

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ

**ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ
им. В.И.ВЕРНАДСКОГО**

**ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ
им. Д.С.КОРЖИНСКОГО**

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЩЕСТВО**

ВСЕРОССИЙСКИЙ

ЕЖЕГОДНЫЙ СЕМИНАР ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ

МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

ВЕСЭМПГ-2018

18–19 апреля 2018 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Москва 2018

Председатели семинара

дгмн Олег Александрович Луканин (ГЕОХИ РАН)
дхн Олег Геннадьевич Сафонов (ИЭМ РАН, МГУ)

Оргкомитет:

д.г.-м.н. Алексей Алексеевич Арискин	(МГУ, ГЕОХИ РАН)
д.г.-м.н. Андрей Викторович Бобров	(МГУ, ГЕОХИ РАН)
к.г.м.н. Виктор Анатольевич Зайцев	(ГЕОХИ РАН)
д.г.-м.н. Алексей Рэдович Котельников	(ИЭМ РАН)
чл.-корр. Олег Львович Кусков	(ГЕОХИ РАН)
д.х.н. Юрий Андреевич Литвин	(ИЭМ РАН)
д.г.-м.н. Юрий Николаевич Пальянов	(ИГМ СО РАН)
д.х.н. Борис Николаевич Рыженко	(ГЕОХИ РАН)
чл.-корр. Юрий Борисович Шаповалов	(ИЭМ РАН)
к.г.-м.н. Олег Иванович Яковлев	(ГЕОХИ РАН)

Секретари семинара

к.х.н. Елена Владимировна Жаркова	(ГЕОХИ РАН)
Екатерина Леонидовна Тихомирова	(ИЭМ РАН)

КЛИНОПИРОКСЕНЫ И ХРОМШПИНЕЛИДЫ ИЗ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ КИМБЕРЛИТОВ КИМОЗЕРА (КАРЕЛИЯ)

**Азарова Н.С., Бовкун А.В. (геол. ф-т МГУ), Носова А.А. (ИГЕМ РАН),
Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ)**

Кимберлиты Кимозера (1986±4млн.лет), расположенные в пределах Карельского кратона, относятся к числу наиболее древних коренных проявлений алмазоносных пород. Основные индикаторные минералы этих кимберлитов – хромшпинелиды и ильменит, в очень малых количествах присутствуют пироп и клинопироксен. Состав последнего охарактеризован слабо.

Изучены морфология и химический состав клинопироксена и хромшпинелидов (42 и 46 зерен, соответственно) из тяжелой фракции кимберлитов Кимозера.

Среди клинопироксенов (<0,25 мм) преобладают расколотые зёрна с шероховатой поверхностью преимущественно изумрудно-зелёной окраски. Они представлены главным образом диопсидом (Mg#84,6-93,7; Ca#44,6-49,7) с примесью жадеитового и космохлорового миналов. Зерна содержат (мас.%) 0,5-3,5 Cr₂O₃, 0,3-2,2 Al₂O₃, 1-2,6 Na₂O и до 0,4 TiO₂ и по составу соответствуют хромдиопсиду равномернозернистых перцолитов, вебстеритов и пироксенитов (± ильменитовых).

Среди хромшпинелидов (<0,5 мм) наиболее распространены обломки октаэдров с вициналями и корродированной поверхностью. Около 12% зерен (Cr# 81-93, до 0,6 мас.% TiO₂, 10-13 мас.% MgO) соответствуют магниохромиту алмазоносных дунитов и гарцбургитов. Преобладают (75%) хромшпинелиды перцолитового парагенезиса, варьирующие по составу (Cr# 66-93, до 2,6 мас.% TiO₂, 9,7-13,5 мас.% MgO) Часть зерен (около 8%) обогащена TiO₂ (3,7-4,8 мас.%) и Fe₂O₃ при Cr# 81-94. В периферических зонах большинства зерен количество MgO резко снижается, увеличивается содержание FeO, появляется примесь MnO и ZnO.

НАНОЧАСТИЦЫ И НАНОФЛЮИДЫ В ГЕОХИМИИ

Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН)

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

Сделан краткий обзор опубликованных работ в области наногеохимии, новой области геохимии, в которой исследуются твердые и жидкие фазы малого размера (<100 нм). Эти нанофазы по своим свойствам отличаются от крупных аналогов вследствие большого вклада поверхностной энергии. Рассмотрены условия, формы и механизмы их образования и эволюции. Приведены примеры зависимости свойств нанофаз (растворимости и стабильности, температуры плавления, внутреннего давления, заряда поверхности и сорбции, скоростей испарения, химических реакций, транспорта) от их размера. Отмечено разное влияние выпуклой и вогнутой поверхности на свойства. Широкое распространение нанофаз в природных условиях обеспечивает их влияние на различные геохимические процессы. Например, наночастицы сорбируют тяжелые металлы и являются основной формой их переноса в природных водах. Нанофлюиды (нанопоры) контролируют процессы диагенеза, метасоматического замещения и выветривания, миграцию газа в сланцах. Даже при небольшом содержании нанофаз они способны кардинально изменить поведение макросистем. Суммированы основные направления развития наногеохимии.

ШЕРОХОВАТОСТЬ СТЕНОК НАРУШАЕТ РАВНОВЕСИЕ SiO₂-ВОДА-ПАР

Алексеев В.А., Медведева Л.С. (ГЕОХИ РАН), Балашов В.Н. (ун-т шт. Пенсильвания), Бурмистров А.А., Громяк И.Н. (ГЕОХИ РАН), Ополченцев А.М. (ИК РАН)

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

Эксперименты с водой, насыщенной кремнеземом относительно кварца, проводились при 300°C в герметичных платиновых ампулах методом закалки. В гладких ампулах концентрация растворенного кремнезема со временем не менялась, а в шероховатых ампулах она экспоненциально уменьшалась вследствие осаждения кремнезема в паровой фазе на стенках ампул. В результате равновесное распределение растворенного кремнезема между жидкой водой и паром нарушалось. Это объясняется дистилляцией, которая инициируется преимущественным испарением у линии контакта стенки с жидкой водой и паром и многократно усиливается при инвазии жидкой воды в структуру шероховатой поверхности. В природных условиях возобновление растворяющей способности воды в результате дистилляции может приводить к переработке трещинных зон в жилы небольшим объемом воды и к миграции полостей, частично заполненных раствором.

ТРЕКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЛИВИНОВ ПАЛЛАСИТОВ

Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН), Багуля А.В., Волков А.Е., Гончарова Л.А., Горбунов С.А. (ФИАН), Калинина Г.В. (ГЕОХИ РАН), Коновалова Н.С., Окатьева Н.М. (ФИАН), Павлова Т.А. (ГЕОХИ РАН), Полухина Н.Г., Старков Н.И., Тан Найнг Со, Чернявский М.М., Щедрина Т.В. (ФИАН).

AVAL37@mail.ru тел.: 8 (496) 522 19 88; poluhina@sci.lebedev.ru тел.: 8 (499) 135 22 50
Работа частично поддержана Программой № 28 Президиума РАН

Приведены результаты исследования треков в оливинах палласитов, проводимого с целью обнаружения и изучения следов ядер трансурановых элементов в составе галактических космических лучей (ГКЛ). Методика исследования основана на регистрации и измерении с помощью современного универсального измерительного комплекса ПАВИКОМ динамических и геометрических параметров треков – химически травимых участков следов торможения ядер ГКЛ перед их остановкой в кристаллах оливина. Рассчитаны глубинные распределения скоростей образования треков ядер группы железа (VН-ядер) космических лучей в оливинах палласитов разных доатмосферных размеров. Рассчитанные зависимости привлечены для анализа данных о плотности треков в кристаллах оливина из палласита Marjalahti. В одном из кристаллов впервые найдено распределение треков с высоким градиентом плотности, обусловленным, вероятнее всего, облучением данного кристалла VН-ядрами космических лучей при толщине экранирующего слоя менее ~n100 мкм. Такой сценарий предполагает возможную сложную радиационную историю метеорита.

РЕАЛЬНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ РАСТВОРОВ Hg_2O в $\text{Hg}_{(\text{ж})}$ И ГАЗОГИДРАТА РТУТИ ПО ДАННЫМ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ СКРЕЙНЕМАКЕРСА

Алехин Ю.В., Бычков Д.А., Фяйзуллина Р.В. (геол. ф-т, МГУ)

fiaizullina@geol.msu.ru; тел.: 8 926 387 72 87

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-01055

С использованием результатов многочисленных экспериментов по «растворимости жидкой ртути» в воде методами топологического анализа Ф. Скрейнемакера по составу водной фазы в отношении валентных форм ртути показано, что в системе $\text{Hg}-\text{H}_2\text{O}$ жидкая ртуть является раствором Hg_2O в $\text{Hg}_{(\text{ж})}$. Это определяется доминированием комплекса $\text{Hg}_2(\text{OH})_2^\circ$ в составе равновесной водной фазы. Расчёты по уравнению Гиббса-Дюгема показывают, что доля минала Hg_2O в растворе жидкой ртути велика, при минимальных содержаниях минала HgO . Более детальный анализ системы по растворимости валентных форм ртути показал, что при низких температурах и стандартной летучести кислорода в атмосфере в водных растворах в равновесии с $\text{Hg}_{(\text{ж})}$ доминируют не форма $\text{Hg}(\text{OH})_2^\circ$, а комплекс ртути (I) – $\text{Hg}_2(\text{OH})_2^\circ$, и в жидкой водной фазе концентрация ртути обеспечивается его растворимостью. Это объясняет, почему концентрация насыщения по фазе $\text{Hg}_{(\text{ж})}$ на два порядка ниже, чем растворимость монтроидита (HgO).

ВЕСЭМПГ-2018 - 006

**РАСТВОРИМОСТЬ ВОДЫ В ГРАНИТНЫХ ГЛУБОКО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ
ВЫСОКОФТОРИСТЫХ РАСПЛАВАХ**

Алферьева Я.О., Щекина Т.И., Граменицкий Е.Н., Русак А.А. (геол. ф-т МГУ)

YanaAlf@ya.ru тел.(495)9392040, t-shchekina@mail.ru тел. (495)9392040

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-0089)

Методом рамановской спектроскопии определено содержание воды в модельных гранитных высокофтористых экспериментальных стеклах. В стеклах с коэффициентом аллюминатности, близким к единице ($(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}\approx 1$), полученных при $T=800^\circ\text{C}$ и $p=1\text{кбар}$ в условиях насыщения по алюмофторидным фазам, содержание воды может достигать 10 мас.%.
Изменение количества воды в системе влияет на растворимость фторидных и алюмофторидных фаз в силикатном расплаве. Увеличение содержания воды в гаплогранитной магматической системе, приводит к росту предельных содержаний фтора в силикатном расплаве и увеличению растворимости в нем солевого алюмофторидного расплава.

РОСТ ОТНОШЕНИЯ Ta/Nb В ОСТАТОЧНЫХ ГРАНИТНЫХ РАСПЛАВАХ (РАСЧЕТЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ).

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

YanaAlf@ya.ru тел.(495)9392040

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-0089)

На основе результатов оригинальных экспериментов и литературных данных сделаны массбалансовые расчеты распределения Ta и Nb между различными фазами магматической стадии становления интрузивов гранитного состава. Рассмотрено взаимодействие силикатного расплава с фазами, содержащими Ta и Nb в качестве примеси: биотитом, водным флюидом и солевым алюмофторидным расплавом. Также рассмотрена схема кристаллизации рудной Ta-Nb фазы на примере минералов изоморфного ряда колумбит-танталит. Получено, что из рассмотренных процессов наиболее эффективный рост отношения Ta/Nb в остаточных порциях гранитного расплава происходит при кристаллизации минералов изоморфного ряда колумбит-танталит. Наименьшее влияние на отношение Ta/Nb оказывает низкоплотный водный флюид.

ВЕСЭМПГ-2018 – 008

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВЫХ ОТНОШЕНИЙ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОНГОНИТОВ МАССИВА АРЫ-БУЛАК.

Алферьева Я.О., Новикова А. (геол. ф-т МГУ)

YanaAlf@ya.ru тел.8(495)9392040

Проведено экспериментальное изучение условий образования трех разновидностей пород массива Ары-Булак: порфиоровидные, афировые и высококальциевые онгониты краевой фации юго-западного эндоконтакта. Эксперименты проводились при 700 и 800 °С, $p=1$ кбар на гидротермальной установке высокого давления. К измельченным образцам пород добавлялось различное количество воды: 3, 10 и 15 масс. %.

Наиболее высокая температура ликвидуса характерна для афировой и высококальциевой разновидностей онгонитов. Ликвидусными фазами являются топаз и флюорит. Тренд кристаллизационной дифференциации направлен в сторону уменьшения содержания фтора в остаточных порциях магматического расплава.

**ВЛИЯНИЕ КАЛИЯ НА РЕАКЦИЮ, КОНТРОЛИРУЮЩУЮ СОЛИДУС
КАРБОНАТИЗИРОВАННОГО ПЕРИДОТИТА ПРИ 6 ГПА**

Арефьев А.В., Подбородников И.В., Шацкий А.Ф., Литасов К.Д (ИГМ СО РАН)

arefievanton@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0330-2016-0012

При давлениях выше 5 ГПа, реакция клинопироксена и магнезита с образованием энстатита и карбонатного расплава определяет солидус карбонатизированного перидотита (Dalton and Presnall, 1998a). Вместе с тем, присутствие калия в системе стабилизирует двойной карбонат $K_2Mg(CO_3)_2$. Недавно этот карбонат был установлен во включениях в кимберлитовых алмазах. Учитывая средние концентрации С и К в мантии, 100 и 260 ppm, соответственно и делая допущение, что весь С и К входят в состав карбонатов, средние содержания $K_2Mg(CO_3)_2$ и $MgCO_3$ составляют 740 и 141 ppm, соответственно. В настоящей работе приведены экспериментальные данные о фазовых взаимоотношениях в системах $CaMgSi_2O_6+2MgCO_3$ (Di+2Mgs) и $CaMgSi_2O_6+K_2Mg(CO_3)_2$ (Di+K₂Mg) при 6 ГПа. Система Di+2Mgs исследована в интервале температур 1350-1800 °С. Начало плавления установлено при 1400 °С. Согласно расчету баланса масс реакция плавления имеет следующий вид: $CaMgSi_2O_6$ (Срх) + $2MgCO_3$ (Mgs) = $Mg_2Si_2O_6$ (Орх) + $CaMg(CO_3)_2$ (L). При 1400 °С, расплав имеет Са-доломитовый состав $Ca_{0.56}Mg_{0.44}CO_3$ и содержит 3.5 мол% SiO_2 . Данный расплав близок по составу к перитектике в системе $CaCO_3$ - $MgCO_3$ расположенной при (Са# 57) и 1440 °С. Дальнейшее увеличение температуры сопровождается постепенным увеличением концентрации SiO_2 до 8.5 мол% и уменьшением Са# до 39 мол% при 1600 °С. Таким образом, увеличение температуры до 1500 и даже 1600 °С не сопровождается столь значительным повышением SiO_2 в расплаве, как сообщалось ранее для системы CMAS- CO_2 . Система Di+K₂Mg исследована в интервале температур 900-1500 °С. Система начинает плавиться при 1050 °С согласно реакции: $CaMgSi_2O_6$ (Срх) + $2K_2Mg(CO_3)_2$ = $Mg_2Si_2O_6$ (Орх) + $K_4CaMg(CO_3)_4$ (L), которая приводит к образованию ультракалиевого доломитового расплава следующего состава $43K_2CO_3 \cdot 57Ca_{0.4}Mg_{0.6}CO_3$ + 0.6 mol% SiO_2 . В интервале температур 1050-1400 °С состав расплава меняется незначительно, варьируя в пределах $42-45K_2CO_3 \cdot 55-58Ca_{0.3-0.4}Mg_{0.6-0.7}CO_3$ + 0.4-4.3 mol% SiO_2 . Увеличение температуры до 1500 °С сопровождается заметным ростом концентрации SiO_2 до 17 мол% и понижением K_2O до 16 мол%. Согласно полученным данным стабилизация $K_2Mg(CO_3)_2$ понижает температуру реакции, контролирующей солидус карбонатизированного перидотита с 1400 до 1050 °С при 6 ГПа, что согласуется с поведением более сложной лерцолитовой системы при добавлении в нее карбонатов калия и магнезия

РОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДА-ПОРОДА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РУДНЫХ СЛОЕВ В РАССЛОЕННЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ (ПО ДАННЫМ МОДЕЛЬНОГО ЭСПЕРИМЕНТА).

Асавин А.М., Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН)

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

Проведены низкотемпературные эксперименты с образцами пород типичных для разных участков петрографических ритмов в расслоенных интрузиях Федорово-Панского массива.

Для модельных экспериментов «вода-порода» использовали породы Федорово-Панского малосульфидного платинового месторождения и 2.3% раствор NaCl; подкисленный HCl до исходного pH 3.0. Установлено, что результирующий локально равновесный уровень pH и концентраций компонентов для пород из разных частей петрографического ритма расслоенности существенно отличается. Например, разница pH растворов для меланократовых габбро-норитов на 1-1.5 единиц pH выше, чем для лейкократовых. Установлена линейная зависимость pH раствора от коэффициента, рассчитанного на основе CIPW метода. Можно предположить, что в природе в результате этого в расслоенных комплексах будут формироваться природные инфильтрационные колонки, и при протекании растворов через них будет реализовываться эффективный механизм переотложения и концентрирования рудных компонентов. Предлагаемый метод расчета обобщенного коэффициента кислотности реакций K_pH по составу пород позволяет определить наиболее вероятные места формирования таких зон.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ГУЛИНСКОГО МАССИВА ПРИ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ЕДИНОГО ПЕРВИЧНОГО РАСПЛАВА.

Асавин А.М. (ГЕОХИ РАН), Чесалова Е.И (ГГМ РАН).

Рассмотрен генезис крупнейшего ультраосновного полифазного Гулинского плутона, расположенного на северном краю Анабарского щита ультраосновной щелочной Маймеча-Котуйской провинции. Несмотря на большое количество работ по проблеме формирования этого плутона и аналогичных ему полифазных интрузий из других щелочных провинций, вопрос о составе первичного расплава и генетической связи составляющих плутон интрузивных дериватов остается не решенным. Для расчета моделей кристаллизационной дифференциации применены методы нахождения баланса масс методом наименьших квадратов, который дает прекрасные результаты для понимания формирования вулканических серий. Этот подход мы использовали для построения модели формирования Гулинской ультраосновной щелочной интрузии массива Кондер. Контроль расчетов также проводился на основании оценки площадей выходов разных магматических комплексов количественно оценённых благодаря разработанному нами ГИС проекту строения Гулинского плутона на основании ряда геологических карт]. Удалось рассчитать модели обоих массивов однако исходный состав первичных магм в моделях разный. Получено хорошее совпадение пространственных и расчетных пропорций интрузивных фаз в моделях.

ПАРАМЕТРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ОЦЕНКА РАВНОВЕСНОСТИ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОГО РАСПЛАВА С КУМУЛУСНЫМИ МИНЕРАЛАМИ В РАССЛОЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ ВОСТОЧНО ПАНСКОГО МАССИВА.

Асавин А.М., Аносова М.И. (ГЕОХИ РАН), Горбунов А.А. (ЛГНИУ), Векслер И.В.(ИГиГ СО РАН)

На основе редкоземельного европиевого геотермометра и ряда других геотермометров рассчитаны равновесные температуры между плагиоклазом, пироксеном и интерстициальным расплавом в расслоенных платиноносных комплексах габброноритов Восточно-Панского массива. Несмотря на большое количество работ по проблеме магматической расслоенности вопрос о эволюции интерстициальных расплавов и локальной дифференциации расплавов внутри слоев сформированных из ранних кумулусных минералов остается слабо исследованным. С помощью LA-ICP получены первые данные по распределению редких и редкоземельных элементов в породообразующих минералах, оценена величина европиевой аномалии. Расчетные равновесные температуры минерал-расплав и фугитивности кислорода показывают, что в пределах типового расслоенного ритма: гортонолит – оливиновое габбро- габбро-норит – плагиоклазовое габбро – анортозит, эти параметры существенно менялись. Это доказывает, что интерстициальный расплав мог достаточно сильно фракционировать при образовании магматической расслоенности, при этом редкие элементы перераспределялись между ранними минералами кумулуса и расплавом и происходило накопление рудных элементов. Приведен ряд численных моделей накопления рудных компонентов.

РАСПЛАВНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ОЛИВИНЕ ИЗ ДРЕВНИХ КОМАТИИТОВ - ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КЛЮЧ К СОСТАВУ АРХЕЙСКОЙ МАНТИИ

Асафов Е.В. (ГЕОХИ РАН), Соболев А.В. (ГЕОХИ РАН, ISTERRE), Гуренко А.А. (CRPG), Портнягин М.В. (GEOMAR), Арндт Н.Т. (ISTERRE), Батанова В.Г. (ГЕОХИ РАН, ISTERRE), Крашенинников С.П. (ГЕОХИ РАН).

Коматииты - это вулканические породы, образовавшиеся в результате кристаллизации ультрамафических магм (главным образом в Архейское время). Они были впервые описаны в конце шестидесятых Viljoen&Viljoen (1969) в зеленокаменном поясе Барбертон в Южной Африке. С момента открытия условия происхождения и содержание воды в коматитах были предметом значительных дискуссий. Получены новые данные о составах расплавных включений в оливинах из коматиитов зеленокаменного пояса Белингве (2.7 млрд. лет, Зимбабве) и коматиитов зеленокаменного пояса Барбертон (3.3 млрд. лет, ЮАР). Были измерены содержания воды в захваченных расплавах (до 0,3 мас.% H₂O в расплавах Белингве и до 0,8 мас.% в расплавах Барбертон). Несмотря на наличие признаков ранней контаминации расплавов коровым материалом (повышенные содержания хлора и ряда подвижных элементов), нами были проанализированы наиболее примитивные расплавные включения из наиболее ранних оливинов, захваченные на ранних этапах кристаллизации и избежавшие существенной контаминации. Эти расплавные включения были использованы для оценки составов первичных расплавов коматиитов Белингве (Asafov et al., 2018) и Барбертон.

ВЕСЭМПГ-2018 - 014

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО МЕТАМОРФИЗМА
ЖЕЛЕЗНОГО МЕТЕОРИТА ЧИНГЕ**

Бадюков Д.Д. (ГЕОХИ РАН), Безаева Н.С. (ФТИ УрФУ)

badyukov@geokhi.ru тел. 8 (495) 939 70 53

Работа поддержана Программой 28 Президиума РАН

Из образца железного метеорита Чинге (атаксит, группа IVB) метеоритной коллекции РАН был изготовлен шар диаметром 57 мм. Шар был подвергнут воздействию сферической ударной волной, сходящейся к центру. Давление на периферии шара составляло 40 ГПа, а в области фокусировки (его центре) достигало ~200 ГПа. Из экваториального среза был изготовлен полированный шлиф, протравленный в нитале и изучавшийся методами оптической микроскопии и АСЭМ. В шлифе выделяются 3 области, отличающиеся разной степенью развития пластических деформаций и полос скольжения, а также распространенностью прожилков и карманов гомогенного металла. Интенсивность этих эффектов уменьшается от центра к периферии шлифа. Центральную область шара занимает полость, характеризующаяся крайне неровной поверхностью. Предполагается, что прожилки гомогенного металла возникли в результате интенсивных пластических деформаций, приведших к плавлению и закалке исходного металла.

ВЕСЭМПГ-2018 - 015

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕХОДА МЕТАСТАБИЛЬНОГО ОКСИДА ГЕРМАНИЯ СО СТРУКТУРОЙ α -КВАРЦА В СТАБИЛЬНУЮ РУТИЛОПОДОБНУЮ ФАЗУ (В СВЯЗИ С РЕШЕНИЕМ ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МОКРИСТАЛЛОВ ВЫСОКОГЕРМАНИЕВОГО КВАРЦА)

Балицкий В.С., Балицкая Л.В., Докина Т.Н., Сеткова Т.В., Ханин Д.А. (ИЭМ РАН), Гребенев В.В. (ИК РАН)

balvlad@iem.ac.ru, тел. 8 (496) 522 58 47

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-05-00976

Цель исследований – нахождение условий предотвращения перехода метастабильного кварцеподобного диоксида германия (α -GeO₂) в стабильную рутилоподобную фазу (β -GeO₂) или повышения температуры этого перехода. Решение этих задач связано с проблемой создания нового перспективного монокристалльного пьезоэлектрика – высокогерманиевого кварца. Исследования проводили с использованием методов эпитаксиального выращивания α -GeO₂ на кварцевую подложку, рентгенометрии, ДТА и микрозондового анализа. Показано, что молекулярная адгезия (сцепление) между кварцевой подложкой и выросшим слоем α -GeO₂ не в состоянии предотвратить переход α -GeO₂ в β -GeO₂, но температуру этого перехода возможно повысить до 300–350 °С при введении в α -GeO₂ изоморфной примеси кремния (4–10 мас. %).

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЙ РОСТ МЕТАСТАБИЛЬНОГО ДИОКСИДА ГЕРМАНИЯ НА КВАРЦЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ И СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫРАЩЕННЫХ КРИСТАЛЛОВ

**Балицкий Д.В. (Деневр, Франция), Балицкий В.С., Балицкая Л.В.,
Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН)**

balvlad@iem.ac.ru, тел. 8 (496) 522 58 47

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-05-00976

В докладе приводятся новые экспериментальные данные по нахождению условий выращивания монокристаллов кварцеподобного диоксида германия ($\alpha\text{-GeO}_2$) в TP -области стабильного существования его рутилоподобной модификации. Показано, что подобные кристаллы могут быть выращены в чистой воде и слабоконцентрированных растворах электролитов путем эпитаксиального наращивания $\alpha\text{-GeO}_2$ на кварцевые подложки различной кристаллографической ориентации. Рост кристаллов осуществляется в модернизированных трехкамерных испарительно-рециркуляционных кристаллизаторах при температурах 120–140 °С и давлениях насыщенного пара. Выяснено влияние различных ростовых и физико-химических факторов на морфологию, степень совершенства и физические свойства выращенных кристаллов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕРМАНИЯ В КРИСТАЛЛАХ ВЫСОКОГЕРМАНИЕВОГО КВАРЦА (ВГК), ВЫРАЩЕННОГО В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 240 – 720°C И ДАВЛЕНИЯХ 5 – 150 МПа

Балицкий В.С., Сеткова Т.В., Балицкая Л.В., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)

balvlad@iem.ac.ru +74965225847

Работа поддержана РФФИ грант № 17-05-00976

Кристаллы ВГК являются новым перспективным монокристалльным пьезоэлектрическим материалом благодаря существенно более высоким, чем у обычного кварца, пьезоэлектрическим характеристиками. В докладе представлены новые экспериментальные данные, определяющие влияние различных ростовых (направление роста, размеры и форма затравок, скорости роста и т.п.) и физико-химических факторов (ТР-параметры, пересыщение, состав, концентрация растворов и т.д.) на захват и зонально-секториальное распределение примеси германия в выращенных кристаллах. Установлено, что наиболее существенное влияние на захват германия оказывает температура – от 1,5 – 2 мас. % при 240 – 300°C (давления 5 – 30 МПа) до 32 – 36 мас. % при 700 – 740 °C (давления 160 - 180 МПа). Затем следуют различные сектора роста гладких граней положительного $r\{10\bar{1}1\}$ и отрицательного $z\{0\bar{1}11\}$ ромбоэдров, и далее – шероховатых граней призмы – $x\{11\bar{2}0\}$, дипирамиды $s\{11\bar{2}1\}$ и базисного пинакоида $c\{0001\}$. Отличие в содержаниях GeO_2 в различных секторах роста одного и того же кристалла варьирует от 5 до 10 %.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРНИИТА $\text{Cu}_2\text{CdSnS}_4$ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)

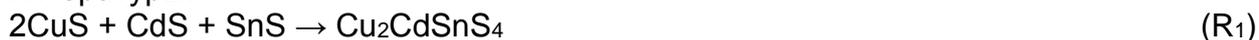
Баранов А.В. (МГУ, ИЭМ РАН), Столярова Т.А., Осадчий Е.Г., Бричкина Е.А. (ИЭМ РАН).

baranov.alex911@mail.ru, euo@iem.ac.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке 16-05-00700.

Черниит ($\text{Cu}_2\text{CdSnS}_4$) – сложный сульфид из группы станнина. Встречается крайне редко. Назван в честь канадского минералога доктора Черны. Кристаллизуется в тетрагональной сингонии. Пространственная группа I-42m. Образует мелкие зёрна размеров до 200 мкм. Первоначально был найден в пегматитовом руднике Танко (Канада). Встречается в редкометалльных гранитных пегматитах. Образует ассоциации с кестеритом и станнином.

В литературе нет термодинамической информации по данному минералу, что делает невозможными исследования равновесий с его участием. В настоящей работе стандартная энтальпия образования черниита была определена экспериментально калориметрическим методом с помощью автоматизированного вакуумно-блочного калориметра, разработанного в ИЭМ РАН. Калориметр предназначен для прямого определения теплоты реакции, проходящей в калориметрическом сосуде (бомбе). Ввиду невозможности синтеза черниита напрямую из элементов (избыточное давление паров серы может привести к разрушению ампулы), изучалась реакция (R_1) его образования из простых сульфидов (CuS , CdS , SnS), стандартные энтальпии которых известны из литературы:



По результатам измерений в 4-х экспериментах среднее значение энтальпии реакции R_1 получилось равным $-(60.08 \pm 1.3)$ кДж·моль⁻¹. Стандартная энтальпия образования черниита согласно реакции (R_1) определяется следующим образом:

$$\Delta_r H_{298.15}^0 = \Delta_{R_1} H_{298.15}^0 + 2\Delta_r H_{298.15}^0(\text{CuS}) + \Delta_r H_{298.15}^0(\text{SnS}) + \Delta_r H_{298.15}^0(\text{CdS}).$$

Используя заранее известные справочные величины стандартных энтальпий образования простых сульфидов (Robbie, Hemingway, 1995), получаем следующее значение стандартной энтальпии образования черниита из элементов:

$$\Delta_r H_{298.15}^0(\text{Cu}_2\text{CdSnS}_4) = -(432.68 \pm 4.52) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

УТОЧНЕНИЕ СПИРАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ ГАЛАКТИКИ ПО МЕТЕОРИТНЫМ И ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН)

azary@mail.ru факс: (499) 135-54-65, тел: (499) 135-54-67

Спиральные галактики, как правило, имеют четыре или меньшее число логарифмических рукавов, которые могут отличаться длиной и степенью закрученности спиралей. Недавно считали, что у Галактики имеются лишь два рукава (Марочник, Сучков 1984). В настоящее время принята модель Галактики с четырьмя одинаковыми рукавами (Vallee, 2002). Однако остается открытым вопрос, так ли уж одинаковы у нашей Галактики спиральные рукава.

На этот вопрос позволяет ответить галактическая модель геологической цикличности (Баренбаум, 2010), опирающаяся на данные геологии и метеоритики. Модель однозначно связывает времена главных событий в истории Земли и Солнечной системы с воздействиями Галактики в периоды пересечения Солнцем галактических рукавов. Результаты расчета приводят к выводу, что разные рукава Галактики не вполне одинаковы. Установлено, что оба главных цикла образования Солнечной системы и вендско-кембрийский «взрыв жизни» на нашей планете произошли в спиральном рукаве Crux–Scutum. Геологические факты также свидетельствуют, что этот рукав, возможно, обладает большей шириной, чем три другие.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБИДА ЖЕЛЕЗА С СУЛЬФИДАМИ, ОКСИДАМИ И СИЛИКАТАМИ ПРИ P,T-ПАРАМЕТРАХ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ

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

bataleva@igm.nsc.ru, тел.: 8 (383) 330 80 43

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16–35–60024), а также в рамках государственного задания (проект № 0330–2016–0007).

В условиях восстановленной мантии карбид железа является одним из потенциальных концентраторов углерода в процессах природного образования графита и алмаза. Экспериментальное моделирование углерод-продуцирующих реакций с участием когенита, сульфидов, оксидов и силикатов проведено на аппаратуре БАРС, при 6,3 ГПа, в интервале 900 – 1600°C, и длительностях 18-40 часов. Установлено, что в ходе взаимодействия когенита с сульфидным расплавом происходят экстракция углерода и железа из карбида и формирование преимущественно металл-сульфидного расплава с растворенным углеродом (~Fe₇₈Ni₆S₁₁C₅), являющегося средой кристаллизации углеродных фаз. Продемонстрировано, что взаимодействие когенита с минералами силикатной мантии, наиболее вероятно, осуществляется при участии окисленного флюида, и приводит к формированию графита (росту алмаза) в ассоциации с Fe-силикатами, Fe-оксидами и расплавом Fe-C-O. Полученные результаты позволяют рассматривать когенит в качестве потенциального источника углерода в процессах кристаллизации графита и алмаза в условиях литосферной мантии, а взаимодействия карбида железа с сульфидами, оксидами и силикатами, в ходе которых реализуется экстракция углерода - как возможные процессы глобального углеродного цикла.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОНДРИТОВОЙ СТРУКТУРЫ.

