образования космогенных радионуклидов в постоянно выпадающих на Землю метеоритах позволяет выявить наиболее тонкие закономерности солнечной модуляции космических лучей, реконструировать возможные особенности в прошлом и прогнозировать их в будущем.

СОВМЕЩЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ 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

В разнородных комплексах базитовых коровых эклогитов - Максютковском на Южном Урале и Атбашинском на Южном Тянь-Шане, рассматриваются когерентные процессы метаморфических и метасоматических преобразований. Процессы термобарической направленности, связанные с изменением P - T параметров метаморфизма, приводят к образованию в эклогит-глаукофансланцевых комплексах контрастных серий пород. Такие серии формируются в результате тектонического внедрения (меланжа) высокобарных эклогитовых включений (отдельных блоков, будин, прослоев и линз) в толще слабо метаморфизованной вмещающей матрицы и их дальнейшего совместного (когерентного) развития. В многоступенчатой истории Максютковского комплекса эти процессы носят пульсационный характер, разобщены по времени и неоднократно повторяются на разных этапах эволюции террейна. В одноактном Атбашинском комплексе процессы тектонического меланжа и когерентного развития матрицы идут последовательно, в едином ключе метаморфической эволюции террейна. На регрессивном этапе развития комплексов когерентные термобарические процессы сменяются процессами петрохимической направленности, вызванные метасоматическим изменением пород. Среди них выделяются независимые линии аллохимических изменений, связанные с выносом химических элементов основного ряда – Fe, Mg, Ca, Al, и линия замещения эклогитов карбонатсодержащими минеральными ассоциациями. Сочетание и масштабы независимых когерентных процессов термобарической и петрохимической направленности связаны с геодинамической позицией комплекса и с историей его тектонического развития.

ПРЕДСКАЗАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КЛАСТЕРОВ СЕРЫ

Федяева М.А. (*геол. фак. МГУ, ГЕОХИ РАН*), **Лепешкин С.В.** (*ГЕОХИ РАН*),
Оганов А.Р. (*Сколтех, ГЕОХИ РАН*)

femaal.femaal3@yandex.ru; тел.: 8 (965) 112 90 05

Грант 19-72-30043

В связи с важностью серы в природных процессах, мы применили метод глобальной оптимизации для определения оптимальных структур молекул серы S_n в широком диапазоне составов ($n = 2 - 21$). Нами была исследована стабильность молекул с использованием различных критериев: численных значений вторых производных энергии молекул по составу ($\Delta^2 E$), энергий фрагментации (E_{frag}) и значений НОМО-LUMO щелей.

На основе полученных данных нами были определены наиболее устойчивые ("магические") молекулы, которые должны иметь наибольшую стабильность и распространенность. Нами были определены закономерности изменения стабильности молекул с ростом температуры от 0 К до 1500 К. Полученные значения позволяют объяснить экспериментальные данные, а также предсказывать молекулярный состав кристаллической, жидкой и газовой форм серы при различных температурах. Так, например, известная молекула, S_7 , имеет отрицательное значение $\Delta^2 E$ при 0 К, но при температурах выше 900 К имеет положительную вторую производную свободной энергии Гиббса по составу ($\Delta^2 G$), что согласуется с экспериментальными данными.

ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЕРВИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ
КСЕНОНА В ОБОГАЩЕННЫХ НАНОАЛМАЗОМ ФРАКЦИЯХ MURCHISON И ALLENDE

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

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

Исследования природы вариаций вычисленных содержаний потенциально первичных компонентов ксенона в обогащенных нанодиамазом фракциях, выделенных из метеоритов разных химических классов и петрологических типов, - перспективное направление для изучения реликтов протопланетного облака. В данной работе впервые приводятся результаты вычислений этих компонентов ксенона по литературным высокоточным данным для обогащенных нанодиамазом фракций, выделенных при различной степени кислотности из коллоидоподобных растворов кислотно нерастворимых остатков таких метеоритов как Murchison CM2, а также Allende CV3. Полученные таким образом фракции различаются размерами зерен и дефектностью их поверхностных слоев. При выполнении этой работы мы провели также корректирование изотопных составов предполагаемых первичных компонентов ксенона. Эта корректировка привела на данный момент времени к наибольшему соответствию составов первичных изотопно аномальных компонентов ксенона к таковым, образованным при взрыве сверхновой II типа в классическом г-процессе при определенных условиях. Все эти факторы позволили детально обсудить такие вопросы как различия содержаний первичных компонентов ксенона в углистых метеоритах, а также возможность SiC-X быть фазой носителем одной из изотопно аномальных компонент ксенона.

НЕОБЫЧНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В ОЛИВИНЕ ИЗ ПАЛЛАСИТА СЕЙМЧАН

**Хисина Н.Р., Бадюков Д.Д., Лоренц К.А. (ГЕОХИ РАН), Пальянов Ю.Н.,
Куприянов И.Н. (ИГМСО РАН), Шкурский С (геол. ф-т МГУ)**

Палласиты – железокаменные метеориты – образованы крупными (до нескольких см) зернами оливина в матрице FeNi металла. Прозрачные шлифы произвольно ориентированных зерен оливина из палласита Сеймчан исследованы методами оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии и рамановской спектроскопии. При оптическом изучении в прозрачных шлифах зерен оливина обнаружены необычные бесцветные прозрачные включения призматического габитуса толщиной ≤ 1 мкм и длиной 10 – 20 мкм. Удлинение включений параллельно направлению [001] вмещающего оливина. В наиболее крупных включениях наблюдается непрозрачная «головка», предположительно образованная FeNi металлом. Включения оказались «невидимыми» на BSE изображениях в сканирующем электронном микроскопе. Оптические наблюдения и рамановские спектры показали, что прозрачные тела включений представляют собой кристаллографически ограниченные пустоты в оливине. Предполагается, что включения образованы путем конденсации катионных и анионных структурных вакансий, образующихся при восстановлении оливина в результате твердофазной окислительно-восстановительной реакции оливина с вмещающим FeNi металлом (буферное равновесие OQI). Приуроченность включений к деформационным полосам скольжения вдоль [001] в оливине указывает на вероятную связь появления включений со сдвиговыми деформациями в оливине и на возможную роль ударного процесса в качестве триггера наблюдаемых преобразований оливина.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ГРАНАТ-ДВУСЛЮДЯНОГО СЛАНЦА С УЧАСТИЕМ ГРАФИТА ПРИ ДАВЛЕНИИ 5 КБАР И ТЕМПЕРАТУРЕ 900°C

Ходоревская Л.И., Косова С. А., Сафонов О.Г., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН)

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

Графит является важнейшей составляющей метаморфических (главным образом, метаосадочных) пород в областях метаморфизма и гранитообразования в континентальной коре. Его окисление в ходе метаморфических реакций, включая реакции частичного плавления, часто рассматривается как возможный «внутренний» источник CO_2 – типичного компонента флюидов в условиях высокотемпературного метаморфизма. Агентами преобразования графита могут служить H_2O или Fe^{3+} , главным источником которых являются слюды. Целью работы являлось исследование процессов плавления протолита, содержащего графит. Представлены предварительные результаты экспериментов по частичному плавлению гранат-двуслюдяного (с Qtz, Ap, Pm) сланца, содержащего 4 мас.% H_2O , в присутствии 0-20 мас. % графита при давлении 5 кбар и температуре 900°C. Минеральные ассоциации образцов после экспериментов включают кварц, гранат, апатит, ильменит, а также новообразованные продукты перитектических реакций - расплав, калиевый полевой шпат, шпинель, жедрит и силлиманит. Отношение $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$ в жедрите уменьшается с увеличением содержания графита, отражая усиление восстановительных условий. Предварительные данные показывают также, что более восстановительные условия (при большем содержании графита) способствуют увеличению отношения Na/K в расплавах.

МЕТЕОРИТ, ДОМНА ИЛИ ПРИРОДНЫЙ ПОЖАР?

Цельмович В.А. (ГО “Борок” ИФЗ РАН), Шельмин В.Г. (Экомонитор)

Работа выполнена по госзаданию ИФЗ РАН

Чулымский болид прилетел и вспыхнул на высоте около 100 км 26 февраля 1984 года вечером 26 февраля 1984 года в районе реки Чулым (приток р. Обь) на границе Красноярского края и Томской области.

Были собраны образцы, похожие на фрагменты метеорита. Однако изучение их состава при помощи микрозонда не позволило утверждать, что найденные камни имеют метеоритное происхождение. Скорее можно было предположить, что они образовались в результате процесса, напоминающего доменный. Однако вблизи места находки не было современного металлургического производства, но могли быть остатки древних производств. Следующая версия происхождения находок – мощный природный пожар. Находки необычные, и авторы попытались дать объяснение природы сделанных находок и обосновать различные гипотезы.

РАСПОЗНАВАНИЕ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОЙ И АТМОСФЕРНОЙ ПЫЛИ

Цельмович В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН»), Макс Л.П. (БГУТ, Беларусь)

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

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН (№ FMWU-2022-0026)

Проведено сравнение магнитных частиц, содержащихся в осадке городской атмосферной пыли, включающей техногенную пыль, с частицами, относимыми к космической пыли, которые сохранились в древней осадочной породе. Исследование частиц проводилось на СЭМ Tescan Vega II и на поляризационном микроскопе Nikon. Мт-микросферы, а также магнитные частицы в форме скруток и стружек, присутствуют и в осадочных породах, и в городской атмосферной пыли. Магнитные частицы в форме скруток и стружек, содержащиеся в древних осадочных породах, не могут быть техногенными, их терригенное происхождение маловероятно, но их образование в процессе деструкции метеороидов возможно. Однако без дополнительных исследований Мт-микросферы и магнитные частицы в форме стружек, содержащиеся в городской атмосферной пыли, не могут быть отнесены к космической пыли, частиц которой в атмосферной пыли очень мало.