Безмен Н.И., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН), Зиновьева Н.Г. (геол.ф-т. МГУ)
bezmen@iem.ac.ru тел.: 8 (496) 522 31 43

Хондритовая структура метеоритов представляет собой агрегат овальных силикатных стекол (хондр), занимающих около 70-90 % объема метеорита, помещенных в матрицу, обогащенную углеродом, металлическим железом, сульфидом и алюмосиликатным стеклом. Хондры имеют практически одинаковый размер (0.5-2 мм), что свидетельствует об их происхождении в одинаковой среде, которая определяла коэффициент поверхностного натяжения силикатных капель. Такой средой, по-видимому, является флюид системы С-О-Н-S, плотность которого была достаточна для седиментационного образования силикатных капель на ранних этапах формирования Солнечной системы. В литературе существует большое количество гипотез происхождения хондритовой структуры метеоритов (более 30). Однако экспериментальные исследования почти полностью отсутствуют. Опыты были проведены при температуре 1250°C и давлении 500 атм., при контролируемой мольной долей водорода $X_{H_2} = 0.9$ и 0.7 во флюиде системы С-О-Н-S и содержании флюидов, соответствующих космической распространенности. В результате была получена хондритовая структура в виде силикатных каплеобразных стекол, помещенных в силикатную матрицу, обогащенную металлом, сульфидом и углеродом. Мы предполагаем, что в более окисленных условиях будут получены хондритовые структуры, соответствующие обыкновенным хондритам.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОБЪЁМНОЦЕНТРИРОВАННОГО КУБИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА И ЕГО ВЯЗКОСТЬ В УСЛОВИЯХ ТВЁРДОГО ЯДРА ЗЕМЛИ

Белоножко А. Б. (Королевское высшее техническое училище КТН)

anatoly@kth.se; тел.: +46734088708

Поддержка: Шведский Научный Совет, гранты 2013-5767 и 2017-03744
"Минеральная физика ядра Земли"

Земное твердое внутреннее ядро в основном железо, поэтому вопрос - какова структура железа во внутреннем ядре Земли - имеет центральное значение для нашего понимания ядра. Стабильная фаза железа в ядре до сих пор неизвестна. В настоящее время рассматриваются два основных кандидата - гексагональная и кубическая (ОЦК) фазы. В этой работе демонстрируется устойчивость ОЦК-фазы в условиях центра ядра. Этот результат получен из первых принципов методом молекулярной динамики. ОЦК-фаза стабилизируется обнаруженным уникальным механизмом диффузии, в основе которого лежит низкотемпературная динамическая неустойчивость ОЦК-фазы. По-видимому, ОЦК-фаза уже наблюдалась в недавних экспериментах, однако экспериментальные данные были неверно истолкованы. Диффузия атомов железа в твердом состоянии совершенно уникальна и позволяет объяснить как анизотропию, так и низкий модуль сдвига внутреннего ядра. Твердое внутреннее ядро является сильно диссипативной средой. Это свойство ядра противоречит общепринятой гипотезе устойчивости гексагональной плотноупакованной фазы в условиях внутреннего ядра, поскольку звуковые волны распространяются через гексагональную фазу без диссипации энергии. ОЦК-фаза железа значительно менее эластична, чем фаза ГПУ. Будучи кристаллической фазой, ОЦК железо обладает вязкостью, близкой к вязкости жидкого железа. Затухание сейсмического сигнала обусловлено уникальной диффузионной характеристикой ОЦК-фазы.

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ КАРБОНАТА КАЛИЯ В ИНТЕРВАЛЕ ДАВЛЕНИЙ 0-7 ГПА

Бехтенова А.Е. (ГГФ НГУ), Гаврюшкин П.Н., Лихачева А.Ю., Ращенко С.В., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН)

bekhtenova@igm.nsc.ru тел.: 8 (913) 733 37 51

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-17-00609-П

В предыдущих исследованиях, мы показали, что при наличии небольшой примеси гидрокарбоната $K_2CO_3 \cdot 1.5H_2O$ в реактиве γ - K_2CO_3 последний претерпевает реконструктивный переход при давлении порядка 3 ГПа и температуре 300 К. В настоящей работе мы провели исследования с «сухим» образцом γ - K_2CO_3 в ячейке с алмазными наковальнями с использованием синхротронного излучения. На основании рентгеновских дифракционных спектров, было показано, что в случае сухого образца никаких реконструктивных изменений с γ - K_2CO_3 в интервале давлений 0-7 ГПа и комнатной температуре не происходит. При снижении давления изменения дифракционных спектров зафиксировано не было, в то время как при наличии гидратированной фазы наблюдалась аморфизация.

Также было исследовано поведение карбоната калия методом рамановской спектроскопии. Зарядка алмазной ячейки производилась на воздухе, что обуславливает наличие небольшого количества гидратированной фазы $K_2CO_3 \cdot 1.5H_2O$ в исходном образце. На снятых спектрах присутствует четыре фундаментальных колебательных моды CO_3^{2-} -ионов: симметричные валентные колебания (ν_1) 1059-1062 cm^{-1} ; колебания вне плоскости (ν_2) около 800 cm^{-1} , асимметричные валентные колебания (ν_3) 1422–1436 cm^{-1} ; колебания в плоскости (ν_4) 674–698 cm^{-1} . Отчетливо видно большое число линий смещения в диапазоне низких волновых чисел: менее 300 cm^{-1} , которые представляют внутренние колебательные моды. Изменение спектров происходит при сжатии до 6,4 ГПа и сопровождается появлением пика 1053 cm^{-1} в области симметричных валентных колебаний. При декомпрессии до 0,5 ГПа этот пик исчезает.

ХРОМСОДЕРЖАЩИЙ РИНГВУДИТ С ОБРАЩЕННОЙ СТРУКТУРОЙ: РАЗВИТИЕ МОДЕЛИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВЫСОКОБАРНЫХ ХРОМИТИТОВ

Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Сироткина Е.А. (ГЕОХИ РАН), Бинди Л. (Университет Флоренции, Италия), Ирифуне Т. (Университет Эхиме, Мацуяма, Япония),

archi@geol.msu.ru тел.84959394929
Поддержка: РФФИ (грант № 17-17-01169)

Впервые в мировой практике при 20 ГПа 1600°C) в системе Mg_2SiO_4 – $MgCr_2O_4$ синтезирован хромсодержащий (4,23 мас. % Cr_2O_3) рингвудит с обращенной структурой. В полученной фазе Si входит в октаэдр, а Mg разупорядечно заселяет октаэдры и тетраэдры. Ранее рингвудит со структурой обращенной шпинели был обнаружен в хромититах из офиолитов района Luobusa (Тибет, Китай). Согласно существующим представлениям, хромититы, первоначально образовавшиеся на небольших глубинах, были затем погружены в область переходной зоны (410–660 км). Одним из нерешенных вопросов этой модели является установление фазы, за счет которой формируется высокобарическая модификация $(Mg,Fe)_2SiO_4$. В качестве такой фазы предполагается антигорит, близкий по составу рингвудиту из хромититов, однако в случае обращенной структуры эта фаза должна изначально содержать существенную долю Si в октаэдрической координации. Результаты проведенных исследований позволяют предполагать, что обращенный рингвудит мог образоваться за счет фазы $Mg(Mg,Cr,Si)_2O_4$ с искаженной ромбической структурой титаната кальция, полученной нами ранее при 13–18 ГПа в системе Mg_2SiO_4 – $MgCr_2O_4$.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАДЖАЛЬСКОГО РАЙОНА (ПРИМОРЬЕ, РОССИЯ)

Бортников Н.С (ИГЕМ РАН), Кряжев С.Г (ЦНИГРИ), Гореликова Н.В (ИГЕМ РАН), Смирнов С.З. (ИГМ СО РАН), Гоневчук В.Г., Семеняк Б.И. (ДВГИ ДВО РАН), Дубинина Е.О. (ИГЕМ РАН), Е.Н. Соколова Е.Н. (ИГМ СО РАН)

bns@igem.ru, ngor@igem.ru: 8(905)728 79 25

На основе анализа расплавных, флюидно-расплавных и флюидных включений и изотопов кислорода в кварце гранитоидов Урмийского массива Баджальской вулcano-плутонической зоны и в минералах из руд сопряженных оловорудных месторождений прослежена эволюция рудообразующего флюида от магматической к гидротермальной стадии. Установлено, что отделение относительно плотного (0.6 г/см^3) надкритического водно-солевого флюида (9-19% NaCl-экв., 0.72Na, 0.16K, 0.09Ca, 0.03Mg / 0.93Cl 0.07F, $x\text{CO}_2 \approx x\text{CH}_4$) происходило при температурах 650-600°C и давлении 1.2 кбар при кристаллизации умеренно фтористых и мета- и высокоглиноземистых кислых расплавов с высокими содержаниями воды (до 8 мас.%), хлора (~0.15 мас.%) и фтора (~0.4 мас.%). Формирование руд Право-Урмийского месторождения протекало в процессе снижения температуры выделившегося магматогенного флюида до ~550-500°C (грейзенизация) и 480-380°C (кристаллизация касситерита в парагенезисе с топазом и кварцем). Касситерит-кварцевые жилы месторождения Ближнее сформировались при 420-340°C из раствора близкого состава, но в условиях его гетерогенизации при давлении около 0.2 кбар. Полученные значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 8.5\text{‰}$ указывают на генетическую связь оловорудной минерализации с гранитами Урмийского батолита.

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МАЛАХИТА В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА В ЗАКРЫТОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

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

tmb@iem.ac.ru тел.: 8(496) 522 58 47

Изучено внутреннее строение синтетического малахита, выращенного в ИЭМ РАН в рециркуляционных кристаллизаторах закрытого типа. В качестве растворителя использовали аммиачные медно-карбонатные растворы. Продолжительность опытов составляла 20 – 25 суток. Термобарические параметры процесса периодически изменяли, что позволило получить малахит с хорошо выраженной, контрастной цветовой зональностью. Детали строения полученных образцов изучены с помощью цифрового сканирующего микроскопа Tescan Vega II XMU (s.r.o. Tescan). Было установлено, что на границе раздела цветных слоев малахита возникают зоны высокой пористости с соответственно меньшей плотностью. Такой эффект является следствием повышения температуры в кристаллизационной камере, что приводит к возрастанию интенсивности процесса тепло- и массопереноса, увеличению скорости отложения вещества, и как следствие этого – к образованию микро- и макро- пор и захвату маточного раствора.

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ НЕФТИ.

Бугаев И.А. (ГЕОХИ РАН, Сколтех), Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Сидкина Е.С. (ГЕОХИ РАН), Калмыков Г.А., Калмыков А.Г. (геол. ф-т МГУ).
Проект РФФИ 18-05-00818

События, связанные со стремительным ростом добычи нефти и газа из низкопроницаемых нефтегазоматеринских сланцевых толщ, в последнее десятилетие получили название «сланцевая революция». В течение одного десятилетия усилиями ученых, инженеров, технологов, бизнесменов были внедрены новые технологии и заработали месторождения (плеи) в низкопроницаемых породах. Дополнительным ресурсом при разработке сланцевой нефти является получение синтетической нефти при термальном воздействии. В ходе проведения эксперимента был показан способ получения синтетической нефти из пород баженовской свиты (БС) при гидротермальных условиях. При этом важной характеристикой количественно выделившейся нефти является состав минеральной матрицы породы и степень преобразованности керогена. Породы БС характеризуются высоким содержанием углеводородов в пустотном пространстве. Выполняется детальная характеристика петрофизических свойств пород баженовской свиты с проведением сравнительного анализа полученных результатов при различном насыщении пустотного пространства горных пород. Используя современные способы изучения керна, зная минеральный состав и степень преобразованности керогена и опираясь на экспериментальные данные по извлечению синтетической нефти при гидротермальном воздействии можно получить прогнозные ресурсы на исследуемой площади при разработке месторождения.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ПО ИЗОТОПНОМУ СОСТАВУ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ (N₂, CO₂, Ar) В КАРБОНАТИТАХ МАССИВА ЕССЕЙ (ЮЖНАЯ ГРАНИЦА МАЙМЕЧА КОТУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ)

Буйкин А.И., Асавин А.М. (ГЕОХИ РАН), Верховский А.Б. (Открытый Университет, Англия)

Работа проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-05-00974а

Исследованы вариации изотопного состава и соотношения C, Ar, N₂ во флюидных включениях в образце неизменного фоскорита (магнетитолита) из массива Ессей, расположенного на южной границе Маймеча Котуйской провинции (север Сибирской платформы). Образец почти на 80% состоит из магнетита с примесью апатита. Выделение газов проводилось методом ступенчатого дробления. Изотопный анализ выполнен на высокочувствительном масс-спектрометрическом комплексе Finnesse в Открытом университете (Англия). Первые данные показали, что флюидные включения захватили значительное количество практически неконтаминированного мантийного аргона (отношение ⁴⁰Ar/³⁶Ar в ступенях дробления достигает 5166±118 при среднем значении 3874±84). Содержание азота - 90 нг. Изотопный состав (δ¹⁵N = 4.3±0.2 ‰) попадает в диапазон значений, характерных для континентальных карбонатитов. Низкое содержание углерода, (лишь 30 нг), говорит о фактическом отсутствии CO₂ во флюиде. Практически полное совпадение изотопной метки аргона с отношением ⁴⁰Ar/³⁶Ar в мантийном источнике фоскорита Гулинского массива, находящегося на противоположном краю магматической провинции, может говорить о гомогенном составе мантийного флюида в пределах Маймеча Котуйской магматической провинции на этапе формирования пород фоскоритовой группы.

РАСЧЁТ ЭНТАЛЬПИИ СИЛИКАТНОГО РАСПЛАВА ПРОИЗВОЛЬНОГО СОСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРАВНЕНИЯ КИРХГОФА.

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

dmibychkov@gmail.com тел.: 8 (495) 939 49 16

На основе уравнения Кирхгофа был разработан метод расчёта энтальпии силикатного расплава произвольного состава с учётом скрытой теплоты плавления. Для достижения этой цели были решены две задачи: пересмотр коэффициентов уравнения теплоёмкости силикатного расплава; определение парциальных мольных энтальпий образования компонентов расплава из элементов в стандартном состоянии. Неопределённость при расчёте теплоёмкости силикатного расплава с использованием предлагаемого набора коэффициентов при уровне значимости 95% не превышает $\pm 0,7$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹. Установлена слабая, но статистически значимая температурная зависимость теплоёмкости.

Энтальпии расплавов, рассчитанные с использованием предложенного метода, согласуются со значениями, полученными другими независимыми методами. Значение ошибки при вычислении на уровне значимости 95% не превышает $\pm 2\%$ относительных.

ПРИРОДНЫЙ КУСПИДИН: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ И ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ

**Вигасина М.Ф., Огородова Л.П., Кононов О.В., Кошлякова Н. Н.
Ксенофонтов Д.А., Ханин Д.А., Щербаков В.Д., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)**

logor@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Изучен куспидин (фтордиортосиликат кальция $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$) из молибдено-вольфрамового месторождения (Тырны-Ауз, Кабардино-Балкария, Россия). Термодинамическое моделирование условий образования и полей стабильности куспидина в природе требует его надежных термодинамических констант. Выполнены диагностические исследования минерала методами рентгеноспектрального, рентгенографического, термического анализов, инфракрасной спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния. На основании проведенного на микрокалориметре Кальве методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения исследования природного куспидина получено значение энтальпии его образования из элементов ($\Delta_f H^\circ_{\text{el}}(298.15 \text{ K}) = - 5190 \pm 13 \text{ кДж/моль}$). Оценены значения стандартной энтропии ($S^\circ(298.15 \text{ K}) = 279.5 \pm 2.9 \text{ Дж/(K}\cdot\text{моль)}$) и энергии Гиббса образования ($\Delta_f G^\circ_{\text{el}}(298.15 \text{ K}) = - 4936 \pm 13 \text{ кДж/моль}$). Полученные результаты расширяют существующую базу данных по фундаментальным термодинамическим константам минералов, необходимым для построения полей устойчивости, расчетов условий равновесия минеральных фаз, определения P - T условий образования парагенетических ассоциаций.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ НОВЫХ ФОСФАТОВ МЕДИ.

Волков А.С., Димитрова О.В., Ямнова Н.А., Гурбанова О.А. (геол. ф-т МГУ), Аксенов С.М (ФНИЦ).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-03-00886а).

Основное разнообразие природных фосфатов приурочено к пегматитам, поэтому гидротермальный метод является оптимальным для изучения особенностей кристаллизации природных фосфатов. Получены металлофосфатных каркасных материалов представляет интерес из-за их потенциальных прикладных свойств, так медьсодержащие соединения, часто демонстрируют необычные магнитные свойства, так же могут быть использованы в окислительно-восстановительном катализе. Исследование гидротермальных систем приближенных по составу минерализаторов к природным позволяет расширить представления о минералах как о прототипах перспективных материалов, а изучение фазообразования в искусственных системах, помогает понять механизм роста кристаллов в природных растворах при повышенных температурах и давлениях. Целью работы является гидротермальный синтез фосфатных кальций-медных соединений, а также выявление роли минерализаторов на их кристаллизацию. Синтез кристаллов проводился при температуре 690-700 К и давлении 480-500 атм. Получены новые фазы: $Rb_2Ca\{Cu_6O_2(PO_4)_4\}$ – аналог щуровскиита и $BaCaCu(PO_4)_2 \cdot nH_2O$. Выявлена ключевая роль влияния минерализаторов приближенных по составу к природным на кристаллизацию новых фосфатных соединений.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НОВЫХ ФАЗ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ Fe_7N_3

Гаврюшкин П. Н., Сагатов Н.Е., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН)

gavryushkin@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-17-01177

На основе теории функционала плотности в базисе плоских волн, с использованием программного пакета VASP проведено исследование структуры и свойств высокобарических фаз нитрида железа Fe_7N_3 в интервале давлений 50-150 ГПа. Также с помощью эволюционных алгоритмов, имплементированных в коде USPEX, предсказана новая высокобарическая фаза $Amm2-Fe_7N_3$. Для $\epsilon-Fe_7N_3$ структурная модель создавалась на основе суперячейки $1 \times 1 \times 7$ $\epsilon-Fe$ со случайным распределением атомов азота по октаэдрическим позициям. Структурная модель, другой высокобарической фазы, $\beta-Fe_7N_3$, была создана на основе предположения об её изоструктурности гексагональной фазе Fe_7C_3 , что подтверждено экспериментом. Были рассчитаны следующие интервалы устойчивости высокобарических модификаций (при 0 К): для ϵ -фаза – 0 - 43 ГПа, для $Amm2$ -фаза – 43-128 ГПа; для β -фаза – выше 128 ГПа. Для всех модификаций (ϵ -, β -, $Amm2$ -) Fe_7N_3 рассчитаны упругие свойства и уравнения состояния для магнитных и немагнитных фаз. Показан переход из магнитного состояния в немагнитное: для $Amm2$ -фаза при ~ 30 ГПа, для ϵ - и β - фаз – при ~ 100 ГПа. Проведено сравнение экспериментальной и теоретической зависимости объема от давления для ϵ - и β - фаз. Для ϵ -фаза, устойчивой при высоких давлениях, разница объемов магнитной и немагнитной фаз незначительны, и обе кривые корректно воспроизводят экспериментальные данные. В случае ϵ -фаза, устойчивой на низких давлениях, разница объемов магнитной и немагнитной фаз существенна, и магнитная фаза лучше описывает экспериментальные данные.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ РАСПЛАВАМИ И МИНЕРАЛАМИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОСАДОК-ПЕРИДОТИТ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА.

Гирнис А.В. (ИГЕМ РАН), Булатов В.К. (ГЕОХИ РАН), Вудланд А., Брай Г.П., Гердес А. (Университет им. И.-В. Гете, Франкфурт на Майне, Германия)

girnisk@igem.ru, тел.: 8(499) 230 84 15

Изучено распределение элементов между кристаллическим реститом и расплавом, образующимся при взаимодействии модельного осадка, содержащего H₂O и CO₂, с гранатовым гарцбургитом при 7.5–10.5 ГПа в термоградиентных условиях. Содержания главных элементов в расплаве меняются в зависимости от температур в холодной и горячей зонах образца. Распределение редких элементов контролируется давлением, температурой и составом минеральной ассоциации. При низких температурах в осадке (<700°C) Ba, Rb, Sr и Li более подвижны, чем REE и HFSE, что проявляется в высоких отношениях Ba/La, Ba/Nb, Sr/Nb в надкритическом флюиде. При более высоких температурах расплав обогащается Ba, Rb, Sr, LREE и U относительно Ti и HREE. Отрицательные Nb–Ta и Zr–Hf аномалии в расплавах объясняются сохранением рутила, циркона и минералов группы гумита в рестите. Главный фактор, влияющий на поведение редких элементов — инфильтрация расплава, образующегося в осадочном материале, через перидотит. Термодиффузия может влиять на отношения наиболее некогерентных элементов (например, Ta/La). Рассмотрено применение полученных экспериментальных результатов для объяснения геохимических характеристик субдукционных магм.

ПЛАВЛЕНИЕ H₂O-СОДЕРЖАЩЕГО ПЕРИДОТИТА И ЭКЛОГИТА ПРИ T=1100-1300°C, P=4 ГПА: ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И КРИТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ.

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

gor@iem.ac.ru тел.: (8-49652) 44-425
Поддержка грант РФФИ - 17-05-00930

Для оценки влияния состава H₂O-содержащей верхней мантии на плавление, фазовый состав и критические соотношения между силикатным расплавом и водным флюидом системы перидотит-H₂O (ПН) и эклогит- H₂O (ЭН) экспериментально изучены при T=1100–1300°C, P=4 ГПа. Эксперименты проводили в ИЭМ РАН на установке НЛ_10 с использованием Au, Au-Pd и ожелезненных Pt_ампул. Исходными веществами служили Grt_перидотит из ксенолита кимберлитовой трубки Обнаженная (Якутия), толеитовый базальт СТ-1, химический аналог Сибирского траппа и дистиллированная H₂O. Соотношение силикат-H₂O порядка 0.4–0.6. Длительность эксперимента 6- 8 ч.

В ПН системе закалочные образцы характеризовались аномальным строением и фазовым составом. Главная их особенность – дезинтеграция, отсутствие межзернового силикатного стекла -- закаленного силикатного расплава, образующегося при частичном плавлении перидотита. Закалочный материал представлен спрессованным микрозернистым порошком, состоящим из изолированных выделений или сростков реликтов ликвидусных минералов перидотита Ol, Орх, Срх состава. Отдельные фрагменты характеризовались “брекчиевидной” текстурой, образованной включениями реликтов Ol в Grt-Срх_матрице. Силикатное стекло встречалось в виде изолированных микроглобуль. В ЭН системе закалочные образцы характеризовались массивной структурой, обусловленной тем, что силикатное стекло - закалочный силикатный расплав, локализованное в промежутках между ликвидусными фазами Срх-Grt состава, цементировали образец.

Аномальное строение и фазовый состав закалочных образцов ПН системы свидетельствует о существовании критических соотношений между силикатным расплавом и водным флюидом. Строение и фазовый состав закалочных образцов ЭН системы свидетельствуют об отсутствии критических соотношений между силикатным расплавом и водным флюидом. Существование или отсутствие критических соотношений скорее всего связано с особенностями состава расплавов.

ЭКЛОГИТИЗАЦИЯ ПЕРИДОТИТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НАДКРИТИЧЕСКИМИ ФЛЮИДОРАСПЛАВАМИ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)

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

gor@iem.ac.ru тел.: (8-49652) 44-425
Поддержка грант РФФИ - 17-05-00930

При $P=4.0$ ГПа, $T=1000-1300^{\circ}\text{C}$ изучены фазовые соотношения при частичном плавлении системы перидотит- H_2O . Эксперименты проводили в ИЭМ РАН на установке НЛ_10 с использованием Au, Au-Pd и ожелезненных Pt_ампул. Исходными веществами служили Grt_перидотит из ксенолита кимберлитовой трубки Обнаженная (Якутия) и дистиллированная H_2O . Соотношение силикат- H_2O порядка 0.4–0.6. Длительность эксперимента 6- 8 ч.

Особенности текстуры закалочных образцов, низкая их добротность, отсутствие межзернового закалочного стекла свидетельствуют о существовании критических соотношений между парциальными расплавами и водным флюидом. Наблюдается замещение перидотитовой ассоциации Ol+Orx эклогитовой Grt+Crх. Эклогитизация перидотита при взаимодействии с надкритическими флюидорасплавами может служить эффективным механизмом преодоления «эклогитового» барьера, объясняющая эклогитовый «парадокс» - совместное существование перидотитового и эклогитового парагенезисов во включениях в алмазах. Близосолидусные ($T=1000-1100^{\circ}\text{C}$) сверхкритические флюидорасплавы обогащены микроэлементами. Все это указывает на их высокую экстрагирующую и реакционную способность.

Из результатов экспериментов следует, что во флюидсодержащей мантии (астеносфере, мантийном клине над зонами субдукции, плюмах) при $P \geq 3.8$ ГПа могут существовать области частичного плавления, содержащие сверхкритические флюидорасплавы, а ограниченность по давлению области существования критических соотношений расплав-флюид – о существовании вертикальной зональности. Дезинтеграция образцов при надкритических давлениях может приводить к формированию тектонически ослабленных зон, путей движения флюидов и верхнемантийных плюмов.

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛИКАТНОГО РАСПЛАВА И КОНТРАСТНОГО ПО СОСТАВУ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

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

engramen@geol.msu.ru 8(495)9392040, YanaAlf@ya.ru тел.8(495)9392040, t-shchekina@mail.ru тел. (915)1846413

В результате взаимодействия кристаллического материала (горных пород и различных огнеупоров) с расплавами образуются реакционные колонки, обладающие основными свойствами диффузионной метасоматической зональности. Основным их отличием от метасоматических колонок является формирование в тыловых зонах нового реакционного расплава. Наиболее точное название процесса – «расплавное замещение». Механизм расплавного замещения применим к природным реакционным процессам взаимодействия магмы с вмещающими породами (например, процесс гранитизации) и к ряду производств (черная и цветная металлургия, стекольная промышленность и другие силикатные технологии) при взаимодействии огнеупоров с расплавами.

Общность полученных закономерностей в разных условиях и при разном составе системы, а также развитие процесса во времени, особенности появления расплава и изменения его состава по зонам реакционных колонок позволяют говорить о возможности использования промышленных процессов в качестве моделей, описывающих взаимодействие пород и расплавов в геологических магматических объектах.

ПРИРОДНЫЕ МЕЛИЛИТЫ: РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ, ИК- И КР-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

ygritsenko@rambler.ru тел.: 8 (495) 939 4964

Мелилиты – группа порообразующих островных диортосиликатов, включающая твёрдые растворы геленит – окерманит - алюмоокерманит. Исследовано три образца мелилитов из щелочных ультраосновных массивов: Ковдор (Кольский полуостров) (обр. I), Турий Мыс (Карелия) (обр. II), Одихинча (Красноярский край) (обр. III) и один образец из скарнов Везувиановой горки (Азербайджан) (обр. IV). На основании результатов рентгеноспектрального анализа (“Camebax-microbeam” с энергодисперсионным Si(Li)-детектором и системой анализа INCA Energy Oxford) рассчитаны следующие формулы: $(Ca_{1.8}Na_{0.2})(Mg_{0.7}Al_{0.2}Fe^{2+}_{0.1})Si_2O_7$ (обр. I), $(Ca_{1.6}Na_{0.4})(Mg_{0.5}Al_{0.4}Fe^{2+}_{0.1})Si_2O_7$ (обр. II), $(Ca_{1.6}Na_{0.4})(Mg_{0.4}Al_{0.4}Fe^{2+}_{0.2})Si_2O_7$ (обр. III), $Ca_{2.0}(Mg_{0.4}Al_{0.6})[Si_{1.4}Al_{0.6}O_7]$ (обр. IV). По составу образцы (I–III) относятся к окерманиту с последовательным увеличением алюмоокерманитового минала, образец (IV) – к гелениту. Спектры ИК-поглощения (фурье-спектрометр “ФСМ-1201”) и спектры комбинационного рассеяния (рамановский микроскоп “EnSpector R532”) исследованных природных также показали, что образцы (I–III) можно отнести к окерманиту, а образец (IV) – к гелениту. Спектроскопические исследования подтвердили мономинеральность изученных образцов. Полученные рентгendifракционные спектры (“STOE-STADI MP”) мелилитов согласуются с данными ICDD (2013) и RRUFF. Определены параметры элементарных ячеек изученных минералов.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКЕРМАНИТА.

Гриценко Ю.Д., Ладыгин В.М. (геол. ф-т МГУ)

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

Окерманит – важный породообразующий минерал щелочных ультраосновных массивов, карбонатитов, их эффузивных аналогов и скарнов. Он также образует практически мономинеральные породы – мелилитолиты. Щелочные ультраосновные массивы являются важным источником стратегических металлов. Определение петрофизических свойств окерманита важно не только для технологических целей, но и для изучения глубинного строения сложенных им массивов. Изучен образец из пегматоидных жил Ковдорского массива, представляющий собой полупрозрачный монокристалл коричневатого-серого цвета, размером 12x15x10 см, с видимыми плоскостями спайности. Изученный окерманит отвечает формуле $(Ca_{1.8}Na_{0.2})(Mg_{0.7}Al_{0.2}Fe^{2+}_{0.1})Si_2O_7$, содержит (г/т): Cr – 67, V – 10, Co – 17, Ni – 62, Zn – 2218, Sr – 2218, Ba – 126. Измеренная скорость продольных и поперечных волн ниже расчетных значений для идеальных кристаллов окерманита и составляет 5,5 и 2,9 км/с соответственно, что может быть связано с трещиноватостью по спайности. Также спайность снижает прочность на одноосное сжатие (101 МПа). Низкая пористость (0.3 %) связана, вероятно, с тем, что изученный образец является монокристаллом. Магнитная восприимчивость различна для разных сторон исследуемого образца $(2.5–12.4) \cdot 10^{-6}$ (в системе СИ).

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ РТУТИ В БИОСФЕРЕ

Данилова В.Н., Хушвахтова С.Д., Ермаков В.В. (ГЕОХИ РАН), Остроумов С.А. (биол. Ф-т МГУ)

val1910@mail.ru тел.: 8(499)137-47-73

Познание поведения ртути в земной коре и биосфере не ослабевает и имеет не только научное, но и практическое значение. Актуальность оценки циклов миграции ртути связана как с высокой токсичностью и широтой действия ее соединений, так и с трансформацией до чрезвычайно ядовитой метилртути. Современные процессы выветривания и почвообразования в биосфере способствуют аккумуляции ртути.

С целью выявления особенностей миграции ртути в биогеоценозах получены данные по уровню содержания ртути в почвах, макромицетах и гидробионтах (мягких тканях и раковинах двустворчатых моллюсков) Москвы и Московской области.

Исследования показали, что для некоторых грибов характерно селективное поглощение ртути, несмотря на низкие концентрации элемента в среде. Прежде всего, это касается гриба зонтика большого (*Lepiota procera* (Fr.ex.Seop.) Quel), отдельные экземпляры которого накапливают ртуть до 5400 мкг/кг сырого вещества.

Кроме того, ртуть аккумулируется шампиньонами и луговыми опятами. Ряд видов грибов содержал как метилртутихлорид (ММХ), так и этилртутихлорид (ЭМХ).

Оценивалось также содержание ртути в моллюсках *Unio pictorum*. Средние содержания ртути в мягких тканях и раковинах моллюсков *Unio pictorum* не превышают допустимый уровень (0,2 мг/кг).

Данные о содержании ртути в макромицетах и гидробионтах важны для оценки их роли в мониторинге среды, который в свою очередь необходим для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

ИЗМЕНЕНИЕ СУБЛИКВИДУСНЫХ АССОЦИАЦИЙ В АНДЕЗИТОВОМ РАСПЛАВЕ ПРИ $P_{H_2O}=3$ КБ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ.