О ПРИРОДЕ УЧУРСКОГО КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА (ПАДЕНИЕ 3.08. 1993 г.)

**Цельмович В.А. (ГО “Борок” ИФЗ РАН),
Амелин И.И., Гусяков В.К. (ИВМ и МГ СОРАН), Кириллов В.Е. (ИТиГ ДВО РАН),
Куражковский А.Ю. (ГО “Борок” ИФЗ РАН)**

tselm@mail.ru

Работа выполнена в рамках госзаданий ИФЗ РАН и ИВМиМГ СОРАН

Проведено экспедиционное исследование района импактного события, произошедшего 3.08.1993 года в районе реки Нижняя Конкули. По материалам дистанционного зондирования определены места столкновения с Землей космического тела. В районе воздействия ударной волны на земную поверхность отобраны образцы торфа, микронзондовый анализ которых показал наличие космогенного вещества в концентрациях, в 8 раз превышающих фон. Обнаружены магнетитовые и силикатные микросферы, самородное Fe с Ni, муассанит, углеродные микротрубки, покрытые Ni. Особый интерес вызвали находки Ni плёночных микроструктур, позволяющих предположить кометную природу Учурского космического тела. Приведено обоснование этой гипотезы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$

**Циркунова В. Д. (ИГЕМ РАН, геол. ф-т МГУ), Уланова А. С.,
Никольский М. С. (ИГЕМ РАН)**

vasilisk-707@yandex.ru; тел.: 8 (915) 038 99 75

Наиболее перспективными кристаллическими матрицами для иммобилизации радиоактивных отходов считаются титанаты и цирконаты актинидов и редкоземельных элементов. Для уточнения диаграммы $\text{NdO}_{1.5}\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ (Shoup et al; 1996) были проведены две серии экспериментов методом твердофазного синтеза. Результаты выявили значительные расхождения с литературными данными. При анализе керамик была обнаружена фаза $\text{Nd}_{2.8}\text{ZrTi}_{0.2}\text{O}_7$, которая, исходя из данных (Chong Wan, 2006), имеет флюоритовую структуру. Ранее в системе такая фаза указана не была, поэтому необходимо провести эксперименты для установления фазовых отношений в этом участке диаграммы.

ИЗОТОПНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЩЕЛОЧНО-КАРБОНАТИТОВЫХ ПОРОД МАЙМЕЧА-КОТУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ, СИБИРЬ

Цховребова А.Р., Костицын Ю.А. (ГЕОХИ РАН)

tsann3@gmail.com; тел.: 8 (916) 598 90 56

Работа выполнена по гос. заданию ГЕОХИ РАН

В северо-восточной части Сибирской платформы, к западу от Анабарского щита, расположена Маймеча-Котуйская провинция, площадью 74300 км², которая является крупнейшим в мире комплексом ультраосновно-щелочно-карбонатитовых пород. Провинция включает в себя до 40 интрузий, время формирования которых, по-видимому, укладывается в узкий интервал от 252 до 250 млн лет.

В настоящей работе мы исследовали Rb-Sr и Sm-Nd изотопные системы пород, слагающих ряд массивов Маймеча-Котуйской провинции: Гули, Одихинча, Кугда, Дьёгдьё, Маган, Ыраас и Ессей. Все выбранные тела представлены сходными группами пород: гипербазитами, породами мельтейгит-уртитового ряда, нефелиновыми и щелочными сиенитами, фоскоритами и карбонатитами.

Изотопные исследования показали, что по мере приближения к Анабарскому щиту возрастает изотопная гетерогенность и обогащённость пород массивов провинции: $\epsilon_{Nd}(T)$ варьирует -14 до +4.5, а изотопное отношение $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ – от 0.703 до 0.705. Полученные данные, вероятно, указывают на то, что в материнских расплавах этих пород, по мере приближения к Анабарскому щиту, возрастала доля древнего гетерогенного вещества с низкими Sm/Nd и высокими Rb/Sr отношениями.