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

simakin@iem.ac.ru

В опытах, проводимых с водонасыщенным стеклом, наплавленным из природного андезита вулкана Шивелуч, в интервале температур $T=990-930^{\circ}\text{C}$, наблюдались минеральные ассоциации двух типов – ОI-Срх-Mt-gl, Hbl-Mt-gl и промежуточная разность Hbl-Срх-Mt-gl, как и на природных объектах (Иванов, 2008). В наших опытах показано, что смена ассоциаций может происходить в одном и том же опыте за короткие промежутки времени (десятки минут). Возможно, что появление оливина в краевых областях связано с локальным окислением железа в расплаве вблизи со стенками платиновых ампул. В субликвидусной области для расплавов с $f_{O_2} > QFM+2$, более стабильна ассоциация с оливином ОI-Срх-Mt-gl, а в менее окисленных f_{O_2} около QFM+2 происходит метастабильная кристаллизация роговой обманки с образованием парагенезиса Hbl-Mt-gl. Данные расчета по программе MELTS подтверждают, что в результате фракционной кристаллизации оливина, метастабильный ликвидус роговой обманки понижается на 30°C . Нуклеации амфибола не происходит, а в ассоциации с ОI кристаллизуется клинопироксен.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФОСФОР-СОДЕРЖАЩИХ
ФАЯЛИТОВ ЛУННЫХ МОРСКИХ БАЗАЛЬТОВ**

Демидова С.И., Бадеха К.А., Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-05-00695.

Редкие зерна фосфор-содержащего фаялита (< 0.4 мас.% P_2O_5) были обнаружены в позднем мезостазиесе фрагмента оливинового базальта лунного метеорита Dhofar 287, фрагменте железистой породы «Луны-16» и двух фрагментах оливиновых базальтов «Луны-24». Фаялит является распространенным продуктом поздней стадии кристаллизации морских базальтов. Моделирование равновесной и фракционной кристаллизации расплавов состава низкотитанистых (LT) базальтов метеорита Dhofar 287А и «Луны-16», а также очень низкотитанистых (VLT) базальтов «Луны-24» проводилось с помощью модифицированной версии программы МЕТЕОМОД (Ariskin et al, 1997). Было установлено, что равновесная кристаллизация не ведет к образованию фаялита, хотя на поздних этапах содержание P_2O_5 в расплаве может достигать 2-3 мас.%, тогда как фракционная кристаллизация на поздних этапах действительно приводит к образованию фаялита, остаточный расплав при этом может содержать до 1.5 мас.% P_2O_5 . При этом фаялит кристаллизуется при температуре 990-1030°C. Модельные расчеты показывают, что количество фаялита в LT и VLT базальтах не должно быть значительным.

ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ОБЕДНЕНИЯ ВОДОЙ АТМОСФЕР ЮПИТЕРА И САТУРНА

Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН), Макалкин А.Б. (ИФЗ РАН)

dorofeeva@geokhi.ru тел.: 8 (495) 939 70 60

Работа частично поддержана Программой 28 Президиума РАН, проект 1.1.1

Особенности состава атмосфер газовых планет-гигантов Юпитера и Сатурна во многом отражают условия в околосолнечном газопылевом протопланетном диске в первые миллионы лет его эволюции и потому изучение этих особенностей дает важную информацию о ранних этапах эволюции Солнечной системы в целом. В докладе будут изложены представления авторов о возможных механизмах обеднения водой атмосфер Юпитера и Сатурна при одновременном обогащении летучими элементами тяжелее неона (Ar, Kr, Xe, C, N, S, P), что было экспериментально установлено в ходе космических экспериментов «Pioneer-10, -11», «Voyager-1, -2» и «Galileo». Предлагаемый сценарий согласованно учитывает современные данные о потере газа из протопланетных дисков вокруг молодых звезд солнечного типа, модели эволюции термодинамических условий в дисках и модели образования планет-гигантов. Рассматриваемый механизм происхождения воды в атмосферах Юпитера и Сатурна позволяет объяснить ее существенный дефицит по сравнению с относительными содержаниями других летучих.

ОЦЕНКА МАССОВОЙ ДОЛИ ЛЬДА ВОДЫ В КАМЕННО-ЛЕДЯНЫХ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЯХ ПО КОСМОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Дорофеева В.А., Девина О.А. (ГЕОХИ РАН)

dorofeeva@geokhi.ru тел.: 8 (495) 939 70 60

Работа частично поддержана Программой 28 Президиума РАН, проект 1.1.1

Соотношение масс тугоплавкой компоненты и льда воды ($M_{\text{rock}}/M_{\text{ice}}$) в каменно-ледяных планетезималях, образовывавшихся в ранней Солнечной системе, является важнейшим параметром при построении моделей внутреннего строения спутников внешних планет, транснептуновых объектов, ядер комет. Значение этого параметра важно также при расчете времени аккумуляции ядер планет-гигантов и при построении моделей образования их атмосфер. Значение $M_{\text{rock}}/M_{\text{ice}}$ зависит от ряда космохимических данных, в частности от принятого соотношения элементов в протосолнечной небуле (солнечные обилия) и от основных форм их существования во внешнем регионе протопланетного газо-пылевого околосолнечного диска. В данной работе будут представлены численные оценки возможных интервалов значений $M_{\text{rock}}/M_{\text{ice}}$ и удельной плотности каменно-ледяных тел в зависимости от соотношения молекул CO и CO₂, а также доли углерода, заключенной в тугоплавких органических соединений в веществе диска. Расчеты основаны на современных наблюдательных данных и модельных оценках и сопоставлены с имеющимися литературными данными.

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В ЧАСТИЧНО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ТИТАНЕ ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ГИДРАТАЦИИ ХОНДРИТОВОГО ВЕЩЕСТВА.

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

dunaeva.an@gmail.com тел. 8-916-705-6405

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00685).

В работе ставится задача определения валового содержания воды в крупном ледяном спутнике Сатурна Титане. Обсуждается модель частично дифференцированного Титана, построенная на основе геофизической информации о массе, средней плотности и моменте инерции спутника, полученной в результате работы КА «Кассини-Гюйгенс» 2004-2017гг. Рассмотрены модели спутника, сложенного разным типом железосиликатного вещества, отвечающего составам обыкновенных (L/LL) и углистых (CI/CM) хондритов. Расчеты проводились в широком диапазоне значений моментов инерции Титана, при разной степени гидратации хондритового вещества. Для соблюдения условий эффективной конвекции в недифференцированных (каменно-ледяных) недрах спутника были приняты дополнительные ограничения на соотношение лед/порода в его каменно-ледяной мантии. На основе перечисленных ограничений, а также с привлечением данных по общей распространенности воды в Солнечной системе был проведен анализ полученных моделей Титана и предложены наиболее вероятные модели его внутреннего строения.

ВЕСЭМПГ-2018 - 045

**СИСТЕМА ИНКРЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЁТА СТАНДАРТНЫХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ МИНЕРАЛОВ КЛАССА
УРАНОВАНАДАТОВ**

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

На основе данных стандартных энергий Гиббса и энтальпий образования из элементов для некоторых синтетических аналогов минералов класса ванадатов уранила с использованием методов линейного программирования получены разложения величин термодинамических потенциалов этих соединений по составляющим их оксидам. Полученная система оксидных инкрементов использована для оценки стандартных термодинамических потенциалов минералов класса уранованадатов.

ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ БИОМАССЫ *Chlorella sp.* И
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ И
УГЛЕВОДОРОДНОЙ ФАЗОЙ

Ермина О.С., Стенников А.В., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)

oermina6@yandex.ru тел.: 8 (985) 728 36 71
РНФ 15-17-00010, РФФИ 18-05-00818

За последние годы было проведено множество работ по преобразованию водорослей различных типов в нефть. Изучались оптимальная температура гидротермального преобразования водорослей, влияние катализаторов, увеличение выхода нефти за счет увеличения скорости нагрева, а также сравнивались выходы нефти из разных видов водорослей. В нашем исследовании эксперименты проводились в титановых автоклавах при температуре 300°C и давлении насыщенного пара воды с биомассой *Chlorella sp.* продолжительностью от 1 до 28 суток. Результаты показали, что время взаимодействия влияет на состав углеводородной фазы: доля мальтенов увеличивается, а асфальтенов – снижается. Была проведена серия экспериментов с многоэлементным раствором для исследования распределения химических элементов между водным раствором и углеводородной фазой. Анализ содержания элементов в продуктах эксперимента показал, что Ni распределяется преимущественно в нефтяную фазу ($K_d=80$), Zn, Fe имеют коэффициент распределения, близкий к 1. Остальные исследованные элементы распределялись преимущественно в водную фазу. Эти результаты позволяют объяснить накопление никеля в природных нефтях.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ: СОПОСТАВЛЕНИЕ
РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ, ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Жариков А.В. (ИГЕМ РАН), Витовтова В.М. (ИЭМ РАН), Лебедев Е.Б. (ГЕОХИ РАН), Родкин М.В. (МИТП РАН)

vil@igem.ru (факс: +7(495)9511587, тел.: +7(499)2308440)

Экспериментальные результаты показывают, что под действием высоких температур и давлений проницаемость горных пород может изменяться на многие десятичные порядки. При одновременном увеличении температуры и давления, моделирующим *PT*-параметры континентальной коры, генеральной тенденцией является снижение проницаемости с глубиной. При *PT*-параметрах прогрессивного метаморфизма: высоких температурах и низких эффективных (высоких поровых) давлениях проницаемость, напротив, увеличивается.

Результаты петрологических исследований показывают как признаки длительных периодов низкой проницаемости горных пород, так и коротких отрезков высокой.

Концепция смены длинных периодов низкой проницаемости короткими высокой поддерживается сейсмическими данными. Оценки на основе скоростей систематического смещения гипоцентров землетрясений к поверхности Земли, которое рассматривается как результат распространения фронта волны флюидного давления, позволяют предположить возможность возникновения зон высокой проницаемости в нижней и средних частях континентальной коры.

МОДЕЛЬ СОХРАННОСТИ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ВРЕМЕНИ.

Зайцев В.А (ГЕОХИ РАН),

Va_zaitsev@inbox.ru тел.: 8 (495) 939 70 63

Распределение возрастов земных ударных кратеров близко к прямой линии в координатах плотность возрастов-время, если обе оси графика – логарифмические. При постоянстве интенсивности метеоритной бомбардировки за геологическое время это говорит о том, что вероятность сохранения кратера убывает во времени по закону вида $a \cdot t^{-b}$, где a и b – положительные.

Построена вероятностная модель, описывающая уничтожение единичного кратера процессами денудации в результате вертикальных тектонических движений, скомпенсированных процессами эрозии и аккумуляции. Параметры модели: начальная глубина кратера, предельная глубина перекрывающих отложений, при которой кратер считается обнаруживаемым, средняя квадратичная из скоростей вертикального движения, и время, для которого скорость вертикальных движений считается постоянной. При выборе геологически - реальных параметров, модель демонстрирует что большую часть времени вероятность обнаружения кратера, близка к степенной зависимости от его возраста.

**РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПИРОКСЕНАХ КОНТАЙСКОЙ ИНТРУЗИИ
(ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ)**

Зайцев В.А. Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН),

Va_zaitsev@inbox.ru тел.: 8 (495) 939 70 63

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 15-17-30019

В породах нижней зоны Контайской интрузии фиксируется две контрастные группы клинопироксенов: высоко-титанистые (1-1.2% TiO₂), и низкотитанистые, (0.2-0.6%) TiO₂. Полученные методом LA-ICP-MS спектры распределения обеих генераций имеют сходную форму, но низкотитанистые пироксены примерно в пять раз богаче REE, чем высокотитанистые и имеют более ярко выраженную Eu аномалию. Расплавы, равновесные с низкотитанистым пироксеном могут быть получены из расплава, равновесного с высокотитанистым при фракционировании 80-90% ликвидусной ассоциации, приблизительно соответствующей среднему содержанию в кумулусе пород нижней зоны. Этот расплав отличается от состава пород интрузии присутствием европиевой аномалией, более высоким La/Sm и более низким Lu/Sm отношениями.

Присутствие двух резко различных по составу генераций клинопироксена нельзя объяснить эволюцией расплава in Situ. Можно предположить, что высокотитанистый расплав эволюционировал в низкотитанистый в пределах другой (вероятно, нижележащей) магматической камеры, и внедрялся в пространство не полностью закристаллизованной Контайской интрузии, вытесняя расплав, равновесный с клинопироксеном первой генерации. Таким образом, формирование интрузии сопровождалось подтоком магмы и удалением продуктов дифференциации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ОЛИВИН–АНКЕРИТ–СЕРА И ОЛИВИН–СИДЕРИТ–СЕРА ПРИ P,T-ПАРАМЕТРАХ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ.

Здроков Е.В., Баталева Ю.В.), Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М. (ИГМ СО РАН)

zdrokov@gmail.com; тел.: 8 (913) 952 66 76

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00054).

Экспериментальные исследования в системах оливин – анкерит – сера и оливин – сидерит – сера, направленные на моделирование взаимодействия субдуцируемого материала с мантийными силикатами, проведены на беспрессовой аппаратуре типа «разрезная сфера» (БАРС), при давлении 6,3 ГПа, в интервале температур 1150 – 1450 °С, и длительностях 20-60 часов. При температурах 1150 и 1250 °С в системе оливин – анкерит – сера установлено формирование ассоциации новообразованных фаз – пирит + арагонит + клинопироксен, сосуществующих с низкожелезистыми анкеритом и оливином, а также преимущественно серным расплавом. При более высоких температурах установлено понижение железистости оливина и карбоната, а также обогащение преимущественно серного расплава сульфидным компонентом. При взаимодействии оливина с сидеритом и серой, в интервале 1150 – 1450°С, получена фазовая ассоциация ортопироксен+пирротин+Mg,Ca,Fe-карбонат (±карбонатный расплав). Установлено, что основными процессами взаимодействия оливин-карбонат-сера являются перекристаллизация оливина и карбоната в расплаве серы, экстракция Fe и Ni в расплав, и последующее формирование новообразованных пирита, пирротина и клинопироксена.

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО МИКРОПЛАЗМЕННОГО АТОМНО-ЭМИССИОННОГО СЕНСОРА ДЛЯ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Зуев Б.К., Ягов В.В., Травкина А.В.(ГЕОХИ РАН)

Идея разрабатываемого сенсора связана с применением разряда при вскипании в канале (РВК) – нового микроплазменного источника атомизации и возбуждения на основе электрического разряда в окружающей подводный аппарат жидкости. Данный подход позволяет создать прибор для проведения морских исследований с минимальным энергопотреблением, что является критичным в варианте автономного использования. Кроме того важнейшим достоинством РВК является возможность безреагентного анализа морской воды. Несмотря на сложный состав и присутствие интенсивных линий и полос металлов-макрокомпонентов, возможности для определения многих тяжелых металлов в морской воде предпочтительны в сравнении с растворами кислот, которые традиционно служат матрицей в опытах с источниками на основе электролитных разрядов. Морская вода, обеспечивая проводимость раствора, служит спектральным буфером, то есть уменьшает ионизацию атомов, устраняет взаимное влияние солей тяжелых металлов и подавляет компоненты фона, связанные с продуктами разложения воды. Большинство традиционных методов атомной спектроскопии возможны только в потоке газа, что практически не возможно реализовать в автономном подводном аппарате.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОСФЕР В ОРГАНИЧЕСКОМ БУЛЬОНЕ ПРИ ПНЕВМОУДАРЕ.

Иванов А. А., Севастьянов В.С., Воропаев С. А., Днестровский А. Ю., Галимов Э.М. (ГЕОХИ РАН)

aiva@geokhi.ru тел.: 8 (915) 378 93 94

Программа №17 Президиума РАН “Планетарные проблемы зарождения и развития биосферы Земли”

Разработан способ получения микросфер при пневмоударе в водно-белковом растворе, имитирующий прохождение аналогичных природных процессов на абразивных берегах вдоль линии Мирового океана и моделирующий возможный механизм образования клеточных оболочек первых пробионтов. Всесторонние научные исследования показали, что химическая основа жизни изначально присутствовала на ранних стадиях формирования Земли не только в виде требуемых химических элементов, но и в форме низкомолекулярных органических соединений, регулярно поступающих с космической пылью и другим внеземным веществом. В условиях ранней Земли, благодаря бурным геологическим событиям, а также Уф-излучению Солнца, атмосферным электрическим разрядам молний, метеоритным ударам, естественному распаду радиоактивных элементов и многим другим источникам энергии, синтез органических соединений не только продолжился, но и сдвинулся в высокомолекулярную область, усиливая процессы преобразования предбиологических компонентов. Однако, вопрос о том, что может инициировать начало структурного формирования первых живых организмов из пребиотического вещества остаётся дискуссионным, в связи с чем требуются дополнительные исследования и поиск новых подходов к решению проблемы. В нашей работе рассматривается неучтённый ранее источник энергии приливных волн и волн прибоа, вызывающих пневмоудар в пустотах ячеек абразивных берегов.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ГИББСА ДЛЯ РАСТВОРОВ NaCl И CaCl₂ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 150°C – 350°C

Иванов М.В. (ИГГД РАН), Бушмин С.А. (ИГГД РАН), Аранович Л.Я. (ИГЕМ РАН)

Исследование по теме ИГГД РАН 0153-2018-0004.

Развита эмпирическая модель свободной энергии Гиббса для растворов хлоридов щелочных и щёлочноземельных металлов в воде, обеспечивающая высокую точность термодинамического описания растворов произвольной концентрации. На основе экспериментальных данных по осмотическому коэффициенту при давлении насыщенного пара и по $PVTx$ свойствам при более высоких давлениях получены уравнения состояния бинарных флюидов $H_2O-NaCl$ и $H_2O-CaCl_2$, справедливые при всех возможных концентрациях соли в растворе. Диапазоны PT параметров для $H_2O-NaCl$: температуры 150°C – 300°C, давления до 5 кбар; для $H_2O-CaCl_2$ температуры 150°C – 350°C, давления до 0.7 кбар. В данных температурных интервалах уравнения позволяют определять широкий набор термодинамических параметров (включая активности компонентов, осмотические коэффициенты, плотности и мольные объёмы) рассмотренных флюидов. Получаемые параметры могут быть востребованы при термодинамическом моделировании рудоносных растворов эпи- и мезотермальных месторождений.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CaCl}_2$ ПРИ ВЫСОКИХ PT ПАРАМЕТРАХ

Иванов М.В., Бушмин С.А. (ИГГД РАН)

Исследование по теме ИГГД РАН 0153-2018-0004.

Термодинамическая модель системы $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CaCl}_2$ для высоких давлений и температур развита на основе уравнения для избыточной свободной энергии Гиббса. Форма зависимости избыточной свободной энергии Гиббса от концентрации компонентов совпадает с предложенной в (Аранович и др., 2010). Параметризация PT зависимостей коэффициентов, входящих в формулу для свободной энергии Гиббса, основана на плотности и мольном объеме воды при соответствующих PT . Модель позволяет определять фазовое состояние флюидной системы (гомогенное или гетерофазное), активности компонентов, их концентрации в сосуществующих фазах, плотности и мольные объемы фаз. Модель полностью воспроизводит имеющиеся экспериментальные данные по фазовому распаду в трёхкомпонентной системе. Указанные экспериментальные данные охватывают область температур 500-800°C и давлений от 1 до 9 кбар. Используемая нами естественная параметризация PT зависимостей позволяет предполагать возможность применения модели при PT за пределами экспериментально изученного диапазона.

СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ФАЗ СИСТЕМЫ Ca–Al–O В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛИ

Искрина А.В. (геол. ф-т МГУ), Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Дубровинский Л.С. (Баварский Геоинститут, г. Байройт)

grigoryeva_av888@mail.ru тел.89163395175
Поддержка: РФФ (грант № 17-17-01169)

Алюминаты относятся к возможным концентраторам алюминия в условиях переходной зоны и нижней мантии Земли. В их число входят Ca-алюминаты, среди которых в системе Ca–Al–O установлено несколько соединений (CaAl_2O_4 ; CaAl_4O_7 ; $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$; $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$; $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$; $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$), стабильных в широком P–T диапазоне. При 15 ГПа и 1600°C нами были синтезированы фазы состава CaAl_2O_4 и $\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{O}_{11}$ (последняя получена впервые). Полученные соединения изучены методами оптической микроскопии, SEM и микрозондового анализа. С помощью монокристаллической рентгеновской дифракции расшифрованы структуры и предложены кристаллохимические формулы фаз. Структурные особенности фазы CaAl_2O_4 согласуются с данными, полученными ранее для соединения «CA-IV». Анализ P–T диаграммы системы Ca–Al–O показывает, что новое соединение $\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{O}_{11}$ должно находиться в поле моноклинной фазы «CA-I» со структурным типом кротита, однако для $\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{O}_{11}$ установлена тетрагональная симметрия ($P4_2/mnm$). Полученные данные требуют уточнения фазовой P–T диаграммы в плане положения на ней фаз «CA-I» и «CA-IV», а также нового соединения $\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{O}_{11}$.

**ВЗАИМОВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РОСТА КАЛЬЦИТА И ИНКОРПОРИРОВАНИЯ
МЕТАЛЛОВ И БИОПОЛИМЕРОВ**

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

olga@iem.ac.ru, тел.: +7(916)5222993

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00234-а

Процессы растворения-осаждения кальцита играют важную роль во многих природных системах, в значительной степени регулируя подвижность антропогенных металлов-токсикантов. Эффект влияния скорости осаждения кальцита на инкорпорирование металлов достаточно хорошо исследован, однако влияние инкорпорирования металлов и биополимеров на осаждение кальцита практически не изучено. Наша работа посвящена экспериментальному исследованию взаимовлияния инкорпорирования ионов кадмия и стронция и полиаспартата (pAsp) и скорости осаждения кальцита. Методом «постоянной добавки», позволяющим поддерживать параметры процесса постоянными в течение длительного времени, проведена серия экспериментов по изучению соосаждения Cd с кальцитом. Полученные значения коэффициента распределения составили от 15 до 200 в зависимости от скорости осаждения кальцита. Методом «постоянного состава» исследовано соосаждение Cd и Sr с кальцитом в зависимости от присутствия pAsp. Как pAsp, так и Cd замедляют осаждение кальцита. Присутствие pAsp приводит к уменьшению (до 10%) инкорпорирования кадмия в кристаллическую решетку кальцита. Коэффициент распределения Sr, полученный из экспериментальных данных, находится в пределах 0.02 – 0.033, и присутствие Sr практически не влияло на скорость осаждения кальцита.

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ НАТРИЕВЫХ АМФИБОЛОВ —
АРФВЕДСОНИТОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

**Киселева И.А., Огородова Л.П., Вигасина М.Ф., Гриценко Ю.Д.,
Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)**

kiseleva@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Представлены результаты первого калориметрического определения энтальпий образования природных натриевых амфиболов – арфведсонитов различного состава. Изучены образцы из щелочных пегматитов Инаглинского массива (Алдан, Якутия, Россия) (обр. I) и из арфведсонит-рибекитовых пород Катугинского редкометального месторождения (Забайкалье, Россия) (обр. II). Химические формулы изученных амфиболов, рассчитанные по данным рентгеноспектрального анализа на 46 зарядов, имеют вид: $K_{0.5}(Na_{1.5}Ca_{0.5})(Mg_{4.0}Fe^{3+}_{0.9}Al_{0.1})[Si_{8.0}O_{22}](OH)_2$ (обр. I), $(Na_{0.7}K_{0.3})Na_{2.0}(Fe^{2+}_{4.0}Fe^{3+}_{0.6}Mn_{0.1}Ti_{0.1}Al_{0.2})[Si_{8.0}O_{22}](OH)_2$ (обр. II). По составу в соответствии с современной номенклатурой амфиболов ММА (IMA 2017) образец (I) является магнезиоарфведсонитом, образец (II) – арфведсонитом. Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Тиана-Кальве определены энтальпии образования из элементов природных натриевых амфиболов: $\Delta_f H_{el}^0(298.15\text{ K}) = -11626.6 \pm 8.9$ кДж/моль (обр. I) и -11385 ± 17 кДж/моль (обр. II). Энтальпии образования из элементов крайних членов изоморфного ряда арфведсонит $NaNa_2(Fe^{2+}_4Fe^{3+})[Si_8O_{22}](OH)_2$ – магнезиоарфведсонит $NaNa_2(Mg_4Fe^{3+})[Si_8O_{22}](OH)_2$ были получены на основании экспериментальных данных по растворению изученных амфиболов близких составов: -10253 ± 18 кДж/моль и -11505.5 ± 8.8 кДж/моль соответственно.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО НАТРИЕВО-КАЛЬЦИЕВОГО АМФИБОЛА – РИХТЕРИТА ИЗ КОВДОРСКОГО МАССИВА

Киселева И.А., Огородова Л.П. Вигасина М.Ф., Гриценко Ю.Д., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)

kiseleva@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Изучен образец амфибола из флогопитоносных пород Ковдорского массива (Кольский полуостров, Россия) в виде прозрачных светло-зеленого цвета игольчатых кристаллов размером до 1-1,5 см, имеющий состав $(\text{Na}_{0.7}\text{K}_{0.3})(\text{Ca}_{1.2}\text{Na}_{0.8})(\text{Mg}_{4.6}\text{Fe}^{2+}_{0.4})[\text{Si}_{7.8}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{22}](\text{OH})_2$. В соответствии с современной номенклатурой амфиболов Международной Минералогической Ассоциации (IMA 2017) он может быть отнесен к рихтериту. Литературные данные по энтальпии образования рихтерита ограничиваются оценкой из результатов изучения синтезированного твердого раствора тремолит-рихтерит, кроме того, синтезированные минералы не всегда являются хорошим аналогом природных образцов из-за своей высокой степени разупорядочения. Проведено первое калориметрическое определение энтальпии образования из элементов природного рихтерита методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Тиана-Кальве: $\Delta_f H_{\text{el}}^{\circ}(298.15 \text{ K}) = -12154.2 \pm 9.7 \text{ кДж/моль}$. Энтальпия образования из элементов крайнего магнезиального члена изоморфного ряда рихтерит – феррорихтерит была рассчитана на основании экспериментальных данных по растворению изученного природного амфибола: $\Delta_f H_{\text{el}}^{\circ}(298.15 \text{ K}) = -12157.1 \pm 9.7 \text{ кДж/моль}$ для рихтерита теоретического состава $\text{Na}(\text{NaCa})\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОРОД МАЙКОПСКОЙ СЕРИИ.**

Кладиев А.А., Бычков А.Ю. (МГУ)

artkuz001@yandex.ru

Проект РФФИ 10-05-00818

Отложения Майкопской серии, сложенной глинисто-карбонатными породами, содержат значительное количество органического вещества – керогена. Процесс их преобразования в моделирующих гидротермальные условия параметрах температуры 300°C и давлении насыщенного водяного пара приводит к образованию синтетической нефти. Исследована кинетика преобразования органического вещества, в результате которой получены неожиданные данные об уменьшении выхода нефти с течением времени. Вероятно, что на нефтегенерацию влияют на некие вторичные факторы, уменьшающие выход продукта, например, сульфатредукция с образованием пирита, который можно было наблюдать на стенках автоклава. Изучены продукты эксперимента с использованием методик пиролиза, показано закономерное изменение свойств керогена.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОЖДЕНИЯ Ga³⁺ В СТРУКТУРЫ СИЛИКАТОВ И АЛЮМОСИЛИКАТОВ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Калинин Г.М., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)

Галлий относится к ультрамалым элементам, при этом, несмотря на достаточно высокий кларк (около 19 ppm), собственные минералы галлия, равно как и высокие содержания этого элемента в других фазах, встречаются чрезвычайно редко. В течение нескольких лет синтезированы конечные члены ряда эпидот – эпидот галлиевый; и полевые шпаты - Ga- альбит, Ga – анортит и Ga – калиевый полевой шпат при T=600 °C, и P= 2 кбар. Во всех случаях длительность опытов составляла 10 суток. В предыдущих работах (Ковальская и др, 2014, 2015, 2016, Варламов и др. 2011, 2014) был детально изучен синтез фаз в системе эпидот – эпидот-Ga. В продуктах практически всех опытов, помимо эпидота, содержащего галлий в различных количествах, диагностировался галлиевый анортит. Определены составы полученных фаз с помощью микрозондового метода. Проведен синтез твердых растворов альбит – Ga – анортит –Ga и альбит-Ga – КПШ – Ga.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТМАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ТИКШЕОЗЕРСКОГО МАССИВА**

**Ковальская Т.Н. (ИЭМ РАН), Варламов Д.А. (ИЭМ РАН), Шаповалов Ю.Б. (ИЭМ
РАН), Калинин Г.М. (ИЭМ РАН), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)**

Тикшеозерский массив относят к формации ультраосновных щелочных массивов с карбонатитами, однако он расположен южнее основного скопления карбонатитовых массивов Карело-Кольской провинции, в приполярной части Северной Карелии, к югу от города Кандалакша. Литературные данные указывают на оценки возраста массива в интервале 1.8-1.9 млрд. лет, что резко отличается от других щелочно-карбонатитовых комплексов Карело-Кольской провинции, возраст которых оценен как среднепалеозойский. Детальное изучение пород массива показало, что большинство пород подвержено постмагматическим изменениям с увеличением содержания калия в породе – появляются калиевые минералы – рихтерит, полевошпат и др. Проведенные ранее экспериментальные исследования показали.... С целью моделирования условий постмагматических изменений были проведены эксперименты по взаимодействию породы (измельченное габбро) с флюидом. В качестве флюида был взят 1М раствор KF в соотношении по массе к навеске в соотношении 1:10. Синтез проводился в 2 этапа: в платиновых ампулах нагрев до 1100°C и давлении 3 кбар и выдержка при этих параметрах в течение 5 часов. Затем изобарическое охлаждение до 850°C. Длительность опыта составляла 10 суток.

**ЭВОЛЮЦИЯ РАСПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ
ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЛАРНИТ-НОРМАТИВНЫХ РАСПЛАВОВ, БЛИЗКИХ ПО
СОСТАВУ К КИМБЕРЛИТАМ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)**

Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН)

Kogarko@geokhi.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН I.8П № 0137-2018-0043

Экспериментальные исследования фазовых равновесий в процессе кристаллизации кимберлитовых магм в условиях насыщения CO₂ показали раннюю кристаллизацию ортопироксена и граната, что приводит к появлению высококальциевых ларнит-нормативных мелелит-содержащих магм заметному обедненным SiO₂ и обогащенным CO₂ в расплаве и постепенному переходу к карбонативным составам. С ростом давления (свыше 20 кб) мелелит становится неустойчивой фазой и вместо него появляется мервенит Ca₃Mg (SiO₄)₂ в результате реакции $Mg_2SiO_4 + Ca_4Si_3O_{10} = Ca_3Mg(SiO_4)_2 + CaMgSiO_3$.

Мы исследовали эволюцию расплавов и смену минеральных фаз в процессе плавления и кристаллизации высококальциевых недосыщенных кремнекислотой ларнит-нормативных расплавов, близких по составу к кимберлитам. (комплекс Маймеча-Котуйской провинции в интервале давлений 5-80кб температур 1050-1500°C).

В процессах кристаллизационной дифференциации высококальциевых недосыщенных кремнеземом расплавов отмечается закономерное падение концентраций магния и кальция, заметное увеличение содержаний натрия, калия, алюминия, титана и железа. Отмечается очень незначительный рост содержаний до 25 кб, при дальнейшем повышении давления исчезает оливин и резко расширяется поле кристаллизации пироксена вследствие чего в расплаве падает содержание кремнезема. Подобная дифференциация отмечается в дайковых сериях Полярной Сибири.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ АКСИНИТА

Кондрикова А.П., Гриценко Ю.Д., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)

flickajames250598@gmail.com тел.: 8 (495) 939 49 64

Группа аксинита (сложные кальциево-алюминиевые боросиликаты) включает 4 минерала: Fe-аксинит, Mn-аксинит, Mg-аксинит и тинценит, имеет общую формулу $(Ca,Mn)_2(Fe,Mn,Mg)Al_2BO_3Si_4O_{12}(OH)$. Была изучена коллекция минералов группы аксинита, включающая 8 образцов разного состава из различных месторождений методами порошковой рентгенографии, микронзондового анализа, инфракрасной спектроскопии.

Для Fe-аксинита состава $Ca_{1,92}Mn_{0,08}(Fe_{0,66}Mg_{0,22}Mn_{0,05}Zn_{0,02})Al_{2,07}BO_3Si_{3,99}O_{12}(OH)$ из месторождения Пуйва (Приполярный Урал, Россия) (образец I) и Mn-аксинита состава $Ca_{1,90}Mn_{0,10}(Mn_{0,67}Fe_{0,32}Mg_{0,02})Al_{2,02}BO_3Si_{3,96}O_{12}(OH)$ из Кожаевского месторождения (Южный Урал, Россия) (образец II) было проведено термическое изучение на дериватографе Q-1500 D (Венгрия) в температурном интервале 20-1000°C при скорости нагрева 20°/мин. Масса образцов составляла 350-430 мг. Минералы устойчивы до 850°C, при дальнейшем нагревании на кривых ДТА регистрируется эндотермический эффект в интервале 850 – 1000°C с максимумами при 990°C (образец I) и при 980°C (образец II), соответствующий дегидроксилизации (удаление конституционной воды) аксинитов. Потеря массы для Fe-аксинита составила ~0.9 %, для Mn-аксинита – ~1.4 %.

ВЕСЭМПГ-2018 - 064

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ АЛМАЗОВ РОССИИ.