СИНТЕЗ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСЕЛЕНИДОВ РУТЕНИЯ И ПЛАТИНЫ

**Чареев Д.А. (ИЭМ РАН, Гос. Универ. «Дубна»), Тюрин А.В. (ИОНХ РАН),
Полотнянко Н.А. (Гос. Универ. «Дубна»), Попов Е.А. (Гос. Универ. «Дубна», ИЭМ РАН),
Пузанова И.Г. (Универ. науки и технологий МИСИС, ИЭМ РАН)**
d.chareev@gmail.com; тел.: 8 (910) 463 89 23

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта «Синтез и термодинамические свойства минералов, содержащих благородные металлы» (№ 22-23-00893)

Работа посвящена синтезу RuSe_2 и PtSe_2 , аналогов природных минералов, а также изучению их термодинамических характеристик. Порошки синтезированы из простых веществ в вакуумированных кварцевых ампулах, образцы изучены с помощью рентгенофазового и рентгеноспектрального анализа.

Методами адиабатической и дифференциальной сканирующей калориметрии измерена изобарная теплоемкость диселенидов рутения и платины в широком интервале температур, для образцов рассчитаны коэффициенты уравнений Майера-Келли и Ходаковского, стандартные термодинамические функции. Использование собственной энтропии и литературных данных по энтальпии образования для RuSe_2 и PtSe_2 позволило оценить энергию Гиббса образования $\Delta_f G^\circ(\text{RuX}_2(\kappa))$ при 298.15 К.

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНО-ЩЕЛОЧНОГО И КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫХ
РАСПЛАВОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ НИЗКОБАРИЧЕСКОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ПЛАВЛЕНИЯ МЕРГЕЛИСТОГО ИЗВЕСТНЯКА

Чевычелов В.Ю., Вирус А.А., Котельников А.Р., Сук Н.И. (ИЭМ РАН)

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

Эксперименты проведены при $T = 1300$ (1250) $^{\circ}\text{C}$, $P = 7 - 17$ МПа и повышенном парциальном давлении CO_2 . Их задачей являлось определение условий образования мелилит-нефелиновой паралавы и карбонатного расплава, формирующихся в результате плавления известняка, содержащего 40 мас % пелитового материала (из пирометаморфического комплекса Хамарин-Хурал-Хид, Восточная Монголия). Минеральный состав использованного в опытах образца, следующий: кальцит (~59.5 мас %), агрегаты мелилит + клинопироксен + нефелин, реже встречаются кварц, альбит-анортоклаз, плагиоклаз, циркон и др. (Peretyazhko et al., 2021).

Основными фазами в твердых продуктах экспериментов являются ларнит, геленит (?) и кальцит, но кроме них обнаружены еще четыре карбонатсодержащие фазы: продукты закаливания карбонатно-щелочного расплава и три разновидности закалочных карбонатно-силикатных стекол. Физико-химические условия синтеза и устойчивости этих фаз могут представлять интерес с точки зрения возможности их образования в природных условиях. Методом РСЭЗА выполнена полуколичественная оценка содержания углерода в Si-Al разновидности карбонатно-силикатного стекла.

О РАСТВОРЕНИИ Ta-Nb МИНЕРАЛОВ В ГРАНИТОИДНЫХ РАСПЛАВАХ

Чевычелов В.Ю., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН)

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

Представлены экспериментальные данные о содержаниях Ta и Nb в кислых магматических расплавах различной щелочности и глиноземистости при растворении Ta-Nb минералов: колумбита, танталита, пирохлора, микролита, ильменорутила, ферротациолита и лопарита при $T = 650 - 850^\circ\text{C}$ и $P = 100 - 400$ МПа, а также результаты распределения Ta и Nb в системе минерал – расплав.

При растворении пирохлора в расплавах гранитоидов при $P = 100$ МПа и $T = 650 - 850^\circ\text{C}$ наибольшее содержание Nb (0.7–1.9 мас %) получено в щелочных расплавах, оно уменьшается до ~0.1–0.4 мас % в субглинозёмистых и высокоглинозёмистых расплавах. Повышение температуры увеличивает растворимость пирохлора, а повышение давления влияет неоднозначно. Установлено, что в щелочном и субглинозёмистом расплавах уменьшение давления от 400 до 100 МПа не оказывает существенного влияния на растворение микролита и пирохлора, а в высокоглинозёмистом расплаве с падением давления содержания Ta и Nb уменьшаются приблизительно в 1.5 раза. В высокоглинозёмистом гранитоидном расплаве устойчив микролит, в то время как пирохлор становится нестабильным.