Коногорова Д.В., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ).

diana-96perm@mail.ru тел.: 8(916)8553556

Наличие уникальных особо крупных алмазов характерно для трубок с умеренным и пониженным содержанием оксида титана. Этот факт свидетельствует о наличии специфических сверхглубинных условиях для формирования алмаза. Отмечено, что по количеству и массе уникальные алмазы преобладают в УТТ. Трубка лидер по добыче крупных кристаллов является "Юбилейная". С начала 2017 года на "Юбилейной" было добыто 20 алмазов массой более 50 карат.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕФТЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БИОТЫ В УСЛОВИЯХ ГИДРОТЕРМ

Коноплева И. В., Севастьянов В. С., Кузнецова О.В., Власова Л.Н., Галимов Э.М. (ГЕОХИ РАН)

konopleva@geokhi.ru; тел.: +7(499)137 5949

В зоне современного вулканизма и активной гидротермальной деятельности - кальдере влк. Узон на Камчатке обнаружены нефтепроявления. Образование узонской нефти рассматривают как процесс термолизной или термokatалитической переработки остатков растений и биомассы микроорганизмов, обитающих в термальных водах кальдеры.

Для выявления закономерностей формирования нефти в условиях гидротерм образец биоты, отобранный с поверхности воды термального озера, был подвергнут термогидролизу при 300°C в течение 24 ч. Использование высоких температур позволяет имитировать длительность геологического времени в процессе нефтеобразования.

Был проведен анализ структурно-группового состава хлороформенных экстрактов биоты и продуктов термогидролиза. В составе экстрактов биоты были обнаружены несвойственные живому органическому веществу компоненты: смолы и асфальтены. Кроме них были обнаружены метановые, нафтеновые и ароматические углеводороды. Были получены данные о молекулярном составе образцов методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Пробы насыщенных фракций экстрактов биоты и продуктов термогидролиза различаются характером распределения n-алканов и изо-алканов - наблюдается переформирование и разрушение высокомолекулярных УВ в пользу низкомолекулярных гомологов. Характер распределения n-алканов, стеранов и терпанов свидетельствует о вкладе липидов высших наземных растений и бактерий в состав исходной биомассы. Обсуждается степень трансформации органического вещества биоты в результате термического воздействия.

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА СОДЕРЖАНИЙ МАЛЫХ КОМПОНЕНТОВ (Fe, Mg, K) В ПЛАГИОКЛАЗАХ, РАВНОВЕСНЫХ С РАСПЛАВОМ.

Коптев-Дворников Е.В. (ИЭМ РАН), Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)

С целью разработки системы уравнений, предназначенной для расчёта равновесия плагиоклаза с расплавом, методами многомерной статистики обработаны результаты 445 «сухих» закалочных экспериментов. Каждый эксперимент охарактеризован температурой, давлением, летучестью кислорода, составами фаз. Диапазон составов расплавов от базальтов до дацитов. Данные извлечены из базы данных ИНФОРЕКС.

Расчёт стехиометрического состава плагиоклаза сходится в случае включения в каркасообразующий мотив Si, Al, Ti и Fe, следовательно, железо находится преимущественно в трёхвалентной форме.

Полученные уравнения воспроизводят содержания малых компонентов в экспериментальных плагиоклазах с погрешностью (в вес.%), не превышающей для FeO ± 0.08 , для MgO ± 0.04 , для K₂O ± 0.03 при уровне значимости 95%.

Гетеровалентный изоморфизм в полевых шпатах позволяет рассчитывать пропорции миналов одно- и двухвалентных катионов (An, Ab, Or и др.) по 6 парам мольных долей оксидов разновалентных элементов. Применение этих расчётов для верификации микронзондовых анализов плагиоклазов обнаружило систематическое занижение содержаний глинозёма (в 256 случаев из 445) и завышение – кремнезёма (в 56 случаев) до 2-3 вес. %.

ВЕСЭМПГ-2018 - 067

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА СОДЕРЖАНИЙ МАЛЫХ КОМПОНЕНТОВ (Mn, Ca, Cr) В ОЛИВИНАХ, РАВНОВЕСНЫХ С РАСПЛАВОМ.

Коптев-Дворников Е.В. (ИЭМ РАН), Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)

ekoptev@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 49 62

С целью разработки системы уравнений, предназначенной для расчёта равновесия оливина с расплавом, методами многомерной статистики обработаны результаты 669 «сухих» закалочных экспериментов. Каждый эксперимент охарактеризован температурой, давлением, летучестью кислорода, составами фаз. Диапазон составов расплавов от коматиитовых базальтов до дацитов. Данные извлечены из базы данных ИНФОРЕКС.

Полученные уравнения воспроизводят содержания малых компонентов в экспериментальных оливинах с погрешностью (в вес.%), не превышающей для MnO ± 0.01 , CaO ± 0.04 , Cr₂O₃ ± 0.03 при уровне значимости 95%.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СЕРЕБРО – ЗОЛОТО – СЕРА ПРИ ДАВЛЕНИИ 10^5 Па

Корепанов Я.И., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)

yakoff@iem.ac.ru тел.: 8 (496) 52 2 58 49

Программа ОНЗ РАН Экспериментальное изучение минеральных равновесий и изотопных соотношений

На основе литературных термодинамических данных для бинарных и тройных фаз и собственных данных для твердого раствора Ag_xAu_{1-x} построены изотермические сечения фазовой диаграммы Ag-Au-S. Моделирование осуществлялось с использованием программы TERNAPI (лаборатория химической термодинамики химического факультета МГУ им. Ломоносова). В таблице приведены равновесные составы AgAu сплава в тройных ассоциациях (парагенезисах) для двух температур.

Температура	Тройные фазовые ассоциации	
	Ag ₂ S-Ag ₃ AuS ₂ -AgAu	Ag ₃ AuS ₂ -AgAuS-AgAu
	Состав сплава находящегося в тройной фазовой ассоциации	
298.15 К	Ag _{0.25} Au _{0.75}	Ag _{0.15} Au _{0.85}
423.15 К	Ag _{0.23} Au _{0.77}	Ag _{0.13} Au _{0.87}

Температурная зависимость состава сплава в обеих ассоциациях практически одинакова и составляет примерно 2.1 ат % Ag на 100 градусов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЛАВА Ag_xAu_{1-x} В ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ 323 – 673 К И АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ МЕТОДОМ ЭДС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ $Ag-\beta$ ALUMINA В КАЧЕСТВЕ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Корепанов Я.И., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)

yakoff@iem.ac.ru тел.: 8 (496) 52 2 58 49

Программа ОНЗ РАН Экспериментальное изучение минеральных равновесий и изотопных соотношений

В ходе исследований была определена температурная зависимость активности серебра в сплаве (Ag_xAu_{1-x}) для 6 составов методом ЭДС в диапазоне 323 - 623 К и атмосферном давлении аргона с высокой воспроизводимостью результатов (3 % от абсолютного значения). В качестве твердого электролита использовалась Ag^+ проводящая керамика ($Ag-\beta$ alumina, Ionotec LTD Англия). Экспериментально показана высокая стабильность и повторяемость данных в электрохимических ячейках с применением серебропроводящей керамики. Сравнение с литературными данными показывает, что получаемые результаты имеют тот же порядок величин. В ходе эксперимента было показано, что $Ag-\beta$ alumina является наиболее стабильным долговечным и надёжным твердым электролитом для исследования данной системы.

Для описания полученного массива данных использовано уравнение вида:

$$\ln(a_x) = -n \cdot F \cdot (A \cdot X^2 + B \cdot X + C(T))(1 - X)^2 / (R \cdot T) \quad (1)$$

Аппроксимация данных уравнением (1) позволяет решить уравнение Гиббса - Дюгема для второго компонента (Au) и вычисления энергии Гиббса, энтальпии и энтропии непрерывного твердого раствора Ag_xAu_{1-x} .

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФЛЮИДА (HF+HCl) НА ПОВЕДЕНИЕ Ta, Nb ПРИ РАСТВОРЕНИИ ПИРОХЛОРА И ТАНТАЛИТА ПРИ T = 400, 500 И 550°C, P = 1000 БАР (БУФЕР Co-CoO)

Коржинская В.С., (ИЭМ РАН)

ykor@iem.ac.ru, факс: 8(496 52)44425, тел.: 8(496) 5225861

Работа выполнена при поддержке программы ОНЗ РАН и гранта РФФИ 15-05-03393-а;

Проведены экспериментальные исследования изучения растворимости природных минералов пирохлора $(Ca,Na)_2(Nb,Ta)_2O_6(O,OH)$ и танталита $(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$ в смешанных флюидах (HF+HCl), которые позволили оценить равновесные содержания металлов Ta и Nb, в растворах при T = 400° - 550°C, P = 1000 бар в присутствии кислородного буфера Co-CoO. Опыты проводились на гидротермальной установке высокого давления в заваренных платиновых пробирках с применением ампульной методики. Закалочный раствор анализировали ICP/MS и ICP/AES (масс-спектральный и атомно-эмиссионный) методами, а твердую навеску - рентгенофазовым и микрозондовым методами анализа. Исходная концентрация HF изменялась от 0.01m до 2 m, а концентрация HCl оставалась постоянной и составляла 0.5 m. Сделан вывод, что в (HF+HCl) растворах танталит растворяется инконгруэнтно с преимущественным переходом в раствор Mn и Fe по сравнению с Ta и Nb. Проведено сравнение содержания тантала и ниобия для пирохлора и танталита в равновесных растворах. Установлено влияние концентрации и температуры на растворимость этих минералов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА И ХЛОРА МЕЖДУ СОДАЛИТОМ И ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ ФЛЮИДОМ.

Котельников А.Р., Сук Н.И., Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Граменицкий Е.Н., Щекина Т.И. (геол. ф-т МГУ), Польской П.Ф. (ИЭМ РАН)

kotelnik@iem.ac.ru; тел. +7(496)52-25857

Опыты проводили при 450, 650°C и давлении 1-1.5 кбар по ампульной методике в платиновых и золотых ампулах. В качестве исходных материалов использовали гели состава NaAlSiO_4 , дистиллированную воду и соли NaF и NaCl . В навеску добавляли 1 мас% «затравочного» природного хлор-содалита. Эксперименты проводили с использованием автоклавов, гидротермальных установок с внешним нагревом и холодным затвором, газовых установок высокого давления с внутренним нагревом. Длительность опытов составляла от 15 до 25 суток. Твердые продукты опытов исследовали методами микрозондового и рентгеновского анализа, состав флюидов после опытов изучали методами атомно-абсорбционного анализа и ионо-селективной потенциометрии. Показано, что твердые растворы (F,Cl)-содержащих содалитов характеризуются обширной областью несмесимости. На основе этих данных рассчитаны значения избыточных функций смешения твердого раствора (F,Cl)-содалитов. Распределение фтора и хлора в системе содалит – флюид неидеальное, знакопеременное. При $X_{\text{F}^{\text{fl}}} \leq 0.75$ фтор обогащает флюид относительно содалита, а при $X_{\text{F}^{\text{fl}}} > 0.8$ фтор начинает обогащать содалит ($T=650^\circ\text{C}$, $P=1.5$ кбар).

СИНТЕЗ МАТРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ РАО НА ОСНОВЕ ЖИДКОСТНОЙ НЕСМЕСИМОСТИ В РАСПЛАВАХ.

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

kotelnik@iem.ac.ru; тел. +7(496)52-25857

Для исследований возможности переработки стекольных матриц в устойчивые минеральные формы проведено изучение межфазового распределения элементов – имитаторов РАО (La, Ce, Sr, Cs) в системах: алюмосиликатный – фторидный расплавы, алюмофосфатный – алюмофторидный расплавы, алюмофосфатный – фосфатный расплавы, боросиликатный – боратный расплавы и др. Опыты проводили по ампульной методике на установках высокого газового давления с внутренним нагревом и в муфельных печах КО-14. В качестве исходных материалов использовали синтетические стекла, с добавлением указанных элементов-имитаторов, а также различные соли: NaF, NaPO₃, Na_{1.5}Li_{1.5}AlF₆, Na₂TiO₃ и др. Подход к области несмесимости осуществляли следующими способами: (1) добавлением солей; (2) добавлением высаливающих компонентов в расплав (SiO₂ – в алюмофосфатный, Al₂O₃ – в боросиликатный); (3) изменением температуры. В результате возникновения областей жидкостной несмесимости происходило перераспределение элементов между фазами ликвирующей системы. При этом наблюдалось образование весьма стойких минералов – концентраторов элементов РАО, таких как монацит, лопарит и др. Данный метод может быть использован для промышленной иммобилизации элементов радионуклидов.

РАСТВОРИМОСТЬ ТАНТАЛИТА И ПИРОХЛОРА ВО ФТОРИДНЫХ РАСТВОРАХ ПРИ $T = 650-850^{\circ}\text{C}$ И $P=1$ КБАР В ПРИСУТСТВИИ СИЛИКАТНОГО ВЕЩЕСТВА.

Котельников А.Р., Коржинская В.С. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Сук Н.И., Шаповалов Ю.Б. (ИЭМ РАН)

kotelnik@iem.ac.ru; тел. +7(496)52-25857

Для оценки влияния силикатного вещества на растворимость танталита и пироклора были проведены специальные опыты с кварцем и без кварца при 550, 650, 750 и 850°C и давлении 1 кбар в растворах LiF (0.08 М); NaF (1 М); KF (0.5 и 1 М). Для оценки фазового состояния флюида применяли метод синтетических флюидных включений в кварце. Опыты проводили на гидротермальных установках с внешним нагревом и холодным затвором и на установках высокого газового давления. В качестве стартовых материалов использовали кварц (м-е Перекатное, Алдан), природные танталит и пироклор. Ход постановки опытов: (1) ввод УВД в режим опытов (длительность 1 час); (2) выдержка в условиях опыта (до 15 суток); (3) закалка. Продукты опытов анализировали оптически, микросондовым методом и ИСП-МС. Методом синтетических флюидных включений изучены фазовые соотношения во флюиде. Показано значительное влияние присутствия кварца на растворимость танталита и пироклора в водных растворах фторидов щелочных металлов в гидротермальных условиях. Установлено, что при температуре 650°C и выше образуется фаза силикатного (или алюмосиликатного) расплава. Эта фаза силикатного щелочного расплава концентрирует в себе тантал и ниобий (до 8 мас% Ta_2O_5 и 16 мас% Nb_2O_5) и может служить фазой – концентратором рудных элементов при образовании месторождений тантало-ниобатов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ШУНГИТОВ ЗАОНЕЖЬЯ

Котельников А.Р., Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН), Криночкина О.К. (НИУ МГСУ), Мартынов К.В. (ИЭМ РАН), Гавлина О.Т. (хим. ф-т МГУ), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Филиппов М.М. (ИГ КарНЦ РАН), Ананьев В.В. (ИВуС ДВО РАН)

kotelnik@iem.ac.ru; тел. +7(496)52-25857

Шунгиты месторождений Заонежья широко используются в металлургической промышленности. При разработке шунгитовых карьеров образуется много отходов производства, состоящих из высокоуглеродистых шунгитоподобных пород. При данном способе разработки эти отходы находятся под открытым небом и подвергаются интенсивному гидролитическому выщелачиванию поверхностными и атмосферными водами. Проведено микрозондовое изучение шунгитовых пород. Показано наличие в них сульфидной минерализации (пирит, пентландит, халькопирит, сфалерит, рабдофанит и др.). На основе изучения флюидных включений проведены оценки составов водных растворов, участвующих в минералогенезе. Методами анализа парагенезисов шунгитовых пород и составов сосуществующих минералов, оценены параметры минералогенеза. Исследование составов карьерных вод и показали высокое содержание в них таких элементов как Fe, Cu, Zn, Cd, Ni, REE, U и др. Нами проведены специальные опыты по моделированию гидролитического выщелачивания шунгитовых пород при 90 и 20°C. Проведено изучение сорбционной емкости декарбонизированных шунгитовых пород.

ВЕСЭМПГ-2018 - 075

**СОСУЩЕСТВОВАНИЕ ЖИДКОЙ И ТЯЖЕЛОЙ СИЛИКАТНОЙ ФАЗ В СИСТЕМАХ
H₂O-SiO₂-СОЛЬ**

Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)

kotelnik@igem.ru тел.: 8 (499) 230 82 17

Методом синтетических флюидных включений в кварце при $T=500-800^{\circ}\text{C}$ и $P=1-3$ кбар исследовали фазовое состояние флюида в системах, содержащих помимо H₂O и SiO₂ соли: NaF, Na₂SO₄, Na₂CO₃, KF. Оказалось, что в присутствии каждой из указанных солей или их смесей в гетерогенных условиях возможно образование тяжелой силикатной фазы с высокими содержаниями воды, фиксирующейся во включениях в стеклообразном виде. Обособившиеся при условиях опытов гетерогенные фазы могут подвергаться еще одному этапу гетерогенизации при более низких параметрах.

ВЕСЭМПГ-2018 - 076

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАСТВОРИМОСТЬ ОКСИДА НИОБИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРАХ HCl И KCl

Котова Н.П. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 18-05-01001-а

Изучена температурная зависимость растворимости оксида ниобия при $T=300$ и 500°C , $P=100$ МПа в хлоридных растворах HCl и KCl с концентрацией 0,1 и 1,0 м в присутствии кислородного буфера Co-CoO. Установлено, что в хлоридных растворах различного катионного состава (HCl и KCl) температурная зависимость растворимости Nb_2O_5 в интервале температур $300-550^{\circ}\text{C}$, $P=100$ МПа, буфер Co-CoO слабо выражена. Растворимость ниобия низкая и находится в пределах 10^{-5} - 10^{-4} м.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ФЛЮИДА (HF+HCl) НА РАСТВОРИМОСТЬ ОКСИДА ТАНТАЛА ПРИ T = 400 - 500°C, P = 100 МПа

Котова Н.П. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 18-05-01001 - а

Получены новые данные по растворимости оксида тантала в смешанных флюидах (HF+HCl) при T = 400 - 500°C и P = 100 МПа в присутствии кислородного буфера Co-CoO. Исходная концентрация HF изменялась от 0.01m до 2 m, а концентрация HCl оставалась постоянной и составляла 0.5 m. Определены предельные содержания (растворимости) тантала в гидротермальных флюидах различного состава и получены сравнительные характеристики поведения Ta в зависимости от концентрации и состава раствора. Установлено, что температурная зависимость растворимости оксида тантала в смешанных фторидно-хлоридных растворах практически отсутствует. В области низких исходных концентраций растворов (0.01mHF+0.5mHCl) равновесная концентрация Ta составляет лишь 1E-7 моль/кг H₂O, а в области высоких концентраций (2 m HF+0.5 m HCl) она возрастает до 1E-2 моль/кг H₂O.

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

**Кошлякова А.Н. (ГЕОХИ РАН), Соболев А.В. (ГЕОХИ РАН, ISTerre, France),
Крашенинников С.П. (ГЕОХИ РАН), Батанова В.Г. (ГЕОХИ РАН, ISTerre, France),
Борисов А.А. (ИГЕМ РАН)**

an.koshlyakova@gmail.com тел.: 8 (909) 669 65 77
Работа поддержана грантом РФФИ 17-05-00856-а

Предыдущие эксперименты (Кошлякова и др., 2017) при 1 атм, фугитивности кислорода на уровне буфера NNO и температурах 1350-1500°C методом петли (Donaldson C., 1979) показали, что в ходе экспериментов длительностью 20ч из расплавов теряется около 50% щелочей. Это затрудняет изучение их влияния на распределение элементов между оливином и расплавом.

Для решения этой проблемы был проведен ряд экспериментов, в которых изучаемые составы помещались над различными источниками щелочей определенного состава. Для поддержания средних (2-7 вес.%) концентраций K₂O использовался Ca-K-Si источник, высоких (7-12 вес.%) - K-Si источник и K-Na-Si источник для поддержания постоянными концентраций K и Na в расплаве.

Микронзондовый анализ источников щелочей после экспериментов различной длительности показал, что, по крайней мере, после 8 часов эксперимента состав источников остается постоянным, свидетельствуя о постоянном парциальном давлении щелочей.

В ходе экспериментов с использованием источников было получено 40 равновесных пар оливин-расплав. Диапазон изменения концентраций K₂O в расплаве 2.3-11.8 вес.%, Na₂O 0.3-4.9 вес.%. Полученные данные позволяют количественно описать влияние щелочей на распределение примесных элементов между оливином и расплавом.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕНИТА НАТРИЯ НА ЯЧМЕНЕ
(*HORDEUM VULGARE L.*).

Кравец К.Ю. (ГЕОХИ РАН), Воронина Л.П (ф-т почвоведения, МГУ)

Konstantin@kravets.ru тел.:8(985)9635470

В зонах селено-дефицита, к которым относится нечерноземная европейская часть РФ, вопрос обогащения пищевой продукции селеном является крайне актуальным. Несмотря на значительное количество работ в этой области, существуют малоизученные аспекты влияния селена на растения, которые, при отсутствии должного внимания, способны вызвать нарушения в биогеохимическом балансе агроценозов.

Веgetационные эксперименты с применением селена проводились на ячмене яровом (*Hordeum vulgare L.*). Селен вносился в форме селенита натрия (Se^{4+}) фолиарно (способом опрыскивания) в фазу кущения. В результате экспериментов установлено его влияние на урожай и качество зерна. По результатам анализа полученного растительного материала (солома, зерно) обнаружено увеличение выноса основных элементов питания (NPK). Показано, что степень данного влияния существенно зависит от уровня обеспеченности почвы этими элементами. В агроценозах уровень обеспеченности регулируется внесением в почву минеральных удобрений. Экологические особенности действия селена рассматриваются как по результатам вегетационных экспериментов, так и по данным полевых опытов.

РУТИННАЯ МЕТОДИКА ГОМОГЕНИЗАЦИИ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Крашенинников С.П., Соболев А.В., Асафов Е.В., Каргальцев А.А. (ГЕОХИ РАН), Борисов А.А. (ГЕОХИ РАН, ИГЕМ РАН)

spkrasheninnikov@mail.ru, тел.: 8 (499) 1375836
гранты РФ № 14-17-00491-П, РФФИ № 17-05-00856

Изучение расплавных включений в минералах-вкрапленниках магматических пород часто связано с необходимостью проведения экспериментальной гомогенизации. По мере остывания окружающих пород, расплавное включение подвергается воздействию целого ряда процессов, способных повлиять на его состав и полученные оценки физико-химических условий кристаллизации во время захвата. В ГЕОХИ РАН, на базе высокотемпературной трубчатой печи Nabertherm, разработана новая рутинная методика экспериментальной гомогенизации включений. Эксперимент проводится при атмосферном давлении и контролируемой летучести кислорода, заданной с точностью превышающей 0.1 лог.ед. в диапазоне значений от IW-4 до FMQ+4 лог.ед. Прогрев отобранных зерен, помещенных в платиновые ампулы, проходит в три главных этапа. Во время нагрева при температуре на 200-400°C ниже рассчитанной происходит насыщение объема контейнера требуемой газовой атмосферой с целью предотвращения окисления кислородом из воздуха. Далее, не вынимая из печи, за счет опускания в безградиентную горячую зону, зерна выдерживаются в течение 5-10 мин. при необходимых температуре и газовой среде. Финальным этапом гомогенизации включений является мгновенная закалка через нижнее отверстие трубы печи в емкость с ледяной водой, путем пережигания подвесной конструкции электрическим током.

Данная методика позволяет получить стекловатые включения как для наиболее высокомагнезиальных расплавов архейских коматиитов (Sobolev et al., 2016; Asafov et al., 2018), так и для современных островодужных пород (Назарова и др., 2017), а так же, успешно опробована для гомогенизации сульфидных включений в хромитах пород Камчатского Мыса

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ ОЛИВИН-РАСПЛАВ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Крашенинников С.П., Соболев А.В., Батанова В.Г. (ГЕОХИ РАН), Борисов А.А. (ГЕОХИ РАН, ИГЕМ РАН)

spkrasheninnikov@mail.ru, тел.: 8 (499) 1375836
гранты РФФИ № 14-17-00491-П, РФФИ № 17-05-00856

С целью изучения закономерностей распределения Fe^{2+} -Mg между оливином, как наиболее ранней мантийной фазой, и расплавом в области высоких температур была проведена методическая работа с использованием различных материалов контейнера. Исследования проводились в восстановительных условиях для минимизации содержаний Fe^{3+} в расплаве.

Эксперименты проводились методом петли при температурах 1200-1550°C и значениях фугитивности кислорода от 1 до 3 лог.ед. ниже буфера железо-вюстит. Достижение равновесия в таких условиях становится непростой задачей и предъявляет новые требования к материалу контейнера, по сравнению с экспериментами в окислительной среде. Были проведены эксперименты по плавлению гавайских пикритов с использованием платиновой проволоки (чистота 99%), рениевых лент и проволоки (чистота 99,97%), а так же проволоки из железа (чистота 99,5%). Из-за сидерофильных свойств контейнера не удалось полностью решить проблему потери из расплава железа, даже используя предварительно насыщенные Pt и Re. Кристаллы оливинов, в данном случае, обладают зональным составом с постепенным повышением содержания Fe^{2+} от центра к краям зерен. При использовании проволоки из железа в качестве контейнера, полученные в ходе экспериментов оливины обладают гомогенным составом.

В результате проведенных опытов с использованием железной проволоки получены 60 равновесных пар оливин-расплав с пренебрежительно низкими содержаниями трехвалентного железа, что позволит провести оценку правильности существующих моделей численного моделирования.

РАЗЛИЧИЕ СУБДУКЦИОННОГО КОМПОНЕНТА В ИСТОЧНИКАХ АВАЧИНСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ НА ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ТЕФР

Крашенинников С.П., Портнягин М.В. (ГЕОХИ РАН), Базанова Л.И. (ИВиС ДВО РАН), Перепелов А.Б. (ИГХ СО РАН)

spkrasheninnikov@mail.ru, тел.: 8 (499) 1375836
грант РФФ № 16-17-10035

Существование геохимической зональности магматических пород островных дуг от вулканического фронта до тыловой зоны известно давно. Новые данные о содержании элементов-примесей в валовых составах тефр и составах вулканических стекол пород вулканов Авачинский и Корякский свидетельствуют о разных режимах привноса субдукционного компонента в источники магм.

Мультиэлементные спектры 40 образцов тефр и стекол Авачинского и Корякского вулканов свидетельствуют о типично островодужной природе магматических расплавов, обогащенных по отношению к базальтам СОХ. Валовые составы характеризуются более узкими вариациями содержаний элементов, чем матричные стекла. Характерны различия значений отношений наиболее несовместимых и флюид-мобильных элементов. Так, породы и стекла Корякского вулкана отличаются повышенными Th/Nd, Zr/Hf и La/Yb отношениями, в то время как для тефр Авачинского вулкана характерны Cs/Nb, Pb/Nd и Lu/Hf отношения.

Полученные данные свидетельствуют о разной природе магматических расплавов, повышенной роли флюидов и расплавов субдуцирующей плиты в источниках, соответственно, Авачинского и Корякского вулканов, чьи кратеры находятся на расстоянии всего 10 км друг от друга.

АБЛЯЦИЯ И ЗАХВАТ МАССЫ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Кронрод В.А. (ГЕОХИ РАН), Макалкин А.Б. (ИФЗ РАН), Дунаева А.Н. (ГЕОХИ РАН)

va_kronrod@mail.ru, тел. 8 903 109 98 54

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00685).

Обсуждается проблема взаимодействия с газовой средой маломассивного диска планетезималей, падающих на поверхность аккреционных дисков Юпитера и Сатурна из зоны гравитационного влияния центральной планеты. В зависимости от расстояния до центральной планеты и массы планетезималей, захваченной диском, могут меняться условия образования в системе Юпитера спутников Ганимеда, Калисто и спутника Сатурна Титана и, как следствие, их внутреннее строение. Мы адаптировали известные полуэмпирические методы метеорной физики к решению задачи взаимодействия планетезималей с газовой средой диска. Решение уравнений движения и абляции планетезималей производится в предположении постоянства коэффициентов сопротивления, теплопередачи, абляции и коэффициента формы. Проведено моделирование процессов аэродинамического торможения, абляции и захвата вещества планетезималей в аккреционных дисках Юпитера и Сатурна. Предполагается, что планетезимали состоят из вещества, близкого по своим свойствам к кометному материалу. Проведены серии расчетов потери массы планетезималей при различных коэффициентах абляции на расстояниях Ганимеда, Калисто и Титана от центральной планеты. Показано, что на величину захваченной массы в основном влияют процессы аэродинамического торможения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЛОВОГО СОСТАВА СИЛИКАТНОЙ ЛУНЫ НА ОСНОВЕ ИНВЕРСИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

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

(e.kronrod@gmail.com) тел.: 8 (915) 355 80 90

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 18-05-00225, 17-35-50099 мол_нр), программы Президиума РАН № 17

Проведено исследование валового состава силикатной Луны (кора + мантия, BSM) на основе инверсии гравитационных и сейсмических данных. Показано, что распространенность тугоплавких оксидов в мантии в зависимости от термального состояния можно разделить на Холодные модели BSM (валовое содержание Al_2O_3 ~ 3.0-4.6 мас.% покрывает содержание Al_2O_3 в силикатной Земле - Bulk Silicate Earth, BSE) и Горячие (обогащены Al_2O_3 ~ 5.1-7.3 мас.% по сравнению с BSE). Оба типа моделей BSM характеризуются практически постоянными значениями валовых концентраций FeO ~ 12.2-13.2 мас.% и MG# 80-81.5, которые резко отличаются от BSE. Для геофизически возможного распределения температур силикатная фракция Луны обогащена FeO и обеднена MgO по отношению к BSE.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ МАГНЕЗИТА В СИСТЕМЕ ГАРЦБУРГИТ-ВОДОСОДЕРЖАЩИЙ КАРБОНАТНЫЙ РАСПЛАВ ПРИ 5.5 ГПА И 1200-1350°C

Крук А.Н., Сокол А.Г. (ИГМ СО РАН)

krukan@igm.nsc.ru тел.: +7(383)3308043

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект №0330-2016-0007)

Исследования проведены с использованием гарцбургита и смеси, моделирующей стабильный в условиях субкратонной литосферы карбонатный расплав (Са#=21, К₂О=5.8 мас.%). Мольное отношение $X_{(CO_2)}$ ($CO_2/(CO_2+H_2O)$) в системе варьировали от 0.39 до 0.56.

В изученной системе при температуре 1200°C во всем диапазоне $X_{(CO_2)}$ магнезит сосуществует с оливином, ортопироксеном, гранатом и расплавом. Са# закаленного расплава с уменьшением $X_{(CO_2)}$ меняется слабо (~26), но увеличивается содержание SiO₂ (от 6.4 до 8.7 мас.%). При 1350°C и $X_{(CO_2)}$ =0.56 магнезит стабилен в той-же оливинсодержащей фазовой ассоциации. Однако снижение $X_{(CO_2)}$ до 0.39 приводит к образованию безоливиновой ассоциации Орх+Grt+Mst+Liq. При этом Са# расплава уменьшается с 27 до 20, а содержание кремнезема достигает 11.3-12.0 мас.%.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что в основании субконтинентальной литосферы магнезит может образовываться за счет метасоматоза перидотитов под воздействием водосодержащих карбонатных расплавов/флюидов в температурном диапазоне, характерном для наиболее глубоких перидотитовых ксенолитов из кимберлитов.

ПОВЕДЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВОДА-ПОРОДА В ХЛОРИДНЫХ СРЕДАХ

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

kubrakova@geokhi.ru, тел.: 8(499)137-83-97

С целью выяснения возможности переноса ЭПГ высокосолевыми хлоридными растворами выполнено моделирование поведения палладия и платины в условиях низкотемпературного гидротермального преобразования серпентинитов океанической коры. В динамических экспериментах вода-порода с использованием колонок, заполненных измельченными ультраосновными породами океанического дна (гарцбургитовыми серпентинитами СОХ с разной степенью карбонатизации), установлено, что эффективность переноса палладия зависит от степени измененности перидотитов и в условиях эксперимента составляет 80-100%. Предполагается, что транспорт палладия осуществляется в результате образования прочного комплексного соединения с тиосульфат-ионом, который является промежуточным продуктом окисления в системе «сульфид-сульфат». Платина, гидролизующаяся при околонеutralных рН и не образующая соединений с тиосульфат-ионом, полностью удерживается серпентинитами. Таким образом, подтверждена более высокая подвижность палладия в ходе низкотемпературного преобразования абиссальных перидотитов и зависимость характера его распределения в изученных породах от процессов серпентинизации и карбонатизации.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОСРЕДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ (ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ,
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ)**

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

amkouzin@ya.ru тел. 89169075314

Кислород организует химические связи во всех породообразующих минералах. Низкая поляризуемость атомов кислорода обеспечивает упругий и электромагнитный способы передачи энергии, а также определяет характер процесса разрушения. Именно упругие свойства являются доминирующим свойством, через которые в основном осуществляются энергетическое взаимодействие.