О РАСТВОРИМОСТИ ТАНТАЛИТА В МОДЕЛЬНЫХ КИСЛЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ
РАСПЛАВАХ

Чевычелов В.Ю. (ИЭМ РАН)

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

Представлены экспериментальные данные по растворимости танталита в водонасыщенных гранитоидных расплавах с различным содержанием глинозема и щелочей при $T = 650 - 850^{\circ}\text{C}$ и $P = 100$ МПа. Показано, что максимальное содержание (эффективная растворимость) Та в расплаве всегда выше содержания Nb. При изменении состава расплава от щелочного до обогащенного Al_2O_3 содержания Та и Nb уменьшаются на 1-2 порядка. Одновременно значительно понижается Nb/Та отношение (от $\sim 0.8-0.7$ до $\sim 0.4-0.1$), так как содержание Nb снижается заметно быстрее, чем Та. Данный эффект усиливается при понижении температуры. Поэтому, вероятно, что именно в глиноземистых гранитных расплавах понижение температуры может приводить к существенному разделению Та и Nb. При этом в процессе кристаллизации Nb будет уходить в минеральные фазы, а Та до последнего оставаться в расплаве.

Показано, что эффективная растворимость Та в расплаве практически не зависит от состава растворяемого минерала в ряду колумбит – танталит. Вместе с тем эффективная растворимость Nb изменяется существенно. Так, при растворении колумбита содержание Nb в расплаве всегда выше (в случае одинаковой щелочности - глиноземистости расплава), чем при растворении танталита.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ
ВОДОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ В СИСТЕМЕ $\text{FeTiO}_3\text{-Mg}_2\text{SiO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ПРИ 6 ГПА

**Черткова Н.В., Спивак А.В., Захарченко Е.С., Литвин Ю.А., Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН),
Бобров А.В. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН)**

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

Источники финансирования: Грант РФФ № 20-77-00079 и частично тема НИР ИЭМ РАН (FMUF-2022-0001)

Экспериментальные данные о стабильности водосодержащих минералов при высоких давлениях вносят вклад в понимание процессов транспортировки летучих на мантийные глубины и необходимы для проведения геодинамического моделирования. В данной работе представлены результаты экспериментов по изучению фазовых отношений в системе $\text{FeTiO}_3\text{-Mg}_2\text{SiO}_4\text{-H}_2\text{O}$ при температурах 1200 °С–1250 °С и давлении 6 ГПа, с использованием в качестве стартовых материалов как химических реактивов, так и природных минералов. В работе проведен анализ наблюдаемых водосодержащих фаз с оценкой факторов, влияющих на расширение их полей стабильности в область высоких температур.

**ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ МАГМАТИЗМА E-MORB РИФТОВОЙ ДОЛИНЫ
СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА, 12°-31° С.Ш.**

Шабькова В.В., Силантьев С.А., Цховребова А.Р., Буйкин А.И. (ГЕОХИ РАН)
sv3739@gmail.com; тел.: 8 (915) 077 35 72

Проведенное исследование осуществлялось при поддержке гранта РФФ №22-27- 00815

Были изучены образцы закалочных стёкол, отобранных в шести районах осевой зоны САХ, расположенных в пределах ее простираия между 12° и 31° с.ш. Цель проведённого исследования заключалась в попытке определения геохимической природы источника магматизма E-MORB. Полученные результаты предоставили информацию о геохимических особенностях изученных образцов и о характере их распределения в различных по строению сегментах САХ. Это позволило сформулировать ряд выводов, важных для реконструкции природы источников расплавов, родительских для E-MORB. Базальты семейства E-MORB локализованы преимущественно в «холодных» сегментах САХ, в строении корового разреза которых преобладают серпентиниты. Мы предполагаем, что геохимическая обогащенность родительских для этих базальтов расплавов может быть связана, с одной стороны, с влиянием вмещающего серпентинитового субстрата. С другой стороны, нельзя исключать участие в магматизме рифтовой долины резервуара в геохимическом отношении отличного от DMM.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КР-СПЕКТРОВ МОНОСУЛЬФИДНОГО ТВЕРДОГО РАСТВОРА В СИСТЕМЕ FE-NI-S

**Шарапова Н.Ю. (геол. ф-т МГУ), Корепанов В.И. (ИПТМ РАН),
Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН).**
sharapovaninel@gmail.com; тел.: 8 (916) 347 74 95

Объектами исследования являются экспериментальные образцы моносulfидного твердого раствора (Mss) на основе NiS и FeS полученные при P=7.0 ГПа и T=900–1600°C на твердофазовой установке тороидного типа («наковальня с лункой»). Всего было получено 5 образцов Mss с составами: Fe_{0.1}Ni_{0.9}S, Fe_{0.25}Ni_{0.75}S, Fe_{0.5}Ni_{0.5}S, Fe_{0.75}Ni_{0.25}S и Fe_{0.9}Ni_{0.1}S.

По данным порошковой рентгеновской дифракции крайний член FeS представлен троилитом I с пр.гр. *P6̄2c*, а сульфид никеля - краунингшилдит α -NiS и Mss переменного состава кристаллизовались с пр.гр. *P6̄3/mmc*. Методом КР-спектроскопии было получено 34 КР-спектра моносulfидного твердого раствора в модельной системе Fe-Ni-S. Спектры комбинационного рассеяния для объединенного набора данных для всех составов Mss были проанализированы с неотрицательной матричной факторизацией. Анализ показал, что существует значимая концентрационная зависимость спектральных картин. Спектральные компоненты отнесены к структурам FeS и α -NiS. Несмотря на низкое отношение сигнал/шум, статистический анализ продемонстрировал, что концентрационная зависимость спектральных картин достоверна.