Кислород входит в химический состав воды, тем самым, образуя общность свойств (в том числе упругих) между горными породами и водными растворами. Их вариации несут информацию об изменении структуры и состава геологической среды, ими объясняется фундаментальное свойство геосреды – конвергенция геопроцессов. Конвергентность геосреды позволила разработать единый подход (модель) к изучению сейсмичности и образованию месторождений флюидного генезиса.

У воды самая высокая диэлектрическая проницаемость. Вода является самым сильным растворителем. С конвективными гидротермальными системами связаны процессы в очаге землетрясений и образование месторождений.

Кислородными и водородными связями объясняется эффективность в изучении среды сейсмическими методами, основанными на упругом взаимодействии в геосреде. Разделение по упругости на мягкие и жесткие сейсмические неоднородности определяет структуры миграции и локализации флюида. Таким образом, создана единая методологическая основа интерпретации сейсмических данных.

ОТОБРАЖЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ФЛЮИДА ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Кузин А.М. (ИПНГ РАН)

amkouzin@ya.ru тел. 89169075314

В основе интерпретации данных сейсмического метода лежат упругие свойства горных пород и сейсмические эффекты, вызванные структурой геосреды. Обычно упругие свойства коррелируются при интерпретации с вещественным составом на основании чего строится сейсмическая модель. На вещественном факторе основано большинство моделей геосреды по данным ГСЗ. Однако сравнение зависимостей отношения скорости продольной волны к поперечной (V_p/V_s) от содержания SiO_2 в породе и флюида показало более сильную зависимость V_p/V_s от флюида и его фазового состава. Оказалось, что сейсмические разрезы, интерпретированные по флюидной модели, лучше согласуются с другими геолого-геофизическими данными.

Для метода отраженных волн (МОГТ) большой объем данных в комплексе с бурением позволяет во многих случаях идентифицировать литологию в осадочном разрезе. В консолидированной коре интерпретация по интенсивности сейсмической записи для прогноза литологии оказывается в ряде случаев ошибочной. Результаты физического моделирования свидетельствуют, что основным фактором влияния на интенсивность записи является фазовый состав флюида.

Таким образом, прогноз вещественного состава будет некорректен без учета содержания, физического состояния и сейсмических эффектов при распространении упругих волн.

ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ ВОДОРОДА НА РАСТВОРИМОСТЬ И ФОРМЫ РАСТВОРЕНИЯ N–C–H–O ЛЕТУЧИХ В БАЗАЛЬТОВЫХ РАСПЛАВАХ ПРИ 1.5 ГПа и 1400°C

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

Kurum46@mail.ru

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00713, Программы 22П Президиума РАН

Получены новые экспериментальные данные по содержанию и формам нахождения N, C и H в магматических расплавах базальтового состава, равновесных с жидкими сплавами железа при 1.5 ГПа и 1400°C в условиях контролируемой летучести водорода (f_{H_2}). Эксперименты выполнены на установке типа цилиндр–поршень. Для регулирования f_{H_2} использована двухкамерная Pt капсула с исследуемым образцом и графитовым диском в верхней камере и кислородным буфером с добавкой воды в нижней камере. В качестве буферных систем использовались W-WO₂, Fe-FeO, Ni-NiO, Co-CoO. Исходным материалом служила тонкодисперсная смесь природного Fe-базальтового стекла и нитрида кремния Si₃N₄ (5 мас.%) в качестве источника азота. Продукты опытов, представляющие собой стекла с включением глобулей сплава Fe, анализировались методами электронного микросондового анализа и Фурье-ИК спектроскопии. С увеличением f_{H_2} в системе летучесть кислорода ($\Delta \lg f_{O_2}(IW)$) уменьшается от -1.5 (буфер Co-CoO) до -2.1 (буфер W-WO₂). При этом содержание азота и углерода в силикатном расплаве существенно возрастают: N от 0.4 до 0.75 мас.% и C от 1.75 до 2.7 мас.%. Содержание FeO в расплавах с увеличением f_{H_2} и, соответственно, уменьшением f_{O_2} уменьшается от ~10 до 5 мас.% вследствие восстановления железа и перехода его в металлическую фазу. Общее содержание воды (H₂O+OH⁻) в расплавах, определенное методом ИК спектроскопии, по мере их восстановления уменьшается от 5.65 до 2.19 мас.%. Кроме молекул H₂O и OH⁻-групп методом ИК спектроскопии установлено присутствие в силикатных расплавах молекул и комплексов со связями N–H (NH₃, NH₂⁻, NH₂⁺, NH₄⁺), C–H (CH₄), C=O, C–N, а также молекул N₂, H₂, и CO₂. Предполагается, что повышение растворимости C и N с увеличением f_{H_2} связано с образованием в расплаве дополнительных количеств C–H и N–H соединений.

**ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ-НАХОДОК
НЕОПРЕДЕЛЕННОГО ГЕНЕЗИСА**

Куюнко Н.С., Скрипник А.Я., Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН)

AVAL37@mail.ru тел.: 8 (496) 522 19 88

Работа частично поддержана Программой № 28 Президиума РАН

Проведены термолюминесцентные исследования семи образцов-находок неопределенного генезиса, поступивших в коллекцию метеоритов ГЕОХИ РАН с целью установления возможности их внеземного происхождения. Идентификация выпавших на Землю метеоритов не вызывает трудностей при наличии коры плавления, характерного рельефа поверхности или кратера на месте находки образца. Однако часто происхождение находки неопределенно, и только привлечение прецизионных методов анализа позволяет установить природу вещества. Под действием космического излучения в минеральных компонентах метеоритов накапливаются следы радиационных нарушений, которые при нагреве вещества обуславливают термолюминесцентное свечение, лежащее в основе термолюминесцентного метода исследования. Ранее нами было показано, что информация о термолюминесцентных свойствах находки (интенсивность свечения, положение максимума и характерные особенности кривой высвечивания) в сопоставлении с аналогичными характеристиками метеоритов разных химических классов могут позволить сделать вывод о возможности (или невозможности) внеземного происхождения найденного объекта. В данной работе выполнены измерения термолюминесценции естественной и наведенной в лабораторных условиях рентгеновским излучением и проведено сравнение с таковыми для большой группы метеоритов.

НЕРАВНОВЕСНЫЙ ЭНСТАТИТОВЫЙ ХОНДРИТ Adhi Kot EN4: ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА.

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

lavza@mail.ru тел. 8-496-52-2-19-88.

Методом ИНАА определены содержания микроэлементов в минеральных фракциях из неравновесного энстатитового хондрита Adhi Kot EN4. Полученные данные позволили выделить несколько особенностей в составе метеорита. 1. Пять акцессорных минералов (кристобалит, оливин, желтый пироксен, сфалерит и осборнит) обогащены тугоплавкими элементами Ba (256 – 1718 x CI), Ca (1.7 – 3.1 x CI), Sc (1.0 – 4.5 x CI), La (1.7 – 23 x CI), Sm (1.3 – 20 x CI), Eu (1.7 – 3.1 x CI), Yb (2.8 – 14 x CI), Lu (5 – 20 x CI) относительно их распространенностей в CI хондритах на средний фактор 102. 2. Большая часть фракций обогащена тяжелыми редкими землями $[Lu/Lu(CI)] / [La/La(CI)] = 1.8$ (среднее значение) и имеют Eu- минимум $[Eu/Eu(CI)] / [Sm/Sm(CI)] = 0.66$ (среднее значение). 3. Все акцессорные минералы обогащены среднелетучими сидерофильными элементами As (1.5 – 403 x CI), Sb (6.4 – 462 x CI) и Cu (1.2 – 865 x CI). 4. По сравнению с тонкозернистыми фракциями и акцессорными минералами, энстатиты и плагиоклазы обеднены тугоплавкими элементами, за исключением Sc (1.1 – 2.2 x CI). 5. Все фракции минералов обеднены Cr, за исключением сфалерита (6.1 x CI). Предполагается, что такое распределение микроэлементов в акцессорных минералах связано с высокотемпературной небулярной конденсацией.

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РОСТА КАЛЬЦИТА НА ПОВЕРХНОСТИ ПРИРОДНЫХ МЕЛОВ

Лакштанов Л.З. (ИЭМ РАН), Охрименко Д.В. (Копенгагенский университет), Карасева О.Н. (ИЭМ РАН)

olga@iem.ac.ru, тел.: +7(916)5222993

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00234-а

В связи с проблемой чрезвычайно низкой скорости перекристаллизации морских известняков проведено экспериментальное исследование осаждения кальцита на поверхности образцов мела, различающихся содержанием органического вещества. Результаты показывают, что зависимость скорости осаждения кальцита от пересыщения экспоненциальна, что указывает на рост, обусловленный поверхностным зародышеобразованием, в отличие от чистого кальцита, кинетика осаждения на котором подчиняется параболическому закону. Значения свободной поверхностной энергии, полученные из анализа кинетики осаждения, близки для всех мелов и находятся в интервале между таковыми для кальцита и фатерита. Поэтому можно сделать вывод, что анализ кинетики осаждения кальцита на поверхностях мела в соответствии с механизмом роста, обусловленным поверхностным зародышеобразованием, приводит к реалистичным физическим параметрам.

Скорости осаждения кальцита на поверхности мела при наименьшем пересыщении, используемом в этой работе, на 3 порядка ниже, чем на поверхности кальцита. Это означает, что при перекристаллизации мела - доминирующем процессе в диагенезе осадков, когда пересыщение чрезвычайно мало, перекристаллизация может быть практически подавлена. Таким образом, наряду с другими возможными причинами ингибирования, исследованный нами механизм осаждения кальцита, обусловленный поверхностным зародышеобразованием, может быть причиной чрезвычайно низких скоростей перекристаллизации мела.

ВЕСЭМПГ-2018 - 094

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РУЧЬЯХ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЕРА ЦИПРИНГА
(СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ): ЛИТОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТ**

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

lapitsky@geol.msu.ru; тел.: 8(495) 939 29 61

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ [16-55-150002-НЦНИ_а](#), [18-05-00162_а](#).

Было исследовано 26 ручьев, дренирующих архейские граниты и ранние протерозойские интрузии бассейна озера Ципринга. Отбор образцов проводился в течение 4 лет в летний меженный период. В исследуемых пробах были определены содержания основных катионов и анионов, микроэлементов и растворенного органического углерода. Полученные результаты были сопоставлены с составом коренных пород, осадков (метеорных вод), подземных вод и питающих болот для оценки их влияния на микроэлементный состав исследованных водотоков.

Установлено, что в бореальных ландшафтах транспорт микроэлементов в малых потоках во многом определяется местной топографией и ландшафтом (например, наличие питающих водотоки болот), а не только литологией коренных пород.

УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЯДРА ЛУНЫ

Лебедев Е.Б., Зевакин Е.А., Зевакин Д.Е. (ГЕОХИ РАН)

leb@geokhi.ru, ezevakin.zev@yandex.ru, тел. 8-916134 69 63, 8(499)137 55 71.

Рассматривается устройство на основе высокоскоростной центрифуги, которое является уникальным средством для исследования ряда физико-механических процессов, а также для широкого практического применения в отдельных важнейших отраслях промышленности. Особенностью такого комплекса является создание поля центробежных сил, которое идентично гравитационному полю.

Создание в предполагаемом устройстве мощного поля центробежных сил позволяет моделировать процессы, происходившие при образовании Луны и других планет, в частности, можно исследовать разделение жидкостей и кристаллов в зонах частичного плавления, аккумуляцию и осаждение металлической фазы в условиях частичного плавления исходного планетарного вещества.

Для моделирования процессов образования металлического ядра Луны, разделения жидкой и кристаллической фаз в зонах частичного плавления в рассматриваемое устройство вводится система нагрева области расположения исследуемого вещества, система измерения и регулирования температуры нагрева.

Для повышения эффективности моделирования и исследования вышеперечисленных процессов в устройстве содержится система ультразвукового воздействия на исследуемые процессы, включающая в себя систему генерирования ультразвуковых колебаний, систему управления параметрами этих колебаний, систему передачи исследуемых параметров от быстровращающихся элементов комплекса к стационарным.

Устройство позволяет создавать, отрабатывать и доводить до совершенства специальные прорывные ультрасовременные технологии для получения сверхчистых материалов, в том числе материалов и сплавов со специальными свойствами.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФЛЮИДОВ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА ПОРОД (КВАРЦА, КВАРЦИТА И ДР.) ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ (В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ КОРОВЫХ ВОЛНОВОДОВ)

**Лебедев Е.Б. (ГЕОХИ РАН), Жариков А.В. (ИГЕМ РАН),
Кононкова Н.Н.(ГЕОХИ РАН)**

leb@geokhi.ru, vil@igem.ru

Исследования особенностей изменения скоростей продольных V_p и поперечных V_s волн глубинных пород в присутствии воды представляется исключительно важным для геохимической интерпретации природы сейсмической расслоенности литосферы, ее аномальных зон особенно в областях активной тектонической и гидротермальной деятельности. При высоких давлениях и температурах получено большое количество данных, главным образом в сухих условиях. Экспериментальные исследования в присутствии летучих компонентов показали существование сильного влияния воды и различных растворов на физико-химические свойства расплавов и пород в результате минеральных реакций и происходящих изменений структуры пород и магматических расплавов.

Было проведено экспериментальное изучение влияния флюидов на упругие свойства ряда пород (песчаника, кварцита, амфиболита, обсидиана, гранита, базальта, пироксенита, серпентинита и др.) в условиях возможных высоких температур и давлений, характерных для средней части континентальной земной коры и верхней мантии. Исследования проводились при давлении флюида 300 МПа и температурах до 850°C. Полученные результаты показали сильное влияние флюидов на упругие свойства пород. В породах в результате минеральных реакций с растворами (нейтральными, кислыми и щелочными) происходят изменения микроструктуры и, как следствие, изменения упругих свойств.

Для континентальной коры влияние летучих компонентов на физико-химические свойства может быть приурочено к различным тектоническим областям, характеризующимся аномальным поведением сейсмических и электрических свойств. Эти области могут быть связаны со скоплениями флюидной фазы в глубоких трещиноватых слоях, в областях протекания метаморфических реакций, проявлением коровых волноводов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ПИРОП + ЭНСТАТИТ = ФЛОГОПИТ В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА $\text{H}_2\text{O-KCl}$ ПРИ 5 ГПа В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМАМ МОДАЛЬНОГО МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА.

Лиманов Е.В., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Варламов Д.А. (ИЭМ РАН)

valkil@yandex.ru тел: (496)522-58-51

Поддержка: РФФИ (16-05-00266)

В работе приведены предварительные результаты экспериментального исследования реакции $\text{En}+1/3\text{Prp}+[2/3\text{KCl}+1/3\text{H}_2\text{O}] = 1/3\text{Phl}+1/3\text{Cl-Phl}$ в присутствии флюида $\text{H}_2\text{O-KCl}$ с исходными $X_{\text{KCl}} = 0.05-0.4$ при давлении 5 ГПа и температурах 900-1250°C. Увеличение концентрации KCl ведет к уменьшению количества граната и ортопироксена, так что при $X_{\text{KCl}} = 0.4$ флогопит становится доминирующей фазой. Рост концентрации хлорида стабилизирует флогопит в области более высоких температур. Пироп первым исчезает при увеличении концентрации KCl во флюиде, а затем исчезает Al-содержащий ортопироксен. Реакция $\text{En}+1/5\text{MgTs}+[2/5\text{KCl}+1/5\text{H}_2\text{O}] = 1/5\text{Phl}+1/5\text{Cl-Phl}$ проявляется в снижении содержания Al в ортопироксене с увеличением X_{KCl} в стартовом флюиде, а также в росте содержания Cl в слюде, которое достигает 0.6-0.8 мас.% при $X_{\text{KCl}} > 0.2$. Эксперименты продемонстрировали, что соотношение концентраций Al в ортопироксене и Cl во флогопите является хорошим показателем активности KCl во флюиде и может использоваться для количественной ее оценки, а, значит, и концентрации KCl в водно-солевых флюидах в процессах модального мантийного метасоматоза.

МЕДНОЗОЛОТОСУЛЬФИДНАЯ ФАЗА НА ПОВЕРХНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГАЛЕНИТА

Липко С.В., Таусон В.Л., Бычинский В.А. (ИГХ СО), Арсентьев К.Ю. (ЛИН СО), Балаклеяский Н.С., Попович А.А., Харламов Н.Г., Логинов Б.А. (НИУ МИЭТ)

slipko@yandex.ru тел.: (3952)429967
ГРАНТ РФФИ № 18-05-00077

Проведены эксперименты по получению многофазных ассоциаций, образующихся в гидротермальных условиях. В работе применяли традиционную методику гидротермального термоградиентного синтеза при 450°C и давлении 1 кбар с 15-градусным перепадом температуры по внешней стенке автоклава. Использовали растворы на основе хлорида аммония, в систему $\text{ZnS-PbS-Cu}_2\text{S-Fe-S}$ добавляли по 1% благородных металлов (Au, Pt, Pd), чтобы после опыта изучить их распределение в поверхности полученных кристаллов. Установлено, что поверхность галенита может реагировать на изменение концентрации минерализатора и содержания серы изменением морфологии и образованием на ней микрофаз. Поведение Au специфично, особенно для галенита. Методом балансовых расчетов и полуколичественного анализа (сэм-эдс) был определен примерный состав наблюдаемой медно-золотосульфидной фазы – $\text{Cu}_{1.1}\text{Au}_{0.9}\text{S}$. Расчет свободной энергии Гиббса ее образования выполнен через величины химических потенциалов независимых компонентов с помощью по «селектор» ($\Delta_f G = -17028.7$ кал/моль).

УДАРНЫЙ МЕТАМОРФИЗМ И МИНЕРАЛЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В L6 ХОНДРИТАХ DHO FAR 717 И 864

Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН), Офудзи Х. (Университет Эхиме, Мацуяма, Япония), Каги Х. (Токийский университет, Токио, Япония), Бадюков Д.Д. (ГЕОХИ РАН)

klitasov@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00851

Проведено детальное минералогическое исследование ударно-расплавных жил в хондритовых метеоритах группы L6 Dhofar 717 и 864. Исследования проводились методами сканирующей электронной микроскопии, рамановской спектроскопии, микрофокусной рентгеновской дифрактометрии, просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ). При подготовке препаратов для ТЕМ использовали метод сфокусированных ионных пучков (FIB). Первичные минералы основной массы представлены оливином (Fe_{25}), ортопироксеном ($Fe_{21-22}Wo_{1-2}$), клинопироксеном (Fe_8Wo_{45}), маскелинитом ($Ab_{87}An_{10}Or_3$), хромитом, фосфатами (апатит и мерриллит), троилитом и Fe-Ni сплавом. В основной массе выделяются ударно-расплавные жилы (SMV) толщиной до 1 см. Они состоят из фрагментов первичных минералов, часто преобразованных в высокобарические модификации, и закаленного расплава, состоящего из силикатов, троилита и Fe-Ni сплава. Микрокристаллические агрегаты рингвудита (Fe_{27-36}) (часто совместно с вадслеитом) полностью замещает оливин в обломках породы внутри SMV. Плагиоклаз преобразован в жадеит и лингунит. В хондрите Dhofar 717 был обнаружен туит, который образовался по хлорапатиту. В хондрите Dhofar 864 некоторые зерна ортопироксена замещены микрокристаллическим агрегатом червеобразных кристаллов с различной железистостью, соответствующей $Fe\# = 100Fe/(Fe+Mg) = 13, 22$ и 30 . Интерпретировать сосуществование трех фаз ортопироксенового состава с позиции фазовой диаграммы $MgSiO_3$ - $FeSiO_3$ невозможно, поэтому эта ассоциация вероятно содержит метастабильную фазу. Фазы с меньшей железистостью интерпретируются как мэйджорит ($Fe\#=22$) и акимотоит ($Fe\#=13$) на основании рамановской спектроскопии. В хондрите Dhofar 717 также были найдены подплавленные зерна ортопироксена с зонами акимотоита и мэйджорита. Ассоциации высокобарных фаз в хондритах Dhofar 717 и 864 свидетельствуют о высоких пиковых параметрах в области стабильности бриджманита. Ключевыми ассоциациями, пересекающимися на разных фазовых диаграммах, полученных в статических экспериментах при высоких давлениях, являются также вадслеит + рингвудит и лингунит + мэйджорит, что отвечает полям P-T-параметров 18-25 ГПа и 2200-2400 °С и ассоциации, показывающие твердофазные переходы ортопироксена в мэйджорит, акимотоит и бриджманит. Наличие акимотоита связано либо с резким сбросом пиковых температур, либо с быстрой кинетикой трансформации бриджманита в акимотоит.

ГЕНЕЗИС АЛМАЗА И АССОЦИИРОВАННЫХ ФАЗ: СОГЛАСОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Поддержка – Программа Президиума РАН I.8П «Физика конденсированных сред».

Согласование аналитических, экспериментальных и изотопно-геохимических данных раскрывает роль физико-химических механизмов в парагенезисе алмазов с минералами мантийных перидотитов, пироксенитов и эклогитов.

Петрохимические тренды для мантийных без-алмазных и алмазоносных пород, а также включений в алмазах косвенно свидетельствуют об ультрабазит-базитовой эволюции мантийных магм и алмазообразующих расплавов.

Физико-химические механизмы эволюции раскрываются в экспериментальных диаграммах плавления многокомпонентных мантийных систем с граничными составами, представительными для мантийного вещества. Для условий верхней мантии ультрабазитовую эволюцию перидотит-пироксенитовых составов контролирует перитектическая реакция ортопироксена и расплава с образованием клинопироксена. Дальнейшую ультрабазит-базитовую эволюцию к эклогитовым составам обеспечивает перитектическая реакция оливина и жадеит-содержащего расплава с образованием граната. В условиях нижней мантии для ультрабазит-базитовой эволюции магматизма важна перитектическая реакция бриджменита и расплава с образованием стишовита (эффект стишовитового парадокса). Все физико-химические механизмы реализуемы в режиме фракционной кристаллизации.

Вариации изотопных составов $\delta^{13}\text{C}$ природных алмазов с включениями перидотитовых и эклогитовых минералов характеризуются гистограммой их распределения с заметным перекрытием интервалов $\delta^{13}\text{C}$ для обоих парагенезисов. Однако эклогитовый интервал существенно расширен с уменьшением величины $\delta^{13}\text{C}$ за пределы перекрытия. Это согласуется с диаграммой фракционной кристаллизации алмазов и минералов обоих парагенезисов по экспериментальным данным. Содержание изотопа ^{13}C и величина $\delta^{13}\text{C}$ для материнских силикат-карбонат-углеродных расплавов понижаются на стадии заключительной близосolidусной кристаллизации базитовых алмазов. При этом интенсифицируется формирование карбонатных минералов и, соответственно, их фракционное удаление. Регулятором является изотопный обмен в материнских расплавах между углеродом карбонатных компонентов и растворенным атомарным углеродом, что показано в опытах по синтезу алмаза в карбонат-углеродных расплавах

Аналитические, экспериментальные и изотопно-геохимические данные согласованы на основе мантийно-карбонатитовой теории генезиса алмаза

СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СТЕКЛАХ ИМПАКТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (НОВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ ФУРЬЕ-ИК СПЕКТРОСКОПИИ)

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

lukanin@geokhi.ru тел.: 8(499)137-30-55

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00713, Программы 22П Президиума РАН

Для выяснения особенностей поведения летучих компонентов при высокоскоростных ударных событиях методом Фурье-ИК спектроскопии определены содержания воды в тектитовых и импактитовых стеклах различного типа. Коллекция образцов включала тектиты из различных «ареалов рассеяния» в Центральной Европе (*молдавиты*, 5 обр.), ЮВ Азии (*индошиниты*, 7 обр.; *филлиппиниты*, 2 обр.), Австралии (*австралиты*, 2 обр.), а также тектитоподобные *иргизиты* из кратера Жаманшин в Казахстане (3 обр.) и *стекла из Ливийской пустыни* (2 обр.). Впервые были сделаны определения воды в импактитах *кратера Эльгыгыгтын*, Чукотка (7 обр.). Практически вся вода в стеклах находится в виде ОН – групп, которая проявляется на ИК спектрах в виде полосы поглощения, характерной для фундаментальных деформационных колебаний связи О-Н с максимумом при ~ 3600-3500 см⁻¹. Содержание воды в тектитах не превосходит 0.04 мас.%, в иргизитах и импактитах оно значительно выше (0.06-0.18 %), а в ливийских стеклах достигает 0.43 мас.%. По степени обогащенности водой различные виды импактных стекол (расплавов) располагаются в следующий ряд: тектиты сплэш типа – тектиты типа Муонг-Нонг – тектитоподобные импактиты и импактные бомбы – расплавные импактиты в ударных кратерах. Температура и степень декомпрессии импактных расплавов являются главными факторами, определяющими в них содержание воды.

О ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ЛИТОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТОНКОЗЕРНИСТОЙ ФРАКЦИИ ЭНСТАТИТОВЫХ ХОНДРИТОВ

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

ajull@mail.ru тел.: 8 (49652)219 88

Представлены результаты анализа трендов фракционирования литофильных элементов разной летучести в тонкозернистой фракции энстатитовых хондритов EN и EL групп, различающихся как по химическому составу, так и по интенсивности вторичных ударных и термальных метаморфических процессов, действовавших в их родительских телах. Установлено, что общей особенностью состава этой фракции хондритов является ее обеднение Fe и Ga, входящими в Fe,Ni-фазу метеоритов, и обогащение литофильными элементами, особенно Na, Ca, Sc и Cr. Также можно отметить обогащение тонкозернистой фракции хондритов La относительно других редкоземельных элементов. Причем, величина этого обогащения коррелирует с таковой для Ca, основной фазой-носителем которого в данной группе метеоритов является ольдгамит (CaS). Подобие трендов фракционирования литофильных элементов в тонкозернистой фракции энстатитовых хондритов с разной степенью метаморфизма свидетельствует об отсутствии заметного влияния вторичных процессов в родительских телах метеоритов на ее состав. Следовательно, наблюдаемые различия в составе этой фракции энстатитовых хондритов в значительной степени обусловлены присутствием в ней редких акцессорных минералов с высоким содержанием литофильных элементов.

НЕФТЬ. НОВЫЕ СВОЙСТВА: ВОЗГОНЫ И ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ.

Макаров В.П. (ИГРМ МГРИ-РГГРУ)

litology-kaf@mgri-rggru.ru

Рассмотрено поведение нефти при воздействии на неё высоких температур в экспериментальных условиях (возгоны нефти) и установлено, что в значительном количестве случаев её распределение описывается полиномом второй степени. Это распределение отождествляется с параболическим уравнением вида $y = Ax^2 + Bx + C$. В семействе параболических уравнений, т.е. уравнений, описывающих распределение параметров вещества одного и того же состава в разных природных условиях, их параметры описываются уравнениями прямой линии $B = mA + M$ и $C = kA + K$ (компенсационные уравнения). Для нефтей эти уравнения приобретают вид $B = -4,089A - 0,489$ и $C = 3,996A - 1,629$. Физический смысл этих компенсаций не ясен.

Интерпретация полиномов опирается на изученное в петрологии представление о распределении примеси между двумя веществами; в данном случае возгон параллелезуется с примесью некоторого вещества. В этом случае распределение возгонов описывается уравнением

$$\ln(\Phi_p/100) - \ln(\Phi_o/100) \approx -[(\Delta H_i/R)^2 (1/T - 1/T_o)^2],$$

где Φ_p - величина фракции при температуре $T^\circ K$, ΔH_i – теплота растворения примеси в нефти. Расчёты показали, что параметры распределений колеблются в пределах: $T_o = 100 - 550^\circ C$, $\Delta H = 1,764 - 2,237$ ккал/Моль, $\Phi_o = 5 - 24\%$. Выявлена статистически положительная связь $T^\circ K$ и ΔH , причем с возрастом значения пары уменьшаются. Установлено, что отношение $\Delta H/T$ имеет размерность энтропии; что позволяет предложить равенство $\Delta S_p \approx 2$ кал/(М• К) = 8,334 Дж/(М• К) и отметить её примерное постоянство во времени в изученном пространстве параметров.

О МЕХАНИЗМЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОРТОКЛАЗОВ В НЕФТЕНОСНЫХ ТЕРРИГЕНАХ ФЕРГАНСКОЙ ДЕПРЕССИИ.

Макаров В.П. (МГРИ-РГГРУ)

litology-kaf@mgri-rggru.ru

Проанализирована возможность перехода ортоклаза в каолинит при выветривании на примере меловых осадочных отложений Ферганской долины. Установлено, что, примерно в 95% выборок между содержаниями минералов корреляционная связь полностью отсутствует. В редких случаях установлена линейная связь между содержаниями калиевого полевого шпата и глинистыми агрегатами (ГА), содержащими монтмориллонит, гидрослюды или серицит. Распределение вида (ГА) = $AKf + B$ ($A < 0$) для минералов- Kf и ГА является исходным. Данное уравнение типичное проявление процесса смешения компонентов, один из механизмов - химическая реакция, например: $2KAlSi_3O_8 + 2H_2O + CO_2 = H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O + K_2CO_3 + 4SiO_2$. Оно отражает непосредственный переход ортоклаза в каолинит Kao . Показано, что при термодин. равновесии для стандартных условий ($T = 298^\circ K$ и $P = 1$ атм.) и $T = 373^\circ K$ $\Delta G^{0}_{298} = 19,36$ ккал/М, во втором - $\Delta G^{0}_{373} = 24,18$ ккал/М. В обоих случаях реакция всегда сдвинута влево; т.е., Kao не образуется за счёт разложения Kf . Проанализированы также реакции: $2KAlSi_3O_8 + 3H_2O = 2KOH + H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O + 4SiO_2$ и $6KAlSi_3O_8 + 2H_2O + 2CO_2 = 2KAl_2(Al_3O_{10})(OH)_2 + 2K_2CO_3 + 12SiO_2$. Многие авторы предлагают стадийный механизм превращения калишпата в каолинит. На первой стадии образуются промежуточные минералы типа монтмориллонита, гидрослюды или серицита, на второй ступени – последние превращаются в каолин. Из этих данных следует, что все слюдистые минералы, в том числе и монтмориллонит, не могут непосредственно замещать Kf при выветривании. В первую очередь это может быть потому, что приведённые выше уравнения не отражают истинные связи между минералами, а потому не позволяют адекватно описать их взаимоотношения.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОГО НАКОПЛЕНИЯ МИКРОКОМПОНЕНТОВ В
РАЗЛИЧНЫХ ГОРИЗОНТАХ ЛАТЕРИТНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ**

Макарова М.А. (геол. ф-т, МГУ), Карасева О.Н. (ИЭМ РАН)

frolikovam@gmail.com; тел.: 8 985 054 88 54
грант РФФИ № 12-05-00509

Проведены эксперименты по адсорбции микроэлементов на различных типах пород латеритных кор выветривания в статических условиях. Были получены результаты по адсорбции микроэлементов в зависимости от pH (3, 4.5, 5.5 и 7) и от начальной концентрации раствора 1ppm-20ppb. В качестве адсорбентов были использованы образцы пород бокситоносного профиля (сверху вниз по разрезу): кираса, бокситы, железистые латериты. Определено, что на фоне высокого содержания Al в растворе в результате частичного растворения гиббсита при pH 3 наблюдается незначительная десорбция большинства микроэлементов. Для Cs, U, Tl, Pb адсорбция в пределах 5-10%. Значительная адсорбция была выявлена для Ga, Sc, причем наименьшие величины адсорбции были получены для образцов бокситов. Это может быть обусловлено более низким содержанием гидроксидов железа, которые являются основными адсорбентами микроэлементов в природной среде. Практически полностью при pH 4.5-7 адсорбируются Be, Y, As, U, Pb, REE. Частичная адсорбция наблюдается для Co, Ni, Cu и Cd. Величины поглощения V, Th и Bi твердой фазой независимо от породы и величины pH составили 98 – 100 %. Экспериментальные данные хорошо согласуются с накоплением микроэлементов в профиле латеритных бокситоносных кор выветривания.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗЕМНЫХ И ЛУННЫХ ИМПАКТНЫХ СОБЫТИЙ — КЛЮЧ К ДИАГНОСТИКЕ ПРОБЛЕМАТИЧНЫХ И ПРОГНОЗУ НОВЫХ РУДОНОСНЫХ АСТРОБЛЕМ

Мальков Б. А. (СГУ, Сыктывкар), Куратов В. В. (ФМИ Коми НЦ УрО РАН), Матвеев В.А. (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар), Холопова А. Л. (ПИН РАН)

malkov36@mail.ru; kuratov@ipm.komisc.ru

В основу предлагаемой системы импактных событий нами заложены следующие принципиальные эмпирические параметры: 1. Длительность галактического года и адекватного ему периода (~215 млн лет) и общее количество галактических лет и периодов (~21), совместно прожитых Землёй и Луной, с момента импактного образования последней ~4.515 млн лет назад. 2. Максимальное число наиболее крупных импактных событий, равное ~10, которое зафиксировано в последнем галактическом году, начавшемся 215 млн лет назад. 3. Все импактные события образуют длинные гомологические ряды, проходящие через разновозрастные галактические периоды в адекватные фазы галактических циклов. Гомологические ряды и периоды представляют, таким образом, понятное и простое космическое расписание импактных событий в виде периодической системы, в которой количество вакансий возрастает в наиболее древних периодах (= галактиках), представляющих для геологов-практиков потенциальный резерв рудовмещающих импактных структур: кратеров и астроблем. 4. Лучшими примерами таких, уже доказанных протерозойских и допротерозойских объектов с их уникальной рудной начинкой, являются астроблемы: Садбери (Канада) ~ 1.850 млрд лет, Вредефорт (ЮАР) ~2. 024 млрд лет и Бангуи (ЦАР) ~3.916 млрд лет. Во всех случаях очевиден гибридный характер их минеральной и рудной начинки, определяемый оптимальным сочетанием геологических и геохимических особенностей земной породной мишени и характером небесного импактора: астероида или кометы. 5. Практика показывает, что особенно сложна диагностика астроблем в мобильных поясах Земли, где конвергентная минерализация трактуется геологами всегда с привычных эндогенных позиций. Но ошибочность такого подхода особенно очевидна на примере проблематичных астроблем Урала, когда многие геофизические, минералогические и другие признаки крупных импактов либо не замечаются, либо трактуются превратно. 6. В заключение отметим две очень важные, но до конца нерешённые наукой проблемы. Это продолжительность Галактического года, которая астрофизиками, к сожалению, точно не определена, что оправдывает другую, индуктивную геологическую оценку его длительности, порядка ~ 215 млн лет. Другая насущная (земная) проблема состоит в том, что ряд достаточно крупных астроблем, типа Карской (Россия), не вписывается по их абсолютному возрасту в известные гомологические ряды импактных событий, занимая промежуточное положение между ними. Для признания статуса таких новых (?) гомологических рядов, сегодня необходима прецизионная изотопная передатировка некоторых астроблем.