ОБЛАСТЬ УСТОЙЧИВОСТИ CO₂ ФЛЮИДА В МАНТИИ ЗЕМЛИ

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

shatskiy@geokhi.ru; тел.: +7 (913) 385 61 29

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 21-17-00024)

Находки твердого CO₂ во включениях в природных алмазах указывают на присутствие CO₂ в виде самостоятельной флюидной фазы в среде кристаллизации природных алмазов на глубинах 150-250 км, т.е. вплоть до границы насыщения мантии металлической фазой. Вместе с тем, согласно существующим экспериментальным данным CO₂ неустойчив в перидотитовой мантии уже на глубине 100 км. Находки включений минералов эклогитового парагенезиса в CO₂-содержащих алмазах побудило нас провести эксперименты в системе природный эклогит-CO₂ в интервале 3-6.5 ГПа и 850-1200 °С. Доклад посвящен обсуждению результатов экспериментов применительно к устойчивости CO₂ флюида в мантии Земли.

УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАМПРОИТОВЫХ МАГМ ВУЛКАНА ГАУССБЕРГ
(ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

Шишкина Т.А., Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН)

t.shishkina@geokhi.ru, тел.: 8 (495) 939-70-62

Работа выполнена при поддержке госзадания ГЕОХИ РАН и гранта РФФИ 20-55-1201

Содержания главных летучих компонентов H_2O и CO_2 в природных силикатных расплавах (вулканических стеклах и расплавных включениях в минералах) могут использоваться для расчета давления флюидного насыщения в магматических системах. Нами были проведены эксперименты по растворимости смешанного H_2O - CO_2 -содержащего флюида в базальтовом расплаве при давлениях 700 и 900 МПа. В отличие от экспериментальных наблюдений, проведенных ранее при давлениях ниже 500 МПа, изобары растворимости летучих компонентов при 700 и 900 МПа имеют куполообразную форму с максимумами концентраций CO_2 в расплавах, равновесных не с чистым CO_2 -содержащим флюидом. Данное наблюдение может объясняться позитивным влиянием низких концентраций воды на растворимость CO_2 вследствие деполимеризации расплава. Максимальные концентрации CO_2 составили ~0.47 мас % при давлении 700 МПа и ~0.59 мас % при 900 МПа. Содержания воды в базальтовом расплаве могут достигать ~11 и ~13 мас % H_2O , соответственно. Полученные данные могут использоваться для создания моделей растворимости H_2O - CO_2 -содержащего флюида в базальтовом расплаве, которые позволят получить корректные оценки давления флюидного насыщения для природных систем с высокими содержаниями CO_2 .

УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАМПРОИТОВЫХ МАГМ ВУЛКАНА ГАУССБЕРГ
(ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

Шишкина Т.А., Мигдисова Н.А., Сущевская Н.М. (ГЕОХИ РАН)

t.shishkina@geokhi.ru, тел.: 8 (495) 939-70-62

Работа выполнена при поддержке госзадания ГЕОХИ РАН

Вулкан Гауссберг (Восточная Антарктида) представляет собой самое молодое на Земле (около 56000 лет) проявление лампроитового вулканизма. Для воссоздания порядка и условий кристаллизации лампроитовых лав Гауссберга был использован комплексный подход, включающий в себя изучение петрографических особенностей и минералогического состава образцов, применение ряда термо- и оксидометров, а также использование литературных данных по экспериментальным исследованиям фазовых равновесий в высококальциевых магматических системах. Выявлено, что кристаллизация лампроитов Гауссберга происходила в порядке: хромшпинелид \rightarrow хромшпинелид+оливин \rightarrow оливин+лейцит (\pm хромшпинелид) \rightarrow оливин+лейцит+клинопироксен (\pm хромшпинелид). Близиквидусная ассоциация, представленная вкрапленниками высокомагнезиального оливина с включениями хромшпинелида, образовалась в диапазоне температур от 1180 до 1250 °С. Дальнейшая кристаллизация расплава с формированием ассоциации вкрапленников оливин+лейцит+клинопироксен могла происходить при давлении ниже 2 ГПа при температурах 1070–1180°С, соответствующих присутствию воды в магматической системе. Оценки окислительно-восстановительных условий кристаллизации лампроитов, полученные с использованием разных оксидометров, варьируют в широком диапазоне: от QFM-0.5 до QFM+2.3, что свидетельствует о необходимости дополнительных экспериментальных исследований ультращелочных систем.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ MgO–P₄O₁₀

Шорников С. И. (ГЕОХИ)

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

Образование фосфорсодержащих оливинов, найденных в лунном веществе, представляет значительный интерес для геохимии Луны. Для понимания фракционирования и кристаллизации оливина при высоких температурах в настоящей работе выполнены расчеты термодинамических свойств расплавов в системе MgO–P₄O₁₀. Расчеты были выполнены с использованием полуэмпирической модели (Шорников, 2019) в интервале температур 600–1800 К. Исходными данными являлась экспериментальная информация о стандартных энергиях Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (MgO и P₄O₁₀) и фосфатов магния (Mg₃(PO₄)₂, Mg₂P₂O₇, Mg(PO₃)₂ и MgP₄O₁₁) в кристаллическом и жидком состоянии. Расчеты учитывали наличие в составе газовой фазы над расплавом следующих атомарных и молекулярных форм пара: Mg, Mg₂, MgO, P, P₂, P₃, P₄, PO, PO₂, P₂O₃, P₂O₄, P₂O₅, P₃O₆, P₄O₆, P₄O₇, P₄O₈, P₄O₉, P₄O₁₀, MgPO₂, MgPO₃, O, O₂, O₃ и O₄. Полученные результаты расчетов активностей оксидов и энергии Гиббса смешения расплавов при температуре 1673 К сопоставлены с литературными данными (Iwase et al., 1987; Jung et al., 2013).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ CaO–P₄O₁₀

Шорников С. И., Демидова С. И. (ГЕОХИ)

sergey.shornikov@gmail.com; тел.: 8 (951) 661 14 60

Фосфор – важный второстепенный элемент лунных пород. Он обладает умеренной летучестью и обычно присутствует в виде фосфатов (мерриллит, апатит). Значительный интерес к ним вызван находкой в ряде морских базальтов апатитов, содержащих OH–группу, что противоречит раннему утверждению о безводности лунных магм. Для понимания фракционирования и кристаллизации апатита и мерриллита из расплава проведены теоретические расчеты термодинамических свойств расплавов в системе CaO–P₄O₁₀ при высоких температурах (700–2100 К).

Расчеты были выполнены с использованием полуэмпирической модели (Шорников, 2019). Исходными данными являлась экспериментальная информация о стандартных энергиях Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (CaO и P₄O₁₀) и фосфатов кальция (CaP₄O₁₁, Ca₂P₆O₁₇, CaP₂O₆, Ca₄P₆O₁₉, Ca₂P₂O₇, Ca₃P₂O₈, Ca₁₀P₆O₂₅ и Ca₄P₂O₉). Расчеты учитывали наличие в составе газовой фазы над расплавом следующих атомарных и молекулярных форм пара: Ca, Ca₂, CaO, P, P₂, P₃, P₄, PO, PO₂, P₂O₃, P₂O₄, P₂O₅, P₃O₆, P₄O₆, P₄O₇, P₄O₈, P₄O₉, P₄O₁₀, CaPO₂, O, O₂, O₃ и O₄. Полученные результаты расчетов активностей оксидов и энергии Гиббса смешения расплавов в системе CaO–P₄O₁₀ при температуре 1923 К сопоставлены с имеющимися в литературе данными (Schwerdtfeger & Engell, 1963; Hudon & Jung, 2015).

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

Шорников С. И. (ГЕОХИ), Слободов О. И. (СПбГТИ)

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

Физико-химические свойства системы $\text{SiO}_2\text{-P}_4\text{O}_{10}$ представляют значительный интерес для практического применения в волоконной оптике, а также для понимания формирования фосфорсодержащего оливина в лунных метеоритах. В настоящей работе были выполнены теоретические расчеты термодинамических свойств расплавов в системе $\text{SiO}_2\text{-P}_4\text{O}_{10}$ в области температур 700–2000 К с помощью полуэмпирической модели (Шорников, 2019) с целью уточнения ее параметров. Параметрами модели являлись рассчитанные из экспериментальных и теоретических данных значения стандартных энергий Гиббса $G^\circ(i)$ образования простых оксидов (SiO_2 и P_4O_{10}) и фосфатов кремния (SiP_2O_7 и $\text{Si}_3\text{P}_4\text{O}_{17}$). Расчеты учитывали наличие в составе газовой фазы над расплавом следующих атомарных и молекулярных форм пара: Si, Si_2 , Si_3 , SiO, SiO_2 , Si_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} , O, O_2 , O_3 и O_4 . Рассчитанные величины активностей оксидов и энергий смешения в расплавах системы $\text{SiO}_2\text{-P}_4\text{O}_{10}$ сопоставлены с таковыми, полученными при температуре 1873 К (Rahman et al., 2013). Показано, что значения энергий смешения фосфатносиликатных расплавов являются максимальными в ряду расплавов других фосфатных систем ($\text{CaO-P}_4\text{O}_{10}$ и $\text{MgO-P}_4\text{O}_{10}$).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ И УРАНА МЕЖДУ СИЛИКАТНЫМ И СОЛЕВЫМ
ЩЕЛОЧНОАЛЮМОФТОРИДНЫМ РАСПЛАВАМИ В ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ
ПРИ 700 И 800 °С И 1 КБАР