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА РЕАКЦИЮ МАГНЕЗИТ-ЖЕЛЕЗО ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 6-16 ГПА

Мартиросян Н.С., Шацкий А.Ф., Литасов К.Д., Чанышев А.Д. (ИГМ СО РАН)martirosyan_naira@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-17-01177*

Термодинамические расчеты и данные по мантийным ксенолитам указывают на то, что на глубинах свыше 250–300 км мантийные перидотиты могут содержать металлическое железо. В подобных восстановленных условиях карбонаты, привносимые в мантию в зонах субдукции, будут вступать в окислительно-восстановительные взаимодействия с мантийными силикатными породами. В данной работе исследовали кинетику протекания данных процессов в системах гидромагнезит–Fe (hMgs-Fe) при 6 и 16 ГПа и перидотит–CO₂–H₂O–Fe при 6 ГПа с использованием многопуансонных прессов. Эксперименты проводились в железных капсулах.

В системе hMgs-Fe образование новых фаз в зависимости от температуры происходит в следующем порядке: при 650°C (6ГПа) и 900°C (16 ГПа) в реакционной зоне фиксируется вюстит; начиная с T 800°C при 6 ГПа и 1000°C при 16 ГПа появляются графит и магнезиовюстит; при 1000°C (6 ГПа), 1100°C (16 ГПа) наблюдается образование карбида Fe₇C₃ в ассоциации с графитом и магнезиовюститом. На основании экспериментов можно предложить следующую схему окислительно-восстановительного взаимодействия: 1) реакция металлического железа с водой с образованием водорода и слоя вюстита; 2) транспорт водорода и железа в составе водного флюида к карбонату и реакция MgCO₃ с H₂ с образованием слоя магнезиовюстита и графита; 3) образование слоя магнезиовюстит+Fe₇C₃+графит в результате встречного транспорта компонентов через водный флюид: С, О и Mg со стороны карбоната и Н и Fe со стороны металлического железа. В системе перидотит–CO₂–H₂O–Fe в реакционной зоне наблюдается магнезиовюстит, который постепенно замещается оливином, карбид и графит. Текстура и состав реакционной зоны хорошо соотносятся с наблюдениями в системе hMgs-Fe при тех же P–T условиях (6 ГПа, 1100°C), что говорит о сходном механизме окислительно-восстановительной реакции.

Кинетические расчеты при 6 ГПа показывают увеличение константы скорости реакции в системе hMgs-Fe на два порядка по сравнению с безводными системами. Полученные кинетические параметры позволяют рассчитать максимальную толщину реакционной зоны за миллион лет при P–T параметрах "горячей" субдукционной геотермы (6ГПа, 1100°C), которая составит в случае взаимодействия hMgs-Fe – 18 м. Если предположить, что все карбонаты океанической плиты находятся в непосредственном контакте с железом, максимальная степень восстановления карбоната в присутствии воды будет достигать 30–40 об. % за миллион лет, в то время как в безводных системах только 4–10 об. % карбонатов могут быть восстановлены при тех же P–T параметрах.

ГРАФИТКОМПАУНД – МАТРИЦА ДЛЯ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА

Мартынов К.В., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН), Некрасов А.Н., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН)

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

После вывода из эксплуатации промышленных и энергетических уран-графитовых реакторов накоплено и продолжает накапливаться большое количество радиоактивных отходов в виде облученного графита. Часть этих отходов, как правило, сменные элементы кладки реакторов, в результате различных инцидентов имеют повышенный уровень активности за счет попавших в них топливных и осколочных радионуклидов. Безопасное захоронение таких РАО возможно только в глубинных могильниках в кондиционированной форме наряду с другими отходами 1-ого и 2-ого классов. В качестве формы для кондиционирования реакторного графита предлагается графитсодержащий компаунд (графиткомпаунд) со связующим (матрицей) из алюмосиликатного стекла. В качестве исходного сырья для матрицы был использован перлит. Графиткомпаунд из смеси измельченного реакторного графита и перлита в массовом соотношении 4:1 был получен методом горячего изостатического прессования в атмосфере аргона при температуре 1250°C и давлении 2 кбар. Показано, что материал не увеличивает объем графитовых РАО за счет устранения исходной пористости графита (20-30 об.%). Он обеспечивает надежное удержание радионуклидов при выщелачивании водными растворами за счет минимизации удельной поверхности и физической изоляции обломков загрязненного графита алюмосиликатной матрицей.

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ГЛИНЯННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ БАРЬЕРЫ ПЗРО

Мартынов К.В., Жаркова В.О., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН)

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

В настоящее время проектируется и сооружается целый ряд пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) разного типа: приповерхностные для РАО классов 3 и 4, глубинный для классов 1 и 2, пункты консервации особых РАО при выводе из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) по варианту «захоронение на месте». Обязательным компонентом всех этих объектов, находящихся в различных гидрогеологических условиях, являются противofильтрационные барьеры из глиняных материалов. В этой связи точное знание компрессионно-фильтрационных характеристик глиняных материалов, доступных на основе существующей минерально-сырьевой базы, имеет решающее значение для обеспечения надежности эксплуатации защитных барьеров. Были изучены образцы каолиновых глин месторождения Кампановское (Красноярский край), бентонитовой глины месторождения 10-й Хутор (Республика Хакасия) и каолин-бентонитовых смесей из этих природных глин, а также глиняной смеси, использованной при захоронении ПУГР ЭИ-2, г. Северск. Параметры деформации и напорной фильтрации образцов в водонасыщенном состоянии были определены методами компрессионного сжатия по ГОСТ 12248-2010 и фильтрационных испытаний в условиях одномерной деформации с нагрузкой до 40 кН (10 МПа) и контролем порового давления до 2 МПа.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТОВ КАТИОННОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА СКИАГИТ – Fe-МЭЙДЖОРИТ

Марченко Е.И. (геол. ф-т МГУ), **Исмаилова Л.С.** (ГЕОХИ РАН),
Еремин Н.Н., (геол. ф-т МГУ), **Бобров А.В.** (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН)

marchenko-ekaterina@bk.ru тел.: 89258589415
Работа поддержана грантом РФФИ №16-05-00419

В работе исследовалось влияние упорядочения катионов Fe^{2+} , Fe^{3+} и Si по 16a кристаллографическим позициям в твердом растворе гранатов скиагит - Fe-мэйджорит с формулами конечных членов $Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}[SiO_4]_3$ и $Fe_3^{2+}(Fe^{2+},Si)_2[SiO_4]_3$ на структуру и физические свойства. В частности, проведено исследование диаграммы зависимости объема от состава твердого раствора, поскольку минал Fe-мэйджорита затруднительно получить экспериментальными методами. Показано, что эффекты разупорядочения приводят к заметному увеличению объемов элементарных ячеек. Это приводит к смене линейной зависимости на нелинейную с увеличением Fe-*maj* составляющей, что согласуется с имеющейся ограниченной экспериментальной информацией. По данным моделирования неупорядоченные конфигурации твердого раствора заметно выгоднее по энергии во всем диапазоне составов, чем их упорядоченные аналоги.

РАСЧЕТ ЭНТАЛЬПИИ СМЕШЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ БИНАРНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ МОНАЦИТОВ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ И АКТИНОИДОВ.

Марченко Е.И (геол. ф-т МГУ), Уланова А.С.(филиал МГУ в Душанбе), Петров В.Г., Митрофанов А.А. (хим. ф-т МГУ), Еремин Н.Н. (геол. ф-т МГУ).

marchenko-ekaterina@bk.ru тел. 8-925-8589415

Разработанный авторами согласованный набор частично ионных потенциалов межатомного взаимодействия для атомистического моделирования монацитов редкоземельных элементов, а также иттрия и плутония обеспечивает отличное описание кристаллических структур и доступные экспериментальные термодинамические характеристики монацитов. Это позволило использовать его для оценки свойств смешения твердых растворов монацитов M^1PO_4 - M^2PO_4 (M - лантаноид либо актиноид). В пределе бесконечного разбавления были определены такие свойства смешения как параметры взаимодействия Q, параметры асимметрии η и значения $\Delta H_{см}$. Показано, что величины $\Delta H_{см}$ сильно зависят от $\Delta R(M^1-M^2)$ и варьируют в диапазоне от сотых кДж/моль до 15,7 кДж/моль для твердого раствора монацита $LaPO_4$ - $LuPO_4$ с максимальной разницей ионных радиусов элементов. Для близких по размеру пар ионов параметр η близок к единице, но с увеличением ΔR он закономерно увеличивается и достигает величины ≈ 1.2 . Методом расчета в репрезентативных сверхъячейках было показано, что параметры взаимодействия испытывают небольшие отрицательные параболические отклонения от аддитивности, что на несколько % понижает значения $\Delta H_{см}$ относительно их оценок в пределе бесконечного разбавления.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТОВ В СИЛИКАТНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ЧАРОИТИТОВ

Марчук М.В. (ИЗК СО РАН), Левин А.В. (ООО ПГК "Сибгеоком")

marin@crust.irk.ru

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-35-00225

Изучены особенности замещения вмещающих пород Мурунского щелочного массива чароитовым субстратом на основе данных, полученных при экспериментальном моделировании в различных многокомпонентных силикатных системах (K, Na, Ca, Fe, Al, Si, Ti, Mn, Sr, Ba, P, F, Cl, S, O, H). Был изучен постепенный переход от неизменных калиевых щелочных пород до практически мономинерального чароитита. Это позволило проследить тренд изменения содержания редких и рассеянных элементов. Схемы распределения редкоземельных элементов показывают привнос как легких, так и тяжелых редких земель при повышении степени изменения исходной породы и увеличении содержания чароитовой составляющей. Спайдер-диаграмма указывает на изменение содержания элементов в процессе чароитообразования и переработки исходной породы. Наблюдается привнос Th, La, Ce, Nd, Sm, Zr, Hf, Tb, Yb, Ba, уменьшение количества Ti, K, содержание Sr, Y, La, Rb, Nb остается практически неизменным.

Проведенное исследование позволяет предположить, что первичный щелочно-карбонатно-силикатный расплав чароитовой минерализации был особенно богат редкими, рассеянными элементами и щелочными компонентами, был относительно низкотемпературным (800-900⁰ С) и отличался неустойчивым составом.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АРГИЛЛИЗАЦИИ
ГРАНИТОВ.**

Медведев В.Я., Иванова Л.А. (ИЗК СО РАН)

liva@crust.irk.ru; тел.:8(3952)427191

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17–05–00819)

Исходными образцами для исследования процессов аргиллизации флюидно-силикатных систем послужили лейкократовые двуполевошпатовые граниты одной из жильных фаз гранитов Мункусардыкского комплекса складчатого обрамления Сибирской платформы (возраст пород 482–485 млн лет) и посткинematические (постскладчатые) серые двуполевошпатовые гранодиориты Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирской платформы (возраст пород 1,85–1,87 млрд лет). Исследования проводились с помощью установки УВД–10000 и в стандартных автоклавах в диапазоне температур 100–200 °С и давлений 0,5–1 кб.

При моделировании процесса аргиллизации галоидного типа по двуполевошпатовым гранитам получены зоны смектитов, по двуполевошпатовым гранодиоритам зоны монтмориллонитов, хлоритов, гидрослюд. Рассматриваются причины и механизм селективного преобразования силикатных пород, определяется влияние импульсного давления на кинетику преобразования изучаемых минералов. Приводятся данные, каким образом флюидная составляющая влияет на процесс аргиллизации.

ПРИРОДНЫЙ КЕРСУТИТ: КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Мельчакова Л.В., Гриценко Ю.Д., Огородова Л.П.,
Вигасина М.Ф. (геол. ф-т МГУ)

Imelchak@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Керсутит принадлежит к сравнительно редкому типу оксо-амфиболов с высоким содержанием титана (до одного атома на формулу). В керсутите проявлен изоморфизм Fe^{3+} , $\text{OH}^- \rightarrow \text{Ti}^{4+}$, O^{2-} ; для него также характерен изовалентный изоморфизм: $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ с образованием крайних членов изоморфных серий: собственно керсутита $\text{NaCa}_2\text{Mg}_3\text{TiAl}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$, ферро-керсутита $\text{NaCa}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{TiAl}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$, ферри-керсутита $\text{NaCa}_2\text{Mg}_3\text{TiFe}^{3+}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$ и ферро-ферри-керсутита $\text{NaCa}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{TiFe}^{3+}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$. Образец природного керсутита из щелочных базальтов Монголии был изучен методами рентгеноспектрального, рентгенографического, термического анализ, инфракрасной спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния. Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Тиана-Кальве проведено определение энтальпии образования из элементов природного керсутита состава $\text{Na}_{0.4}\text{K}_{0.3}(\text{Ca}_{1.6}\text{Na}_{0.4})(\text{Mg}_{2.9}\text{Fe}^{2+}_{0.8}\text{Fe}^{3+}_{0.5}\text{Ti}_{0.6}\text{Al}_{0.7})[\text{Si}_{6.1}\text{Al}_{1.9}\text{O}_{22}](\text{OH})_{0.2}\text{O}_{1.8}$ ($\Delta_f H_{el}^0(298.15 \text{ K}) = -5190 \pm 13$ кДж/моль). На основании калориметрических данных по растворению изученного природного минерала были рассчитаны энтальпии образования из элементов крайних членов изоморфного ряда керсутит $\text{NaCa}_2\text{Mg}_3\text{TiAl}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$ (-12522 ± 15 кДж/моль) – ферри-керсутит $\text{NaCa}_2\text{Mg}_3\text{TiFe}^{3+}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$ (-12061 ± 16 кДж/моль).

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА Fe-Ni-P ПРИ ДАВЛЕНИИ 6 ГПА

Минин Д.А., Шацкий А.Ф., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН)daniil_minin@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-17-01177*

Fe-Ni-P является одной из базовых систем, моделирующих процессы образования ядер в астероидах и планетах. Недавние находки минералов высоких давлений в железных метеоритах (Holtstam et al., 2003; Litasov, Podgornykh, 2017), а также распространенность закалочных текстур с необычным валовым составом Fe-Ni-P-S, обуславливают важность изучения схожих систем при высоких давлениях. Несмотря на то, что модификации метеоритов при высоких давлениях появляются в условиях импактного воздействия за короткий промежуток времени, статические эксперименты при высоких давлениях являются более актуальными для интерпретации ударных процессов в метеоритах, по сравнению с ударно-волновыми экспериментами, где длительность процесса очень короткая. В данной работе мы исследовали фазовые взаимоотношения в системе Fe-Ni-P в диапазоне концентраций фосфора от 0 до 33 мол% P при температурах от 900 до 1600 °C и давлении 6 ГПа. Эксперименты проводили в керамических капсулах ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$), используя многопуансонный прессовый аппарат "Discoverer", установленный в ИГМ СО РАН, Новосибирск. Температуру измеряли и контролировали с помощью W-Re(3/25%) термодпары. В субсолидусных условиях, составы, обогащенные металлом содержат три фазы: Fe-Ni твердый раствор, $(\text{Fe,Ni})_{3-x}\text{P}$, где $x \leq 0.7$ и $(\text{Fe,Ni})_2\text{P}$. Минимум плавления в системе установлен при 950 °C со стороны Ni-P и контролируется эвтектикой Ni₂P-Ni с составом 18 мол.% P. При увеличении температуры поле расплава расширяется в сторону Fe-P. Эвтектика Fe₂P-Fe установлена при 1100 °C и имеет состав 16 мол.% P. Сопоставление полученных данных с составами закалочных расплавов Fe-Ni-P и Fe-Ni-P-S, которые зафиксированы в железных метеоритах, указывают на их образование при высоких давлениях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСА GEOSHEQ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО РАСЧЕТА ХИМИЧЕСКИХ И ИЗОТОПНЫХ РАВНОВЕСИЙ НА ПРИМЕРЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА.

Мироненко М.В. (ГЕОХИ РАН), Поляков В.Б. (ИЭМ РАН), Алена М.В. (ГЕОХИ)

База термодинамических данных и программа расчета химических равновесий комплекса GEOSHEQ для геохимического моделирования модернизирована для хранения термодинамической информации по фракционированию изотопов легких химических элементов и одновременного расчета химических и изотопных равновесий в гидротермальных и гидрогеохимических системах. Расчет основан на минимизации свободной энергии Гиббса системы с учетом присутствия редких изотопологов. Свободная энергия Гиббса $G^*(P, T)$ образования редких изотопологов рассчитывается через свободную энергию образования основного изотополога с учетом величины β -фактора в приближении идеальной смеси изотопов. Таким образом, создан инструмент для моделирования и интерпретации наблюдаемых минеральных и изотопных соотношений и изотопного состава минералов и флюидов. Показаны примеры применения комплекса GEOSHEQ для расчета химических и углеродных изотопных равновесий в гидротермальных системах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СХЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ (СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ, ОСОБО ЧИСТОГО ГРАФИТА И УГЛЕРОДИСТЫХ НАНОСТРУКТУР) ИЗ ГРАФИТОНОСНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ И ПЛАЗМОХИМИИ

Молчанов В.П. (ДВГИ ДВО РАН), Медков М.А. (ИХ ДВО РАН), Достовалов В.А. (ДВФУ)

vpmol@mail.ru, тел.: 8914734 63 65

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00910.

На юге Дальнего Востока открыт новый перспективный источник полезных ископаемых – металлоносные высокоуглеродистые породы Ружинской площади. Они вмещают значительные запасы кристаллического графита, золота, платины и углеродистых наноструктур (фуллеренов, нанотрубок, алмазоподобного углерода). Разработана схема гидрометаллургического извлечения из этих пород стратегических металлов, а также особо чистого (99,97%) кристаллического графита. Последний использовался в качестве исходного материала для проведения плазмохимических исследований. В результате эксперимента выделены наноразмерные углеродистые наноматериалы. Часть из них, возможно, унаследована от природных графитоносных пород. Полученные сведения будут использованы при разработке ресурсосберегающей технологии извлечения полезных компонентов.

ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИМИТИВНЫХ МАГМ ВОСТОЧНОГО
ВУЛКАНИЧЕСКОГО ФРОНТА КАМЧАТКИ

Назарова Д.П., Портнягин М.В. (ГЕОХИ РАН)

nazarovadariap@gmail.com, +7(903)1865530

Температуры кристаллизации примитивных островодужных магм плохо изучены из-за неопределенности в исходном содержании в них H₂O (Plank et al., 2013). Геотермометр, предложенный в работе (Coogan et al., 2014), основан на разделении Al между сосуществующими оливином и шпинелью и позволяет оценить температуры кристаллизации магм.

В этой работе было изучено 4 вулкана Восточного Вулканического Фронта Камчатки (Горелый, Карымский, Авачинский, конус Заварицкого). С помощью микрозонда было проанализировано ~100 пар оливин (Fo₈₄₋₉₁) – шпинель (Cr# 0.4-0.8). Рассчитанные температуры кристаллизации находятся в пределах 1100-1160⁰ С и не показывают значительной корреляции с номером оливина. Это говорит о том, что кристаллизация магм проходила практически при одинаковой температуре, что возможно при кристаллизации, вызванной дегазацией H₂O при малом давлении. Наши результаты показывают низкие температуры кристаллизации магм относительно магм MORB (1150-1270⁰ С) и LIP (1150-1485⁰ С) (Coogan et al., 2014), что может быть связано с охлаждением мантийного клина субдуцирующей океанической плитой.

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ РУДООБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОБРОЕ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ) ПО ДАННЫМ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИИ

Некрасова Н.А., Сильянов С.А., Бурнакова Ю.В. (СФУ, Красноярск)

natalja_nekrasova@mail.ru тел.:+79835032330

Исследованы и типизированы флюидные включения в жильном кварце месторождения Доброе Советского рудного узла в Енисейском кряже. Определены термобарогеохимические параметры гидротермального флюида трех вещественных комплексов руд - температуры общей гомогенизации, эвтектики и плавления льда, температуры частичной гомогенизации и плавления в газонасыщенных растворах, состав газовой фазы. Кварцево-жильные образования месторождения Доброе формировались из гетерогенного раствора при минимальных температурах от 180 до 362 С° с участием высокосолёных флюидов, преимущественно содержащих хлориды Mg и Na, в изменчивых условиях плотности и давления. Газовая фаза минералообразующего флюида имеет углекислотно-азот-метановый состав, с повышенной плотностью двух последних, при отсутствии монокомпонентных представителей. Проведено сопоставление параметров гидротермального флюида золоторудных объектов региона.

ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРА РАЗРУШЕНИЯ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ

Никитин С.М., (ООО «ЛС КАМ»), Скрипник А.Я. (ГЕОХИ РАН), Коротченкова А. (ГИ УрО РАН), Румачик М.М. (ООО «Мелитэк»), Ханин В.А (ООО «Мелитэк»)

Рассматриваются вопросы интерпретации данных определения прочности и деформации обыкновенных хондритов с использованием комплекса испытательных систем (ZWICK Z250, MTS-815, LFM-50 walter+bai AG, стандарт EN ISO 6892-1:2009B) и образцов разных размеров (10....50мм).

В связи с обоснованием выбора обобщенных критериев прочности, максимально отвечающих современным представлениям о процессах разрушения внеземного вещества на разных стадиях образования и эволюции космических тел, методами оптической и электронной микроскопии на приборах Olimpus, VEGA 3 LMH с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments INCA Energy 250/X-max 20, Phenom World XL, выполнен сравнительный анализ структуры разрушения, формы и химического состава разных фракций продуктов дробления метеоритов Царев, Ghubara и SAU-001 и их земных аналогов – габбро и диабаз.

Установленные системные особенности проявления основных механизмов трещинного разрушения заключаются в дифференциальной активизации сдвиговых и отрывных трещин. Последнее позволяет объяснить условия агрегации и устойчивости микрочастиц разных фракций, обоснованно выбрать критерий прочности и определить их численные параметры в терминах внутреннего трения и сцепления.

Разная степень устойчивости элементов системной нарушенности вещества при этом определяет динамику разрушения метеорита. Ударные формы реализуются на фоне статических процессов разрушения материала при вскрытии локально устойчивых внесистемных агрегатов микрочастиц с микроструктурой не соответствующей общему тектоническому плану и позволяющей рассматривать их как реликтовые, относящиеся к ранним стадиям образования космических тел. Таковыми можно считать, например совокупности агрегатов микросферул, которые вскрыты трещинами при разрушении метеорита Царев.

ВЛИЯНИЕ АВТОСМЕШЕНИЯ ПРИМИТИВНОЙ МАГМЫ И ПРОИЗВОДНЫХ РАСПЛАВОВ НА УСЛОВИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ПРОПОРЦИИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ШПИНЕЛИДА (МОДЕЛИРОВАНИЕ ПО ПРОГРАММЕ СОМАГМАТ-5.3)

**Николаев Г.С. (ГЕОХИ РАН), Арискин А.А. (Геол.ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН),
Бычков К.А. (Геол.ф-т МГУ), Бармина Г.С. (ГЕОХИ РАН)**

gsnikolaev@rambler.ru, тел.:(495)939-7003

Выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 16-17-10129)

Начиная с работы (Irvine, 1977), для объяснения природы хромитов в расслоенных интрузивах привлекается механизм автосмещения высокомагнезиальных магм с более низкотемпературными расплавами. Геологический сценарий подобных процессов предполагает инъекции более примитивных магм в частично закристаллизованные кумулаты. Термодинамический анализ такого взаимодействия привел Ирвайна к выводу о расширении поля стабильности шпинелида – относительно обоих компонентов, однако эти соображения не подкреплены оценками конкретных параметров процесса. С помощью программы СОМАГМАТ-5.3 проведено моделирование кристаллизации ультраосновного расплава (19% MgO), предложенного в качестве исходной магмы Бушвельдского комплекса (Wilson, 2015). Затем проводились оценки условий насыщения хромитом гибридных расплавов, отвечающих смешению этого источника и производного расплава после 40% его кристаллизации. Показано, что автосмещение действительно приводит к пересыщению гибридных систем хромитом. При этом избыточное количество шпинелида (при возврате на Ol-Sp котектику) составляют только 0.06-0.08 масс.%, что явно недостаточно для формирования рудных концентраций.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ АНКЕРИТ-ПИРИТ И АНКЕРИТ-ОЛИВИН-ПИРИТ ПРИ РТ-ПАРАМЕТРАХ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

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

I.Novoselov@g.nsu.ru тел.: 8 (953) 889 14 33

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00054).

Экспериментальное моделирование взаимодействий анкерит-пирит и анкерит-оливин-пирит проведено на многопуансонном беспрессовом аппарате высокого давления «разрезная сфера» при давлении 6,3 ГПа, в температурном интервале 1050-1550°C и длительностях 20-40 ч. В системе анкерит-пирит при $T \leq 1250^\circ\text{C}$ установлено образование пирротина в ассоциации с доломитом и пиритом (\pm магнезит), а при более высоких температурах – формирование карбонатного и сульфидного расплавов. Экспериментально продемонстрировано, что снижение концентрации железа в силикатах и карбонатах происходит путём экстракции железа в сульфид и приводит к образованию пирротина или сульфидного расплава состава $\text{Fe}_{0,77-1,05}\text{S}$, а также кристаллизации графита. Взаимодействие анкерит-оливин-пирит при $T \leq 1250^\circ\text{C}$ приводит к образованию пирротина в ассоциации с диопсидом, Са-Мg-карбонатами, оливином, графитом и пиритом. При $T \geq 1350^\circ\text{C}$ установлено формирование карбонатного и сульфидного расплавов, сосуществующих с оливином и графитом. Экспериментально установлено, что процессы, потенциально происходящие в силикатной мантии с участием серо- и углеродсодержащих минералов, сопровождаются генерацией сульфидных и карбонатных расплавов, экстракцией железа из силикатов и карбонатов сульфидными фазами, а также образованием элементарного углерода (графита).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ МЕЛИЛИТОВ

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

logor@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Наиболее важными и самыми распространенными минералами группы мелилитов являются геленит и окерманит. Наличие надежных термодинамических констант для этих минералов необходимо для моделирования условий образования мелилитов в природе, для определения полей устойчивости шлакообразующих смесей и для оптимизации параметров синтеза биокерамики на основе окерманита. Проведено калориметрическое изучение природных мелилитов окерманитового состава $(Ca_{1.8}Na_{0.2})(Mg_{0.7}Al_{0.2}Fe^{2+0.1})Si_2O_7$ (обр. I), $(Ca_{1.6}Na_{0.4})(Mg_{0.5}Al_{0.4}Fe^{2+0.1})Si_2O_7$ (обр. II), $(Ca_{1.6}Na_{0.4})(Mg_{0.4}Al_{0.4}Fe^{2+0.2})Si_2O_7$ (обр. III), и геленита $Ca_{2.0}(Mg_{0.4}Al_{0.6})[Si_{1.4}Al_{0.6}O_7]$ (обр. IV). Методом высокотемпературной калориметрии растворения в расплаве $2PbO \cdot V_2O_5$ при температуре 973 К определены энтальпии образования из элементов исследованных минералов: -3795.8 ± 4.1 (I); -3753.1 ± 5.2 (II); -3735.3 ± 3.7 (III); -3929.2 ± 3.8 (IV) кДж/моль. На основании данных по растворению природных мелилитов рассчитаны значения энтальпий образования окерманита, геленита и алюмоокерманита теоретических составов. Для расчета энергий Гиббса значения стандартных энтропий окерманита и геленита заимствовали в оригинальных работах; отсутствующую в литературе величину $S^\circ(298.15 \text{ K})$ алюмоокерманита оценивали с использованием значений вкладов (S-V) оксидов, учитывая координацию катионов в структуре минерала.

ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ НАТРИЕВЫХ АМФИБОЛОВ — РИБЕКИТА И МАГНЕЗИОРИБЕКИТА

Огородова Л.П., Киселева И.А., Вигасина М.Ф., Гриценко Ю.Д., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)

logor@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Определение термодинамических свойств рибекитов выполнено в рамках цикла исследований кальциевых, магнезиально-железистых и щелочных амфиболов. Изучено два образца: обр. (I) - из зон амфиболизации в железорудных толщах месторождения Кумула (Центральный Казахстан), представленный грубоволокнистыми параллельно-шестоватыми агрегатами серо-голубоватого цвета, и обр. (II) из рибекитовых сланцев Кривого Рога (Украина), представленный параллельно-шестоватыми агрегатами черного цвета. Химические формулы изученных амфиболов, рассчитанные по данным рентгеноспектрального анализа на 46 зарядов, имеют вид: $\text{Na}_{2.0}(\text{Mg}_{2.5}\text{Fe}^{2+}_{0.5}\text{Fe}^{3+}_{1.5}\text{Al}_{0.5})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ (I) и $\text{Na}_{2.0}(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}^{2+}_{2.1}\text{Fe}^{3+}_{1.9}\text{Al}_{0.1})[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ (II). По составу в соответствии с номенклатурой ММА (IMA 2017) образец (I) является магнезиорибекитом, образец (II) – рибекитом. На микрокалориметре Тиана-Кальве методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения получены энтальпии образования из элементов изученных натриевых амфиболов: $\Delta_f H^{\circ}_{\text{el}}(298.15 \text{ K}) = -10791 \pm 10$ кДж/моль (I) и -10261 ± 11 кДж/моль (II). Энтальпии образования из элементов крайних членов изоморфного ряда рибекит – магнезиорибекит были получены на основании экспериментальных данных по растворению изученных амфиболов близких составов: -10027 ± 12 кДж/моль и -10678 ± 10 кДж/моль, соответственно.

АЛМАЗООБРАЗУЮЩИЕ СРЕДЫ И МЕХАНИЗМЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛМАЗА В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ.

Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН)

palyanov@igm.nsc.ru; тел.: 8 (913) 470 99 77

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00054)

Экспериментальные исследования процессов кристаллизации алмаза проведены при контролируемых P - T - fO_2 - X параметрах в различных системах, моделирующих природные алмазообразующие среды, включая карбонатные, силикатные, сульфидные, хлоридные и металлические расплавы, а также флюиды системы C - O - H - N - S . Установлено, что условия кристаллизации алмаза и метастабильного графита зависят от состава среды и определяются P , T параметрами и кинетикой процессов. По экспериментальным данным в интервале P - T параметров образования большинства природных алмазов (4-6 ГПа, 900-1500°C) алмазообразующими средами являются H_2O и C_2O -содержащие ультращелочные карбонатные и карбонат – силикатные расплавы, H_2O - C_2O флюиды и металлические (Fe, Ni, Co) расплавы.

Проведены эксперименты по моделированию процессов образования алмаза. Рассмотрены следующие механизмы: синтез из графита, перекристаллизация, снижение температуры, эволюция состава среды и редокс взаимодействия. Сделана оценка их возможного применения при анализе сценариев природного алмазообразования.

РОСТ И СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СИСТЕМАХ
НА ОСНОВЕ МАГНИЯ

Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Куприянов И.Н. (ИГМ СО РАН)

palyanov@igm.nsc.ru; тел.: 8 (913) 470 99 77

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00054).

Комплексные исследования по кристаллизации безазотных и легированных алмазов проведены в ультравосстановленных системах $Mg\pm X-C$ ($X=Si, Ge$) с целью получения кристаллов с оптически- и магнитно-активными кремний-вакансионными и германий-вакансионными центрами, представляющими интерес для квантовой информатики. Определено влияние P, T параметров (6,5-7,5 GPa, 1500-2200°) на процессы кристаллизации, реальную структуру и свойства алмаза. Установлено, что скорость роста алмаза почти экспоненциально зависит от T и изменяется от 10 мкм/час (1500°С) до рекордных 40 мм/час (2200°С). Определены закономерности роста алмаза, изменения морфологии и дефектно-примесного состава кристаллов в зависимости от соотношений Mg/Si и Mg/Ge в среде кристаллизации. В системе $Mg-Si-C$ установлено эпитаксиальное нарастание муассонита на грани {111} алмаза. Спектроскопические исследования подтвердили легирование кристаллов алмаза примесями кремния и германия. Проведены эксперименты по синтезу алмазов, легированных изотопами $^{70}Ge, ^{73}Ge$ и ^{74}Ge , доказывающих участие германия в структуре соответствующих центров.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ МЕЖДУ ФТОРИДНО-КАЛЬЦИЕВЫМ И ТРАХИРИОЛИТОВЫМ НЕСМЕСИМЫМИ РАСПЛАВАМИ

Перетяжко И.С., Савина Е.А. (ИГХ СО РАН), Котельников А.Р., Сук Н.И. (ИЭМ)

pgmigor@mail.ru; kotelnik@iem.ac.ru

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00518

На установке высокого газового давления в присутствии 10 мас.% воды проведено плавление трех проб обогащенных Са и F трахириолитов. Получена жидкостная несмесимость с разделением на силикатный и фторидно-кальциевый (F-Ca) расплавы. По данным LA-ICP-MS в F-Ca расплаве концентрируются REE (HREE>LREE), Y, Sr, P и Th. Спектр коэффициентов распределения K_d REE и Y между F-Ca и силикатным несмесимыми расплавами имеет максимумы для Eu и Y, а также вогнутую форму W-типа в первой (La-Nd) и четвертой (Er-Lu) тетрадах. При 1250°C и 5.5 кбар F-Ca расплав содержал значительные примеси O, Si и Al. С понижением температуры и давления до 900°C и 1 кбар из F-Ca расплава кристаллизовался флюорит.

КИНЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДА С БАЗАЛЬТОВЫМ РАСПЛАВОМ

Персиков Э.С., Бухтияров П.Г., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)

persikov@iem.ac.ru, pavel@iem.ac.ru, alex@iem.ac.ru, тел.: 8 (49652) 2-50-58
(Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 19).

Роль водорода в природных процессах чрезвычайно многообразна и в последние годы привлекает все большее внимание петрологов и геохимиков. В продолжение наших ранних исследований проведено экспериментальное изучение кинетики и механизмов взаимодействия в системе водород-базальтовый расплав при давлении водорода 100 МПа и температуре 1250 °С. Установлено в кинетических опытах, что несмотря на высокий восстановительный потенциал системы H₂ - расплав, реакции окисления водорода и полного восстановления окислов Fe, Ni, Co в расплаве не идут до конца. В результате исходно гомогенный базальтовый расплав становится гетерогенным, в нем образуются новые фазы: H₂O, небольшие металлические обособления разной структуры, кристаллы высокомагнезиальных оливинов и пироксенов. Этот установленный экспериментально факт вполне согласуется с природными данными о находках небольших количеств металлической фазы, и прежде всего железа и его сплавов с никелем и кобальтом, в магматических породах разного состава и генезиса. Характерно, что многие особенности включений металлической фазы в магматических породах (размеры, морфоструктура, состав) хорошо соотносятся с наблюдаемыми в проведенных экспериментах.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА В БАЗАЛЬТОВОЙ ЛАВЕ – ПУТЬ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАССЫ ПЛАНЕТЫ – ИСТОЧНИКА ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА.

**Печерский Д.М. (ИФЗ РАН), Казанский А.Ю. (геол. ф-т МГУ, ГИН РАН),
Марков Г.П. (ИФЗ РАН)**

diamarmp@gmail.com, тел. 8 (499) 2549105

В базальтовой лаве (удельный вес $2,6 \text{ г/см}^3$) должно происходить оседание частиц металлического железа (удельный вес $7,87 \text{ г/см}^3$). Для экспериментального изучения такого процесса отобран ряд вертикальных разрезов базальтовых лавовых потоков (Жомболок, Малый Енисей, Толбачик), проведен термомагнитный анализ образцов. Результаты показывают, что, сверху вниз в разрезе потока растет концентрация металлического железа. Это позволяет по формуле Стокса для скорости оседания частиц в лаве решить обратную задачу - рассчитать массу Земли. При наличии образцов внеземных магматических пород типа базальтовых лав можно тем же путем оценить массу планеты – источника частиц железа во внеземных базальтах.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА АССОЦИАЦИИ Na-Ca САРБОНАТОВ

Подбородников И.В., Ращенко С.В., Арефьев А.В., Шацкий А.Ф., Литасов К.Д.
(ИГМ СО РАН)

podborodnikov@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00501

Экспериментально установлены следующие равновесные субсолидусные ассоциации в системе Na_2CO_3 - CaCO_3 . При 6 ГПа (Shatskiy et al., 2013c):

- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3$ ($T \leq 1200$ °C)
- $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ ($T \leq 1200$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 + \text{CaCO}_3$ (Arg) ($1175 < T < 1300$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 + \text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{CO}_3)_5$ ($T < 1175$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{CO}_3)_5 + \text{CaCO}_3$ (Arg) ($T < 1175$ °C)

При 3 ГПа (Podborodnikov et al., 2018, in press):

- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ ($T = 850$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ ($T = 850$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 + \text{CaCO}_3$ (Cal) ($975 < T < 1000$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 + \text{CaCO}_3$ (Arg) ($T < 975$ °C)
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ ($T < 825$ °C)

При 0.1 ГПа (Cooper et al., 1975):

- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ ($335 < T < 725$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + \text{CaCO}_3$ (Cal) ($400 < T < 813$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$ ($335 < T < 400$ °C)
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$ ($T < 335$ °C)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3 + \text{CaCO}_3$ (Cal) ($T < 400$ °C)

Кроме этого, показаны твердофазные реакции с понижением давления в системе Na_2CO_3 - CaCO_3 , 6 → 3 ГПа:

- $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ (1)
- $3\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3 \rightarrow 5\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ (2)
- $2\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 \rightarrow 5\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ (3)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{CO}_3)_5 \rightarrow \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 + \text{CaCO}_3$ (Arg) (4)

3 → 0.1 ГПа:

- $2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 \rightarrow 3\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ (5)
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 \rightarrow 3\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$ (6)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{CaCO}_3$ (Cal) (7)
- $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3 + \text{CaCO}_3$ (8)
- $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$ (9)

Реакции 1-9, протекают с понижением мольного объема компонентов, рассчитанного по объемам элементарной ячейки при нормальных условиях. Соответственно, Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$, $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$ и CaCO_3 обнаруженные во включениях в сверхглубинных алмазах, кимберлитовых и оливинах из ксенолитов деформированных гранатовых лерцолитов, могут являться продуктами разложения высокобарических минеральных фаз, установленных экспериментально.

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ
ЖЕЛЕЗНОГО МЕТЕОРИТА С СИЛИКАТНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ МАСЛЯНИНО

Пономарев Д.С., (НГУ), Литасов К.Д., Бажан И.С., Подгорных Н.М. (ИГМ СО РАН)

klitasov@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №17-17-01177

В работе детально описана минералогия и микроэлементный состав минералов железного метеорита Маслянино и обоснована его классификация. По структуре метеорит относится к тонкоструктурным октаэдритам. В металлической матрице выделяются камасит, тэнит и шрейберзит. Крупные выделения троилита связаны с силикатными включениями, кроме этого обнаружены редкие минералы – алтаит и добреелит. В состав силикатных включений входят оливин, ортопироксен, клинопироксен, плагиоклаз, апатит, мерриллит, хромит и графит. Детальный микроэлементный анализ металла позволил отнести метеорит Маслянино к узкой подгруппе Pitts внутри группы IAB, а также отметить сходство с подгруппой Udei Station. Обе подгруппы включают метеориты с силикатными включениями и занимают промежуточное положение между подгруппами sLL (низкие содержания Au и Ni) и sLM (низкие содержания Au и средние Ni). Скорость остывания метеорита Маслянино по металлографическим данным составляет 30–60 °С/млн. лет. Полученные данные согласуются с образованием вещества метеорита Маслянино в результате ударного события, которое привело к удалению внешней хондритно-винонаитовой оболочки. Из оставшейся части родительского астероида в результате последующих более мелких ударных событий образовались метеориты группы IAB (включая метеориты с силикатными включениями) и винонаиты.

СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ХРАНИЛИЩЕ ТЕКУЩИХ ХВОСТОВ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАЮЩЕЙ ФАБРИКИ

Попова Н.А. (ПАО «Полюс»), Лобастов Б.М., Макаров В.А. (ИГДГиГ СФУ)

Lbm02@ya.ru тел.: 8 (923) 27 27 137

Работа выполнена на основании материалов собранных в процессе проведения ревизионных работ на одном из хвостохранилищ золотоизвлекательной фабрики.

По результатам изучения химизма оборотных вод и материала хвостов дана оценка распределения золота и сопутствующих элементов в разрезе залежи, показана неоднородность распределения металлов с глубиной. Определены формы нахождения золота в хвостах. Установлено, что около 30 % находится в обменных формах. Оценено содержание золота в оборотных водах.

При изучении минерального состава хвостов был обнаружен ряд новообразованных минералов: главным образом гипса, скородита, гидроксидов железа, фазы, содержащие сурьму, мышьяк.

Для оценки масштабов проходящих процессов минералообразования и их направленности проведён ряд экспериментов: в оборотные воды хвостохранилища на определённые сроки (1-4 месяца) помещались образцы минералов (пирит, арсенопирит), металлов (ртуть, медь, золото, железо) и некоторых других соединений и элементов (резина, сера, графит) с целью высаждения на них новообразованных фаз, наблюдения травления и т.д.

В результате проведённых экспериментов собран богатый материал, который позволит провести физико-химическое моделирование процессов минералообразования в хвостохранилище.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАНТАНОИДОВ МЕЖДУШЕЕЛИТОМ И ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ РАСТВОРОМ

Попова Ю.А., Бычков А.Ю., Матвеева С.С. (геол. ф-т МГУ)

julka_p@rambler.ru тел. (495)9391239

Коэффициенты распределения лантаноидов между шеелитом и водным раствором были исследованы при температуре 350 °С и 100 °С и при давлении насыщенного пара воды. Подход к равновесию осуществлялся снизу и сверху. При подходе к равновесию снизу исходный раствор не содержал лантаноидов, растворение шеелита приводило к переходу в раствор РЗЭ из природного минерала. При подходе к равновесию сверху исходный раствор содержал 100 мкг/кг всех РЗЭ, в ходе опыта концентрация снижалась. Продолжительность опытов была установлена кинетической серией. Для 100 °С производился синтез шеелита с добавлением 100 мкг/кг всех РЗЭ. Результаты исследования позволили установить коэффициенты распределения ряда лантаноидов для системы шеелит, которые оказались близки к литературным данным (Raimbault, 1985). Использование коэффициентов распределения лантаноидов между гидротермальными минералами и раствором увеличивает возможности использования РЗЭ как геохимических индикаторов условий образования шеелита совместно с другими минералами.

ПОТЕПЛЕНИЕ НА МАРСЕ

Портнов А.М. (МГРИ-РГГРУ)

a.m.portnov@mail.ru:8-495-361-74-62

Анализы и фото НАСА свидетельствуют о том, что на Марсе в районе ущелья Маринер широко развиты процессы таяния криолитозоны мощностью более 12 км. Морфологически это – потоки рассолов (не замерзающие при низкой температуре), грандиозные обвалы, грязевые селевые потоки (солифлюкция) рыхлого грунта. Красноцветная кора выветривания базальтов, пропитана с поверхности (анализы марсоходов) и на большую глубину (потоки в криозоне) сульфатами и хлоридами натрия и магния, мощностью более 1 км. Для образования оксидов железа из базальта требуется не менее 5000 триллионов свободного кислорода, вода и теплый климат. Присутствие маггемита (установлен марсоходами и нами в ореоле Попигайской астроблемы) связано с прокаливанием лимонита при падении возможного «третьего» спутника, когда возникла крупнейшая астроблема у Южного полюса. Маггемит в ореоле астроблемы позволяет объяснить пятнисто-мозаичную морфологию магнитного поля Марса. Обилие сульфатов и хлоридов натрия и магния в красноцветах – свидетельство пропитки красноцветов при глобальном наводнении от космического удара в Океан (понижение рельефа) Южного полюса. Морфология и отсутствие гамма- и магнитных аномалий в районе гор Марса (Олимп и др.) свидетельствует о том, что это – ледяные с обломочным каменным материалом гигантские замерзшие гейзерные образования, также подверженные оттаиванию и разрушению, как в ущелье Маринер. Объем воды г. Олимп 5 млн. км³, что соответствует массе водотока Волги за 20 тыс. лет. Изменения криолитозоны Марса сходны с изменениями криолитозоны Земли в период последнего (вюрмского) потепления климата.

ТРИ ВОЛНЫ КИСЛОТНОСТИ КАК ФАКТОР ОРУДЕНЕНИЯ**Портнов А.М. (МГРИ-РГГРУ)****a.m.portnov@mail.ru: 8-495-361-74-62**

Миграция рудных компонентов обусловлена кислотностью рудоносных растворов. Первая волна кислотности формирует высокотемпературные месторождения с низкокалиевыми метасоматитами (скарны и грейзены) при быстрой нейтрализации «короткоживущих» кислот (соляной, фосфорной, плавиковой, борной, тетрафторборной). Нейтрализация сопровождается концентрацией литофилов (Sn, W, Be, TR, Th) при изменении вмещающих пород. Вторая волна кислотности характерна для среднетемпературных месторождений и связана с CO₂. Анализы жильного кварца из руд золото-серебряных месторождений Магаданской области и Средней Азии, показали неравномерное содержание CO₂ в поперечных разрезах рудных жил. В безрудном кварце включения содержат более 200 граммов углекислоты на килограмм раствора. В рудоносном кварце включения лишены CO₂ и раствор в них резко щелочной. М-е золота Кубака на Северо-Востоке России представлено ветвящимися жилами, образованными при взрыве CO₂ из раствора. С потерей CO₂ кислые растворы сменяются щелочными, богатыми K, Na, Li. Калиевые метасоматиты ассоциируют с оруденением Au, Ag, Mo, Cu, Bi. Газовый диапиризм проявлен также вертикальными трубами с окатанным рудным веществом в кипящих растворах. Так возникли кварц-пиритовые с золотом и ураном конгломераты в рудных столбах узбекского месторождения Коч-Булак и кварц-пиритовые галечники Витватерсранд в Южной Африке. Третья волна кислотности характеризует «отработанный» гидротермальный раствор и проявлена в низкотемпературных близповерхностных гидротермалитах с баритом, реальгаром, аурипигментаом и киноварью, когда кислородсодержащие воды окисляют H₂S в H₂SO₄.

НЕСМЕСИМОСТЬ КАРБОНАТНЫХ РАСПЛАВОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ НИМИ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.

Расс И.Т. (ИГЕМ РАН), Шмулович К.И. (ИЭМ РАН)

rass@igem.ru тел.: 8 (499) 230 84 22

Проведено 8 опытов при 500 МПа на установках высокого давления с внутренним нагревом – газостатах по схеме: плавление при 1000°C в течение суток с последующей кристаллизацией при 650°C в течение 7 суток и закалкой. Исходные навески содержали ~540 мг смеси NaPO_3 и CaCO_3 , в разных пропорциях с добавлением в каждую смесь 55 мг NaF , 2 мг щавелевой кислоты, 5 мг воды и 6 мг смеси окислов La, Sm, Yb, Y, Zr, Ti, Nb. Катионный обмен $2\text{Na} \leftrightarrow \text{Ca}$ между фосфатом и Са-карбонатом приводит к образованию щелочного карбонатного расплава. В образцах из всех ампул присутствуют пустоты, указывающие на наличие свободного CO_2 . Продукты опытов из исходных смесей с отношением мол.% $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}(\text{CO}_2)$ до 0.25 содержат закаленный Са-карбонатно-фосфатный расплав с REE, а также мелкие (<5мкр) зерна минералов циркония и группы перовскита. Образцы из ампул с отношением $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}(\text{CO}_2)$ в исходных смесях 0.25-0.40 состоят из несмесимых Na-карбонатного и Са-карбонатно-фосфатного расплавов. Na-карбонатный расплав содержит в среднем 0.25 вес.% TiO_2 , 0.36 - ZrO_2 , до 0.31 – Nb_2O_5 , но не содержит REE. Фосфатный расплав содержит повышенные концентрации REE. Продукты опытов из исходных смесей с отношением $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}(\text{CO}_2) > 1.4$ состоят из фосфатного стекла, с высокими концентрациями ZrO_2 , TiO_2 , Nb_2O_5 и кристаллов апатита, обогащенных Na, F и REE.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПИРОХЛОРА В РАСТВОРАХ NaF ПРИ 800°C, 170 – 230 МПа

Редькин А.Ф., Котова Н.С. (ИЭМ РАН)

redkin@iem.ac.ru тел.: 8 (496)-522-58-52
РФФИ № 18-05-01001

Изучена растворимость гидротермально синтезированного пирохлора (Pcl - (NaCa)Nb₂O₆F) при указанных *T-P* параметрах в растворах, содержащих 0.1 – 16 *m*NaF, охватывающих как гомогенную область растворов, так и область флюидной несмесимости в системе NaF-H₂O. Полученные экспериментальные данные использованы для определения основных форм переноса Nb⁵⁺ во фторидных растворах.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ Ва-СОДЕРЖАЩИХ РОМЕИТОВ

Редькин А.Ф., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)

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

РФФИ № 18-05-01001

Используя зависимость параметра элементарной ячейки (a_0) пирохлоров от химического состава, рассчитаны составы стабильных ромеитов $A_2Sb_2O_7$, содержащих в позиции А двухвалентные катионы Ba^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} и проведен их синтез в воде при 800°C, 200 МПа. Продукты синтеза исследованы на электронном микроскопе и рентгенофазовым методом анализа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИРРОТИНА С
ФЛЮИДОМ CO₂-H₂O

Салова Т.П. (ИЭМ РАН), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН)

salova@iem.ac.ru

Грант РФФИ №18-05-00597А

В магматическую стадию формирования расслоенных ультрабазит-базитовых интрузивов благородные металлы (ЭПГ и золото) концентрируются в сульфидах. В раннюю постмагматическую стадию сульфиды могут реагировать с флюидом состава CO₂-H₂O. В результате этой реакции, ЭПГ и золото переходят в растворенное состояние, что ведет к формированию месторождений типа рифа Меренского (Бушвельд, ЮАР). Термодинамический анализ указывает на то, что в основном протекают следующие реакции: $3\text{FeS} + 4\text{CO}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{COS} + \text{CO}$, $3\text{FeS} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2$. Растворение ЭПГ и золота связывается нами с образованием соединений с COS и CO. Мы провели первые эксперименты, воспроизводящие эти реакции при T=950°C и P=2000 бар в платиновых ампулах с синтетическим и природным пирротинном. В качестве источника флюида использовался гидромагнетит. В новообразованном FeS, который наблюдается в ассоциации с магнетитом, обнаружено 1.5-2 мас.% платины, что отвечает равновесию с Pt ампулой. Уравновешивание осуществляется за счет флюидного переноса. В альбитовом стекле ловушке, также зафиксирована платина, переотложенная флюидом.

КОНТРАСТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Au И Pt, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ ФЛЮИДА СИСТЕМЫ С-О-S: НАБЛЮДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ.

Салова Т.П. (ИЭМ РАН), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН) Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН), Корост Д.В. (геол. ф-т МГУ)

salova@iem.ac.ru

Грант РФФИ №18-05-00597А

Нами проведены эксперименты по растворимости Pt и Au во флюидах состава CO-CO₂ и C-O-H-S. Металлы хорошо растворяются в этих флюидах и осаждаются при закалке. Для получения количественных оценок растворимости требуется соотнести количество осажденного металла с объемом флюида. Для этого, нами были использованы различные ловушки: порошки альбитового, натрий-силикатного и кварцевого стекол. За короткое время порошок альбитового стекла формирует сплошную среду с пузырями и флюидный обмен со стенками ампулы прекращается. Исследование альбитового стекла методом рентгеновской томографии показало, что в его объеме равномерно рассеяны частицы платины поперечником в несколько микрон и несколько частиц более крупного размера, оторванные в результате коррозии Pt ампулы. Кварцевые частицы не спекаются и можно наблюдать частицы переотложенной платины и золота на их поверхности на BSE изображениях. Исследованные образцы характеризуются крайней неоднородностью распределения благородных металлов. Изучение валового содержания платины в альбитовых агрегатах и кварцевых порошках показало, что содержание платины растет от времени экспозиции и мало зависит от температуры при P=2 кбар.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ γ - ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Сапожников Ю.А. (МГУ, хим. ф-т.), Травкина А.В., Володин В.Д. (ГЕОХИ РАН).

В настоящей работе описываются попытки реализовать такие процессы измерения γ -излучения, эффективность регистрации которых возрастает с ростом энергии γ -квантов. Авторами разработана конструкция парного спектрометра с пластинчатыми детекторами, показавшая возможность создания компактного прибора для регистрации высоко энергетических γ -квантов, эффективность которого определяется общей массой используемых сцинтилляционных пластин, т.е. в принципе может достигать достаточно высоких значений.

Пластинчатый детектор должен состоять по меньшей мере из трех одинаковых параллельных пластин, средняя из которых будет выполнять роль центральной, а боковые будут регистрировать аннигиляционные гамма-кванты. Для повышения общей эффективности прибора возможно увеличение количества параллельных пластин до произвольного числа. При этом все пластины (кроме двух крайних) будут регистрировать как высокоэнергетические первичные гамма-кванты, так и аннигиляционные. Электронная система коммутации обеспечит работу каждой триады соседних пластин в режиме тройных совпадений, так что общая эффективность такого спектрометра будет равна $(n-2)E$, где n – общее количество пластин, а E – эффективность каждой отдельной пластины по отношению к первичному гамма-излучению.

РЕАКЦИИ КОРДИЕРИТА С ВОДНО-СОЛЕВЫМИ ФЛЮИДАМИ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО МЕТАМОРФИЗМА

Сафонов О.Г., Косова С.А., Ван К.В. (ИЭМ РАН)

oleg@iem.ac.ru тел./факс: (496)524-44-25, тел: (496)522-58-51

Поддержка: РФФИ (16-05-00266)

С целью изучения реакций минералов метапелитов с водно-солевыми флюидами в условиях гранулитовой фации метаморфизма проведены опыты по взаимодействию природного водосодержащего кордиерита $X_{Mg} = 0.88$ с флюидами H_2O -($NaCl$, KCl , $CaCl_2$, Na_2CO_3 , K_2CO_3) при $800^\circ C$ и 500 МПа. С флюидами H_2O - KCl и H_2O - K_2CO_3 кордиерит реагирует с образованием ассоциации калиевого полевого шпата и глиноземистого биотита, но признаки плавления не выявлены. Продукты взаимодействия кордиерита с флюидом H_2O - $NaCl$ при концентрации соли < 30 мол. % соли же представлены сферулами, представляющими собой продукты закалки алюмосиликатного расплава, и лишь при концентрации $NaCl > 30$ мол. % наряду с ними появляется альбит. Na -аналог истонита является определяющей фазой в продуктах взаимодействия кордиерита с флюидом H_2O - Na_2CO_3 . С флюидом H_2O - $CaCl_2$ при концентрации соли > 20 мол. % кордиерит реагирует с образованием анортита и богатого Al ортопироксена, а при более низких концентрациях соли ортопироксен сосуществует со сферулами расплава. Результаты экспериментов приложены к интерпретации реакционных структур с участием кордиерита в метапелитах гранулитовой фации.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ В ОБЛАСТЯХ УДАРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ В МЕТЕОРИТЕ ЭЛЬГА

Сенин В.Г (ГЕОХИ РАН), Зиновьева Н.Г, Панкрушина Е.А., Аверин А.А., Хисина Н.Р. (ГЕОХИ РАН)

Метеорит Эльга относится к группе IIЕ железных метеоритов с силикатными включениями. Общепринятые модели происхождения IIЕ метеоритов исходят из представлений об ударном смешении металлического и силикатного расплавов на Н хондритовом родительском теле. Области локального ударного плавления, образовавшиеся в Эльге в результате последующих импактов, исследованы методами EMPA, ТЕМ и рамановской спектроскопии. Эти области приурочены к участкам метеорита, которые изначально характеризовались наличием порового пространства (трещины и полости) и проявлены на границах силикатных включений и металла, а также в механически ослабленных зонах внутри силикатного включения.

В ударно преобразованном веществе Эльги идентифицированы мерриллит, саркопсид, троилит, Ni-сульфид, шрейберзит, Ni-фосфид, гематит, Ni-магнетит, сидерит и аморфный углерод. Полученные данные характеризуют неравновесность процесса фазообразования в ударном процессе и свидетельствуют о сложных окислительно-восстановительных реакциях с участием летучих (CO_2 , P_2O_5 , O_2) в смешанном ударном расплаве состава $\text{Fe}^0\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Ni-NiO-P}^0\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CO}_2$.

ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ В ГЛОБАЛЬНОМ СУБДУКЦИОННОМ ОСАДКЕ (GLOSS) ПРИ P-T УСЛОВИЯХ "ГОРЯЧЕЙ" СУБДУКЦИИ: ЭКСПЕРИМЕНТ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Сердюк А.А. (ИЭМ РАН), Перчук А.Л., Япаскурт В.О. (геол. ф-т МГУ)

almor@iem.ac.ru, 8(496) 522-5853

Работа была выполнена при поддержке РФФИ, грант 16-05-00495.

Глобальный субдукционный осадок (Global Subduction Sediment, GLOSS) - среднестатистический осадок, попадающий в зоны субдукции, по химическому составу которого можно изучать роль метаосадочных пород в островодужном вулканизме и мантийном метасоматозе. Данная работа посвящена сравнительному изучению фазовых отношений в GLOSS в экспериментах при 750-900°C и 2.9 ГПа с результатами термодинамического моделирования, выполненного при помощи программного комплекса PerpleX.

Эксперименты с синтетической смесью веществ, отвечающей по составу GLOSS, проводились на установке цилиндр-поршень. Герметично запаянные Ag-Pd ампулы помещались в безградиентную зону ячейки высокого давления. Продукты опытов при температуре до 800°C представлены парагенезисом grt+crx+rhn+melt+q+carb+ky, где объем расплава достигает 20-30%. При повышении температуры исчезают клинопироксен и фенгит, объем расплава увеличивается до 70%. Результаты эксперимента в отношении расплава, граната и карбоната хорошо согласуются с фазовой диаграммой, рассчитанной нами для состава субдукционного осадка. Для омфацита, кианита и кварца соответствие между теорией и экспериментом обнаруживается не при всех температурах.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ РУДООБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЗОЛОТА ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Сильянов С.А.), Некрасова Н.А. (ИГДГиГ СФУ)

Silyanov-s@mail.ru тел.: 8 (963) 188 91 56

Золоторудные месторождения Енисейского кряжа сформированы в период байкальской складчатости на крыльях антиклинория. Месторождения образуют единый субмеридиональный золоторудный пояс протяженностью ~350 км. Рудная колонна, вмещающая промышленные объекты, занимает нижние три километра стратифицированной толщи общей мощностью ~17 км. Термодинамические условия в области рудообразования (Т 450-510°C, Р 3,6-4,4 кбар) соответствуют эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Рудогенерирующие гидротермальные растворы поступали из области гранитообразования в зоны глубинных разломов с повышенной проницаемостью. Кварцево-жильная минерализация сформирована при температурах 100-400°C и давлениях 0,5-2,5 кбар, соленость растворов 0,8-49,0 мас.% NaCl экв., с постоянным содержанием CO₂ и переменном CH₄ и N₂ в газовой фазе. Ранние сульфиды – пирротин и арсенопирит отлагались при температурах 207-610 и 300-550°C, и фугитивности серы -2,0...15,5 и -14,6...5,7, соответственно. Формирование сурьмяных парагенезисов происходило со значительным отрывом (~150 млн лет) при более низких температурах. Заключительные карбонатные ассоциации образовались при температурах ~100-150°C. Распределение РЗЭ в рудных минералах указывает на преобладающий коровый источник вещества. Отмечен повышающийся тренд участия мантийного вещества в северной части золотоносного пояса.

РАСТВОРИМОСТЬ ЗОЛОТА В ВОССТАНОВЛЕННОМ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЮЩЕМ ФЛЮИДЕ.

Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Салова Т.П. (ИЭМ РАН), Габитов Р.И. (MSU, USA), Trail D (UR, USA), Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН)

simakin@iem.ac.ru

Грант РФФИ №18-05-00597А

Наибольшая растворимость золота в водном флюиде в виде комплексов с HS^- достигает сотен ppm при достаточно высокой летучести кислорода (на уровне МН). Ассоциация платины, золота и углерода свидетельствует о возможности отличного от упомянутого механизма растворения золота. Нами начато исследование растворимости золота во флюидах составов CO_2 -CO и C-O-H-S. Опыты проводились по методике двойных ампул при $T=950^\circ\text{C}$ и $P=2000$ бар. В качестве ловушек флюида и закалочного золота использовались порошки натрий-силикатного и кварцевого стекол. Сера вводилась в виде пирита, разлагающегося при температуре выше 450 - 650°C . Содержание золота в ловушке из натрий-силикатного стекла измерено методом LA-ICP-MS. В системе без серы фоновое содержание составляет 0.44 ± 0.25 ppm, а точки анализа, в которые попали макро-частицы золота, показали концентрацию 35 ± 19 ppm. В системе с серой фоновое содержание составило 4.3 ± 1.6 ppm. Валовое содержание золота в пористой кварцевой керамике составило 52 ppm, что достаточно близко к результатам LA-ICP-MS. Последнее значение отвечает растворимости золота во флюиде CO-CO₂ не менее 300 ppm.

НАТРИЙСОДЕРЖАЩИЕ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$ ПРИ ДАВЛЕНИИ 10–24 ГПа И ТЕМПЕРАТУРЕ 1000–1300°C.

Сироткина Е.А. (ГЕОХИ РАН), Бобров А.В. (ГЕОХИ РАН, геол. ф-т МГУ), Бинди Л. (ун-т Флоренции), Ирифуне Т. (ун-т Эхиме)
ekaterina.a.sirotkina@gmail.com

Поддержка: грант Президента РФ (МК-1277.2017.5) и частично РФФИ (17-55-50062 и 16-05-00419)

Эксперименты по исследованию поля стабильности Na-Ti-пироксена ($\text{Na}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{Si}_2\text{O}_6$) были проведены в Университете Эхиме (Мацуяма, Япония) при $P = 10\text{--}24$ ГПа и $T = 1000\text{--}1300^\circ\text{C}$ на многопуансонном аппарате высокого давления. В зависимости от P-T условий основными фазами, полученными в опытах, являются Na-Ti-пироксен (при 10 ГПа) и Na-пироксен в ассоциации с фазой $\text{Na}(\text{Ti}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_4$ со структурой кальциоферрита (при 16 ГПа). С увеличением давления до 24 ГПа образуется MgSiO_3 бриджманит с высоким содержанием натрия и титана. Содержание перечисленных фаз в экспериментальных образцах не ниже 90 об. %.

Фазовые ассоциации, полученные в опытах при 10 ГПа, включают Na-Ti-пироксен. Для данного пироксена характерны мелкие идиоморфные кристаллы призматического облика размером до 30 мкм. Электронно-зондовые анализы минерала (мас. %: SiO_2 57.23, MgO 9.52, Na_2O 14.39, TiO_2 17.41, сумма 98.55) указывают на его близость к идеальному стехиометрическому составу $\text{Na}_{0.99}(\text{Mg}_{0.51}\text{Ti}_{0.47})\text{Si}_{2.03}\text{O}_6$. Установлено уменьшение содержания титана с увеличением температуры от 1000 до 1300°C.

При давлении 16 ГПа фазовые ассоциации включают Na-пироксен ($\text{NaMg}_{0.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_6$) в ассоциации с фазой $\text{Na}(\text{Ti}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_4$ со структурой кальциоферрита и стишовитом. Na-пироксен представляют собой идиоморфные кристаллы призматического облика размером до 30 мкм. Кристаллы кальциоферрита мелкие и достигают 10 мкм.