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

Работа выполнена по госбюджетной теме «Режимы петрогенеза внутренних геосфер Земли» геол. ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, при поддержке государственного задания ГЕОХИ РАН и ИЭМ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №16-05-0089)

Изучено распределение Th и U между алюмосиликатным и LiKNa-алюмофторидным (солевым) расплавами в модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при 800°C и 700°C и 1 кбар. Показано, что при 800°C торий и уран распределяются в пользу солевого расплава по сравнению с алюмосиликатным. Однако коэффициенты разделения между ними для Th значительно превышают таковые для U. Обнаружено, что растворимость U и Th в алюмосиликатном и равновесном с ним солевом расплаве зависит от состава системы и является наибольшей в присутствии Li, Na и K. При 700°C из солевого расплава кристаллизуется криолитоподобная фаза, в состав которой Th и U практически не входят. Оба элемента накапливаются в остаточном солевом расплаве, занимающем в солевой фазе промежутки между монокристаллами криолита. Содержание Th в остаточном солевом расплаве составляет 5-10 мас.%. U преимущественно входит в силикатный расплав. На границе двух расплавов кристаллизуются такие фазы, как торит, твердые растворы ряда торианит-уранинит и фториды Th и U. Накопление актиноидов в солевом расплаве в условиях эксперимента при 800°C и их выделение в виде собственных минералов при 700°C, объясняет присутствие минералов тория и урана в редкометальных криолитсодержащих гранитах и их пегматитах. Предполагается, что рудные концентрации Th и U возникают еще на магматической стадии формирования редкометальных гранитов.

**ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ ПОРОД
ВОЛЬФРАМОВЫХ И ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Эпова Е.С., Еремин О.В. (ИПРЭК СО РАН)

Apikur1@yandex.ru

Работа поддержана РФФ (22-27-00281)

Выщелачивание урана из руд месторождений золота (Балейское рудное поле, Новоширокинское и месторождение Любовь) и вольфрама (Антонова Гора, Букука, Шерловая Гора) проводилось фильтрацией сернокислотными растворами (рН=2). Содержания урана в пробах золоторудных месторождений не превышают кларк земной коры, за исключением окисленных балейских руд, в то время как в рудах Шерловогорского месторождения его почти в 5 раз больше кларковых значений. Уровни концентраций урана в фильтраатах не всегда коррелируют с его содержанием в рудах. Так, например, при низких содержаниях в новоширокинских и балейских малосульфидных рудах (0,1 и 0,6 г/т, соответственно) в фильтрационных растворах концентрации урана значительно отличаются от 2,5 мкг/л для новоширокиских руд до 30 мкг/л для балейских. Это, вероятно, обусловлено составом минеральных фаз, содержащих уран, поразному реагирующих на воздействие сернокислотных растворов. В целом динамика извлечения урана во всех экспериментах характеризуется максимальными концентрациями в первых порциях фильтраата, со временем уменьшаясь до постоянных значений (при времени фильтрации около 100 мин).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ РАСПЛАВОВ Са–Al–ВКЛЮЧЕНИЙ ХОНДРИТОВ

Яковлев О. И., Шорников С. И. (ГЕОХИ РАН)
sergey.shornikov@gmail.com, тел.: 8 (951) 661 14 60

Са–Al–включения (CAIs) являются уникальным объектами метеоритики. Эти тугоплавкие минеральные ассоциации образовались в результате конденсации газа предположительно Солнечного состава 4.567 млрд лет назад и затем испытали частичное испарение. Выделяют два основных типа включений – А и В. Тип А преимущественно состоит из мелилита (≥ 80 об. %) и шпинели (~5–15 об. %), тип В состоит из мелилита (~60–70 об. %), фассаита (~10–25 об. %) и шпинели (~10 об. %). Тип А богаче типа В оксидами кальция и алюминия и заметно беднее MgO и SiO₂. Термодинамические данные об испарении CAIs типов А и В, полученные масс-спектрометрическим эффузионным методом Кнудсена, сопоставлены с таковым для хондритов Murchison (CM2) и Крымка (LL3), а также с образцом лунного базальта Ap-16. Представленная информация показывает как общие закономерности испарения рассматриваемых в работе веществ, так и выявляет принципиальные различия между ними, что, вероятно, обусловлено природой их образования.