При давлении более 24 ГПа появляется MgSiO_3 бриджманит с 17 мол. % MgTiO_3 . Минерал образует массивные трещиноватые агрегаты с размерами отдельных зерен до 70 мкм. Интересно, что содержание натрия в данной фазе достигает 3,8 мас. % Na_2O .

ПОИСК ПЕТРОСТРУКТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ КОМПАКЦИИ КУМУЛАТОВ В ТРАХИТОИДНОМ ТРОКТОЛИТЕ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА

Соболев С.Н., Шкурский Б.Б. (геол.ф-т МГУ), Арискин А.А. (геол.ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Япаскурт В.О., Хомяк А. Н. (геол.ф-т МГУ)

ssn_collection@bk.ru, тел.:89104693347

Выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 16-17-10129)

Термин «компакция» трактуется двояко: принято различать (1) «механическую компакцию», когда процесс происходит без участия порового расплава, и (2) усадку смеси кристаллов и расплава (кумулята), сопровождаемую отжимом межзерновой жидкости в область пониженного гидростатического давления (Holness, 2017). При этом происходит уменьшение объема кристаллического веществ и в результате образуются кумулятивные породы бедные, но не лишенные полностью межзернового расплава (Tharp, 1998). Важным результатом компакции может являться образование трахитоидной текстуры – за счет переориентировки неизометричных зерен минералов, например, плагиоклаза. Ariskin et al. (2018) показали, что существенное обеднение несовместимыми элементами троктолитов Йоко-Довыренского массива представляет своего рода “запись” истории компакции котектических (OI+PI+расплав) смесей в магматической камере. В качестве физического механизма рассматривается уплотнение кристаллической каши под собственным весом с выдавливанием наверх порового расплава.

В работе впервые представлены результаты петроструктурных исследований, направленных на поиск и спецификацию петрографических признаков компакции в образце трахитоидного троктолита из верхней части троктолитовой зоны. Для демонстрации трехмерной текстуры породы привлечена рентгеновская томография. При помощи оптической микроскопии выявлена ориентировка плагиоклаза. К ней, по-видимому, склонны наиболее крупные вытянутые зерна. Поведение оливина, изученное при помощи метода EBSD (дифракция отраженных электронов) демонстрирует более сложную картину. Для оценки данных по зернам оливина привлечены методы нахождения минимальных углов разориентации между зернами (Grimmer, 1979) в комбинации с данными электронной микроскопии. Сделано предположение, что зерна оливина имеют различную склонность ориентироваться упорядоченно – в зависимости от размера зерен: наиболее склонны к упорядоченной ориентировке наиболее мелкие кристаллы и наиболее крупные или находящиеся в срастаниях – “агломерациях”. Показано, что текстура пород не является массивной, поскольку зерна минералов ориентированы не хаотично.

**УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ФЛОГОПИТА ПРИ КАРБОНАТИТОВОМ
МЕТАСОМАТОЗЕ ПЕРИДОТИТОВ СУБКРАТОННОЙ ЛИТОСФЕРЫ**

Сокол А.Г., Крук А.Н. (ИГМ СО РАН)

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

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект №0330-2016-0007)

Исследование проведено в системах гарцбургит – модельный карбонатит и флогопит – модельный карбонатит при 5,5-7,5 ГПа, 1200-1450°C и X_{CO_2} ($\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$) от 0,36 до 0,73. Установлено, что в системе гарцбургит-карбонатит флогопит может образовываться в равновесии с ультракалиевым карбонатно-силикатным расплавом при 5,5 ГПа до 1350°C. В системе флогопит-карбонатит флогопит остаётся стабильным при 6,3-7,0 ГПа и 1200°C, но не кристаллизуется в системе гарцбургит-карбонатит во всем изученном диапазоне X_{CO_2} и концентраций K_2O . Полученные данные позволяют сделать заключение, что флогопитовый метасоматоз мантийных перидотитов возможен под воздействием ультракалиевых карбонатитовых расплавов на глубинах менее 180-195 км. Во флогопитсодержащем перидотитовом источнике начальные стадии плавления могут осуществляться при 5,5 ГПа и 1350°C, приводя к образованию кимберлитоподобного, богатого калием карбонатно-силикатного расплава с 10-15 вес.% SiO_2 и Ca# от 45 до 60.

УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ НИЗКОБАРНЫХ ФАЗ $MgSiO_3$

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

sokolovats@crust.irk.ru, тел: 8 (3952) 511680

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант № МК-3520.2018.5).

Ранее в рамках изучения системы $MgSiO_3$ - MgO нами были построены и обсуждены уравнения состояния высокобарных модификаций $MgSiO_3$ (акимотоит, бриджманит и постперовскит) [Дорогокупец и др., 2015]. Целью настоящей работы является исследование низкобарных фаз системы $MgSiO_3$ – магнезиального энстатита и его модификаций. При стандартных условиях устойчивым является низкотемпературный клиноэнстатит ($P2_1/c$), который при температуре ~ 900 К переходит в ортоэнстатит ($Pbca$), а при давлении выше 4 ГПа в фазу высокого давления ($C2/c$) [Shinmei et al., 1999]. На основе модифицированного формализма из свободной энергии Гельмгольца построены уравнения состояния клино- и ортоэнстатита и рассчитаны их термодинамические свойства в широком интервале температур и давлений. Рассчитанные параметры уравнений состояния основаны на оптимизации известных экспериментальных измерений для минералов (обзор в новейших работах Jacobs et al., 2017, Qian et al., 2018). Из полученных уравнений состояния низкобарных фаз определены линии равновесия и построена фазовая диаграмма системы $MgSiO_3$ до давления 15 ГПа и для области высоких температур.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОМЕТЕОРИТНОГО УДАРА НА ЛУНЕ

Сорокин Е.М.(ГЕОХИ), Герасимов М.В., Зайцев М.А.(ИКИ РАН), Щербаков В.Д. (МГУ), Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН), Быстров И.Г. (ФГБУ «ВИМС»), Яковлев О.И., Слюта Е.Н., Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН)

egorgeohim@ya.ru, тел.:8 (903) 963 28 26

Ударно-взрывная переработка горных пород микрометеоритной и метеоритной бомбардировкой на поверхности Луны и других безатмосферных тел Солнечной системы является доминирующим геологическим и геохимическим процессом, в результате которого формируется рыхлый слой реголита. В докладе рассмотрены результаты по воссозданию такого процесса с помощью миллисекундного лазера. Мишенью в эксперименте служил образец базальта, сходного по составу с базальтами морских районов Луны. Этот образец исследовался до эксперимента, с помощью таких методик, как: микрорентгеноспектральный анализ, рентгенодифракционный анализ и рентгенофлуоресцентный анализ. После лазерного «удара» продукты выброса из кратера и сам кратер анализировались различными методами. Были проанализированы шарики расплава и конденсационные шарики. Показано, что часть шариков имеет следы испарительной дифференциации, а также соответствуют обнаруженным на Луне высокоглинозёмистым стёклам HASP ($Al_2O_3 > 34$ вес.%, $SiO_2 < 32$ вес.%). Важным заключением в работе является широкая гетерогенность составов расплавных стёкол. Они представляют собой в различных пропорциях смешанный состав исходных минералов. Генезис при ударе таких стёкол показан на частично расплавленных зёрнах минералов в кратере. Наблюдается обеднение легколетучими и смещение среднего химического состава в тугоплавкую область.

ВЛИЯНИЕ НАНОФАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА НА СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ ТЕЛ.

Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН)

egorgeohim@ya.ru, тел.:8 (903) 963 28 26

Космическое выветривание представляет значительный интерес, поскольку вызывает серьезные изменения оптических свойств поверхностей безатмосферных тел. Оно снижает альбедо, придаёт спектральный наклон в сторону больших длин волн (покраснение), уменьшает полосы поглощения. Эти изменения спектра вызваны присутствием субмикронного или нанофазного металлического железа. Показаны особенности таких образований. Особое место в формировании металлического железа уделяется солнечному ветру и микрометеоритной бомбардировке. Приведены данные по экспериментам, воспроизводящим различные аспекты космического выветривания. Наносферулы железа могут формироваться путём спаттеринга, когда ионы выбивают атомы железа из материнского минерала. Импульсный лазерный «удар», который имитирует микрометеоритную бомбардировку, также приводит к формированию наносферул железа. Показано, что малые частицы металлического железа приводят лишь к покраснению и небольшому изменению в ИК области; большие частицы влияют на весь спектр, делая его темнее, и нивелируют характеристические абсорбционные полосы минералов. Малые частицы нанофазного металлического железа формируются в аморфных каймах вокруг зёрен, а крупные встречаются в агглютинатах, вероятно, путём переплавления кайм и коалесценции малых сферул в более крупные.

ПЕРИТЕКТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ РИНГВУДИТА $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ С ОБРАЗОВАНИЕМ СТИШОВИТА В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ МАНТИИ (ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ 20 ГПа)

Спивак А.В., Литвин Ю.А., Захарченко Е.С.(ИЭМ РАН), Дубровинский Л.С. (БГИ)

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

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-05-00850 и МД-3464.2017.5

Рингвудит $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ обосновывается как главная ультрабазитовая фаза переходной зоны мантии на глубинах 400 – 660 км (19 – 24 ГПа). Минералы рингвудита идентифицированы только в алмазах как парагенные включения. Среди включений в алмазах обнаруживается также стишовит, базитовый минерал. Это является признаком ультрабазит-базитовой эволюции не только алмазообразующих силикат-карбонат-углеродных расплавов, но и коренных силикатных магм переходной зоны. Экспериментальные исследования при 20 ГПа фазовых отношений при плавлении алмазообразующей системы $\text{MgO} - \text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{Carb}^* - \text{C}$ [где $\text{Carb}^* = (\text{Na,Ca,K})\text{CO}_3$] выполнены в ее политермическом сечении $(\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + \text{Carb}^*) - (2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{Carb}^*)$. При этом граничный железистый состав $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ изохимичен с соединением Fe_2SiO_4 , которое неустойчиво в условиях эксперимента и диспропорционирует на вюстит FeO и стишовит SiO_2 . В области высокожелезистых составов при содержаниях Mg_2SiO_4 в пределах 5 – 25 мас. % установлена перитектическая реакция рингвудита $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ и силикат-карбонатного расплава с образованием магнезиовюстита $(\text{Fe,Mg})\text{O}$, стишовита SiO_2 и карбонатных фаз Na , Ca , K . Осуществляется также сопутствующая реакция с образованием Саперовскита CaSiO_3 . Перитектическое разложение рингвудита имеет принципиальное значение как физико-химический механизм, обеспечивающий возможность ультрабазит-базитовой эволюции магматических и алмазообразующих систем наиболее глубоких горизонтов переходной зоны мантии Земли.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИ 25 - 40 ГПА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НИЖНЕМАНТИЙНОГО ФЕРРОБРИДЖМЕНИТА (Mg,Fe)SiO₃ В АЛМАЗНОЙ ЯЧЕЙКЕ С ЛАЗЕРНЫМ НАГРЕВОМ

Спивак А.В., Захарченко Е.С., Лиманов Е.В. (ИЭМ РАН), Булатов К.М. (ИТЦ УП РАН), Быков А.А. (НИУ МЭИ), Зинин П.В. (ИТЦ УП РАН), Сафонов О.Г., Литвин Ю.А. (ИЭМ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-05-00850 и МД-3464.2017.5

Железистый бриджменит (Mg,Fe)SiO₃ со структурой перовскита обнаруживается среди парагенных включений в нижнемантийных алмазах (Kaminsky, 2017). Он обоснован также (Ringwood, 1975) как один из главных минералов нижней мантии на глубинах более 660 км (>24 ГПа). В процессах магматической эволюции вещества нижней мантии ферробриджменит в перитектической реакции с расплавом разлагается с образованием магнезиовюстита (Mg,Fe)O и стишовита (эффект стишовитового парадокса) (Литвин и др. 2016). В настоящей работе сообщается о Раман-спектроскопических и микрозондовых исследованиях твердых растворов системы MgSiO₃ – FeSiO₃, полученных в аппарате с алмазными наковальнями и лазерным нагревом при 25 - 40 ГПа. Исследования направлены на определение предела растворимости железистого компонента FeSiO₃ в ферробриджмените, когда должна инициироваться перитектическая реакция.

ЭВОЛЮЦИЯ РАСПЛАВОВ ТРАХИРИОЛИТОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Сук Н.И., Котельников А.Р. (ИЭМ), Перетяжко И.С., Савина Е.А. (ИГХ СО РАН)
sukni@iem.ac.ru; тел.: +7(496)52-25865

Эксперименты по плавлению трахириолитов проводились на установке высокого газового давления при различных режимах. В первой серии плавление проводилось при $T=1250^{\circ}\text{C}$, $P=5.5$ кбар в присутствии 10% H_2O . Вторая серия экспериментов была поставлена в условиях, имитирующих вулканический процесс, т.е. в условиях понижения температуры и давления, характерных для процесса подъема магмы к земной поверхности. Опыты проводились в трех режимах: 1) $T=1250^{\circ}\text{C}$, $P=5.5$ кбар $\Rightarrow T=900^{\circ}\text{C}$, $P=1$ кбар в присутствии 10% H_2O ; 2) $T=950^{\circ}\text{C}$, $P=4$ кбар $\Rightarrow T=750^{\circ}\text{C}$, $P=1$ кбар в присутствии 10% раствора H_2O_2 ; 3) $T=950^{\circ}\text{C}$, $P=4$ кбар $\Rightarrow T=650^{\circ}\text{C}$, $P=1$ кбар в присутствии 10% раствора H_2O_2 . Затем осуществлялась изобарическая закалка. В качестве исходной навески использовался трахириолит Центральной Монголии трех типов, различающихся по содержанию фтора (0.58, 2.45 и 15.0 мас.%). Получена жидкостная несмешиваемость с разделением на силикатный и фторидно-кальциевый расплавы, которая возникала при содержании F в системе ≥ 5 мас.%. Изучено распределение как главных, так и редких элементов между расслоенными фазами при $T=1250^{\circ}\text{C}$, $P=5.5$ кбар.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФТОРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ЦИРКОНИЯ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

Тарнопольская М.Е., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)

mashatarnopolskaya@yandex.ru тел. 8(495)9391239

При повышенных температурах исследована растворимость бадделеита в растворах HF и определены константы устойчивости комплексов $Zr(OH)_3F$ и $Zr(OH)_2F_2$ в работах Рыженко с соавторами, и (Migdisov et al., 2011). В нашей работе проводилось экспериментальное изучение фторидных комплексов циркония при 86-250°C и давлении насыщенного пара воды. Изучение проводилось на основе измерения растворимости флюорита в кислых растворах с добавлением различного количества Zr. Определение растворимости проводилось методом потери массы в стальных пеналах с фторопластовыми вкладышами. Обработка результатов проводилась при помощи программы OptimA. По результатам было определено, что при температуре до 100°C растворимость флюорита описывается образованием комплексов $Zr(OH)_3F$ и $Zr(OH)_2F_2$ (Migdisov et al., 2011). Но при более высоких температурах, в условиях наших экспериментов преобладает комплекс ZrF_6^{2-} . Определена константа устойчивости этого комплекса при 86, 156, 205°C и давлении насыщенного пара воды, $\lg\beta = 30.7, 33.9, 38.0$ соответственно.

КОЭФФИЦИЕНТЫ СОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ Al И ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ Fe В МАГНЕТИТЕ И ГЕМАТИТЕ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕГРЕГАЦИИ

Таусон В.Л., Смагунов Н.В., Липко С.В. (ИГХ СО РАН), Логинов Б.А., Баранов Г.В., Князев М.И. (НИУ МИЭТ)

vltauson@igc.irk.ru тел (3952)429967
Гранты РФФИ №№ 16-05-00104, 18-05-00077.

Эксперименты выполнены по ростовой схеме с использованием внутреннего пробоотбора при 450°C и 100 МПа. При изучении кристаллических фаз (магнетита, Ni-шпинели, гематита) применяли методы РСМА, ЛА-ИСП-МС, ААС, СЗМ. Наиболее высокие $D_{Me/Fe}$ установлены для Ni, заметно ниже для Co и Al, еще ниже для Ti и Zn, которые обнаруживают близкое поведение при распределении кристалл-раствор. Si оказалась наиболее несовместимым элементом, но вместе с тем, она обнаруживает высокие концентрации на поверхности кристаллов. Поверхностная сегрегация дает существенный вклад в среднее значение концентрации микроэлемента даже при небольшой толщине обогащенной им поверхностной фазы – порядка 300 нм. Полученные данные показывают, что необходимо осторожно относиться к результатам, при получении которых использовались валовые методы анализа, а размер кристаллов был достаточно мал и не контролировался.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУРОСТИБИТА AuSb₂

Тюрин А.В. (ИОНХ РАН), Бабенко И.С. (Гос. Универ. «Дубна»), Чареев Д.А. (ИЭМ РАН), Полотнянко Н.А. (Гос. Универ. «Дубна»)

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

Данная работа посвящена определению стандартных термодинамических функций интерметаллида золота - синтетического аналога минерала ауростибита AuSb₂. Получение новых термодинамических данных для изучаемой фазы в будущем позволит провести физико-химическое моделирование условий образования золотосодержащих месторождений.

Порошок AuSb₂ синтезирован из элементов в вакуумированных кварцевых ампулах. Образец изучен методом рентгенофазового анализа, отсутствие посторонних фаз подтверждено также с помощью рентгеноспектрального микроанализа.

Методом адиабатической калориметрии при 5.16-346.87 К измерена теплоемкость кристаллического AuSb₂. На кривой C_p(T) аномалий не наблюдается. На основании экспериментальных данных в изученном интервале температур рассчитаны теплоемкость C_p[°], энтропия S[°], изменение энтальпии H(T) - H[°](0) и приведенная энергия Гиббса Ф[°].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД

Тютюнник О.А., Аносова М.О., Кубракова И.В., Силантьев С.А. (ГЕОХИ РАН)
NMLab@geokhi.ru, тел.: 8(499)137-75-26

Характер распределения различных групп элементов в геохимических объектах является основой для классификации геологического материала и выводов о его происхождении и эволюции.

Одним из наиболее полных источников информации о трендах эволюции мантийного вещества Земли являются ультраосновные породы океанического дна.

Сложность анализа ультраосновных пород обусловлена их матричным составом, большим числом определяемых элементов и широким диапазоном их содержаний, ограниченным числом соответствующих стандартных образцов состава. В данной работе для полной характеристики различных типов абиссальных перидотитов использован комплекс аналитических методов, включающий определение содержаний породообразующих элементов методами спектрофотометрии и ICP-AES, определение микроэлементов методами ICP-AES, ETAAS и HR-ICP-MS. Ультраследовые количества благородных металлов определяли после концентрирования на комплексообразующем сорбенте (ETAAS) или катионообменной смоле (HR-ICP-MS). На основании полученных экспериментальных данных показаны возможности и ограничения использованных методов, их взаимная дополняемость, а также вклад различных факторов в правильность определения (воспроизводимость и правильность инструментального определения, гомогенность распределения элементов, уровень их содержаний). Полученные данные сопоставлены с результатами анализа образцов состава и литературными данными.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕРРИТОРИЙ
РАЗРАБОТКИ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Тютюнник О.А., Киселева М.С., Кубракова И.В. (ГЕОХИ РАН)

NMLab@geokhi.ru, тел.: 8(499)137-75-26

С целью создания современной аналитической базы для комплексного мониторинга техногенного загрязнения окружающей среды, в частности, в зонах разработки рудных месторождений, предложены методики определения элементов – потенциальных загрязнителей природных экосистем – в экологических объектах на уровнях, соответствующих требованиям природоохранных документов. Методики определения общего содержания и форм серы, а также токсичных элементов, в том числе летучих (Hg, Pb, Cd, As, Se и др.) базируются на высокопроизводительной микроволновой подготовке проб и их многоэлементном анализе современными инструментальными методами (АЭС-ИСП, ААС). На примере анализа стандартных образцов состава почв, пород, донных отложений, продемонстрирована экспрессность получения и высокое качество результатов на основе применения разработанных методик.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПАКТНОГО ПРОЦЕССА КРОТКОИМПУЛЬСНЫМ
ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

Уляшев В.В., Шумилова Т.Г. (ИГ Коми НЦ УрО РАН)

vaskom77mail.ru тел.: 8 (904) 233 15 71

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ №17-17-01080.

Импактный метаморфизм вызывает исследовательский интерес в связи с экстремальными условиями преобразования вещества в природе. В зависимости от степени интенсивности воздействия ударный процесс вызывает фазовые трансформации, формирование диаплектовых стекол и импактных расплавов вплоть до испарения вещества. В связи с этим возникает целый спектр возможных механизмов формирования вещества импактитов. Преобразование силикатных пород изучено довольно подробно, в то время как изменения карбонатного и углистого вещества осадочных пород мишени во время импактного метаморфизма остаются слабо изученными, хотя они довольно широко распространены в импактных объектах. Нами проведено экспериментальное моделирование импактного процесса по глинистым известнякам с использованием короткоимпульсного лазерного воздействия, которое позволило получить базовую информацию для анализа преобразования карбонатного вещества, а также поведения силикатной компоненты известняков. Полученные результаты могут быть использованы для построения общей модели импактного процесса.

ЭФФЕКТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОНОВ В ХОНДРИТАХ С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ АБЛЯЦИИ

Устинова Г.К. (ГЕОХИ РАН)

ustinova@dubna.net.ru тел.: 8 (903) 973 15 23

Программа №7 Фундаментальных исследований Президиума РАН

Оценены вклады солнечных космических лучей (в основном протонов с энергией 20-500 МэВ) в образование космогенных радионуклидов в близповерхностных слоях хондритов с низкой абляцией. Обычно эти слои теряются при прохождении хондритов через атмосферу Земли. Действительно, показано, что эффекты солнечных протонов проявляются лишь в 6-10 см от поверхности хондритов и зависят от уровня солнечной активности, от гелиоцентрического расстояния хондритных орбит и от глубины залегания в хондритах исследуемых образцов. Однако, из-за гораздо более высокой интенсивности солнечных протонов по сравнению с интенсивностью галактических космических лучей (ГКЛ) их эффекты могут сохраниться в выпавших образцах, например, при низкой скорости или асимметричной абляции хондритов. Рассчитаны конкретные вклады солнечных протонов в содержания космогенных радионуклидов в образцах хондритов с известными орбитами Studenberg и Jessenice. Это дает возможность за вычетом этих вкладов оценить содержания космогенных радионуклидов, образованных ГКЛ, и использовать их в качестве интегральных детекторов ГКЛ для изучения закономерностей временных и пространственных вариаций ГКЛ в 23 и 24 солнечных циклах.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКЛОГИТОВ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА
(ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Федькин В.В. (ИЭМ РАН)

vfedkin@iem.ac.ru, тел: 8(496) 522 1666

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Фулбрайта
Института Международного образования (грант 2011 г., малый грант 2015 г.)*

Изучены геохимические и термальные особенности базитовых эклогитов Максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса на Южном Урале, который в силу своей HP-UHP специфики является весьма перспективным объектом для изучения потенциальной алмазности региона. На основе новых XRF и ICP MS данных по валовому составу 18 представительных образцов эклогитов Максютовского комплекса получены новые геохимические данные и выявлена природа протолита древних пород комплекса, установлен характер его плейт-тектонического развития. Геохимические данные показывают, что протолитом базитовых эклогитов Максютовского комплекса являлись толеитовые и субщелочные базальты обогащенного (OIB) и деплетированного (N- и E-MORB) типов с унаследованными признаками субдукционной компоненты и последующих метасоматических изменений. Наличие в нижней структурно-вещественной пачке комплекса древних (нижнекембрийских - ≥ 533 млн лет) UHP ультрамафитовых и эклогитовых пород свидетельствует об участии на раннем этапе формирования комплекса тектонических мантийно-коровых включений древнего субстрата региона. Установлены параметры и периодичность метаморфических преобразований пород комплекса в процессе конвергенции Восточно-Европейского кратона и палеоазиатской океанической плиты. По данным Grt-Cpx термометрии выявлено, по крайней мере, четыре эпизода сопряженного проградного и ретроградного метаморфизма с максимальными параметрами до 800-900 °C и $P \sim 3.5$ GPa. Последующие ретроградные и повторные прогрессивные этапы метаморфизма происходили при более низких параметрах, характерных для фации голубых сланцев ($T \sim 450-700$ °C, $P \sim 1.2-1.7$ GPa) и зеленосланцевой ($T \sim 380-470$ °C, $P \sim 0.7-1.3$ GPa) фации, определяя параметры высокобарной эксгумации и положение градиента метаморфического поля.

СОСТАВЫ РАСТВОРОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ АМФИБОЛ-ФЛЮИД:
ПРИЛОЖЕНИЕ К КИСЛОТНОМУ МЕТАСОМАТОЗУ

Ходоревская Л.И. (ИЭМ РАН)

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

На основании проведенных экспериментов, моделирующих взаимодействие амфибола с растворами H_2O-HCl при $650^\circ C$, 7 кбар определены минеральные ассоциации после опытов и измерены концентрации основных петрогенных компонентов в равновесных растворах. Показан преимущественный вынос из амфибола Са и Fe по сравнению с Mg. Рассчитаны f_{HCl} , при которых ассоциации амфибола с плагиоклазом сменяются ассоциациями хлорита с жедритом или кордиеритом. Показано, что основной плагиоклаз, встречающийся в природных базификатных жилах, а также анортозитовые прослои, являются индикаторами высокотемпературного метасоматоза, вызванного кислотными флюидами.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РОСТА НА ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТЯЖЁННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА

Хохряков А.Ф., Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М. (ИГМ СО РАН)

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

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0330-2016-0007.

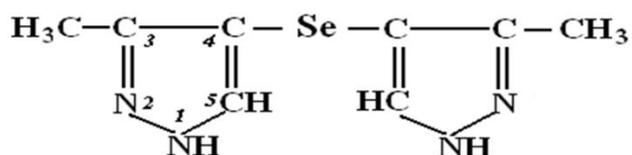
Проведены исследования по росту и изучению реальной структуры крупных кристаллов синтетического алмаза, выращенных в интервале скоростей роста от 0,8 до 8,5 мг/час. Выращивание кристаллов проведено по методу температурного градиента при $P=5,7$ ГПа и $T=1450^{\circ}\text{C}$ с использованием в качестве металл-катализатора $\text{Ni}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}$ и ориентации затравочного кристалла по плоскости (100). Типы и плотность распределения дислокаций и планарных дефектов (дефектов упаковки и дикродвойников) в полученных кристаллах алмаза были изучены с использованием метода селективного травления по отработанной ранее методике. Установлено, что с увеличением скорости роста плотность дислокаций возрастает на 4 порядка от $0,5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-2}$ до $5,0 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. С увеличением скорости роста увеличивается и количество планарных дефектов, центрами зарождения которых являются, по-видимому, дислокации и микровключения. С учётом полученных результатов определены оптимальные условия роста для получения кристаллов алмаза, удовлетворяющих требованиям для элементов рентгеновской оптики и матриц по созданию углеродных гетероструктур.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ СЕЛЕНООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВКАХ

Хушвахтова С.Д., Данилова В.Н., Ермаков В.В. (ГЕОХИ РАН)

bakhor43@mail.ru тел.: 8(499)137-47-73

Селен – жизненно важный, необходимый микроэлемент с уникальными биологическими функциями и широким спектром биологического действия его соединений. Он играет важную антиоксидантную роль в биосфере. Недостаток селена в среде и организмах сопровождается развитием ряда сердечно-сосудистых и опухолевых заболеваний человека. В настоящее время большое распространение получили БАДы на основе диметилдипиразолилселенида (препараты группы «Селекор»), вводимые, в частности, в состав поваренной соли, приведенной ниже формулы с содержанием селена до 32-33%.



Кроме того, в настоящее время реализуются через аптечную сеть несколько препаратов, содержащих селекор (например, «Селекор-макси» - таблетки массой 200 мг, сертификат № 004287.P.643.05.2002, и питьевая вода «Богатырь», выпускаемая в республике Беларусь). Однако контроль содержания активно действующего вещества практически отсутствует. Количество селекора в БАД и препаратах на его основе контролируют косвенно по общему содержанию микроэлемента. При этом не учитывается присутствие естественного содержания селена в других формах.

Нами разработана методика определения концентрации селеноорганических соединений в биологически активных добавках методом ВЭЖХ с УФ – детектированием, заключающийся в том, что анализируемую пробу предварительно растворяют в смеси ацетонитрил-вода, взятой в объемном соотношении 1:2,0-2,3, в качестве подвижной фазы используют бинарную смесь на основе ацетонитрила-воды в соотношении 90-10 об.% при скорости пропускания ее 0,6-0,8 мл/мин, а детектирование осуществляют при длине волны 200-250 нм.

Методика отработана на примере определения микроколичеств селеноорганических соединений - препаратов группы «Селекор», используемых для обогащения БАДов. При хроматографическом определении селекора используют прибор, состоящий из двух насосов (Knauer), инжектора, УФ-спектрофотометра 320 (Hitachi) с жидкостной кюветой объемом 7 мкл и объемом петли 20 мкл. В работе используют колонку C18 (150 мм длиной и 4,5 мм в диаметре) и другие.

СЛЕДЫ УДАРНОГО ПРОЦЕССА НА МИНЕРАЛАХ ИЗ КРАТЕРОВ CAROLINA BAYS
(ВОСТОЧНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ США)

Цельмович В.А (ГО»Борок» ИФЗ РАН), Люхин А.М. (ООО "Институт дистанционного прогноза руд"), Sheremet V.A. (GSO, Univ. of Rhode Island).

Работа поддержана РФФИ, проект 16-05-00703

На атлантическом побережье США, на протяжении 1000 км от Флориды до Нью-Джерси, расположено свыше 500 000 овальных кратеров, размерами до 15 км, называемых «заливами Каролины» (Carolina Bays), происхождение которых вызывает споры.

В ГО «Борок» ИФЗ РАН на СЭМ «Тескан Вега II» с приставкой для ЭДС изучены пробы, отобранные с помощью Nd магнита из рыхлых пород 3-х кратеров, расположенных в 10-ти км к северу от г. Миртл Бич, Южная Каролина.

В исследованных пробах были обнаружены микро- и наночастицы, примазки и пленки чистого Ni на поверхности окатанных зерен ильменита и кварца, а также микрочастицы самородных металлов: Fe, Zn, CuZn, FeNd.

Нами, впервые в породах этих кратеров, выявлены не просто минералы импактного генезиса, а следы процесса термического взаимодействия земного и космического вещества, произошедшего in situ.

Предполагается, что кратеры были образованы многочисленными фрагментами аэродинамически разрушенного космического тела (кометы или астероида), летевшего навстречу Земле по очень пологой траектории.

СМЕШЕНИЕ ЛАМПРОИТОВОЙ И КАМАФУГИТОВОЙ МАГМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВЫСОКОКАЛИЕВЫХ ПОРОД РЯБИНОВОГО МАССИВА, АЛДАНСКИЙ ЩИТ (ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЗАКАЛЕННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНЕ И ХРОМШПИНЕЛИ).

Чайка И.Ф., Изох А.Э. (ИГМ СО РАН, НГУ), Соболев А.В., Батанова В.Г. (ГЕОХИ РАН, ISTERre), Крашенинников С.П. (ГЕОХИ РАН).

+79137723224 ivanlab211@gmail.com

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №15-17-20036). Аналитические исследования во Франции поддержаны грантом Labex OSUG @2020 (Investissements d'avenir – ANR10 LABX56).

Исследовались расплавные включения в зернах оливина и хромшпинелидов из лампроитов Рябинового массива и их минералы-хозяева. Непрогретые включения раскристаллизованы, гомогенизация с быстрой закалкой производилась в трубчатой печи при Р атм и Т 1400 °С (для хромшпинелидов), 1350 и 1250 °С (для оливинов). Получены гомогенные стекла, состав которых определялся микрозондовым анализом и SIMS. Составы оливина и хромшпинелидов определялись микрозондовым анализом, температуры кристаллизации оливина оценивались по оливин-шпинелевому термометру.

По классификации Foley et al., 1987 состав стекол включений в оливинах отвечает камафугиту, реже – лампроиту, в хромшпинелидах – лампроиту, присутствуют тренды смешения этих магм. Оливины-хозяева включений камафугитового состава отличаются от фенокристов оливина из лампроитов повышенным Fe, CaO, пониженным NiO.

На основании полученных данных и учитывая данные предыдущих исследований, предполагается существование глубинных камер, в которых происходило фракционирование магм лампроитового и камафугитового составов. При прохождении лампроитовой магмы через камеру с камафугитовой магмой, происходило их смешение при температуре около 1150 °С, за которым следовали ликвационные процессы с отделением силикатной и карбонатно-солевой фракций. Геохимическая специфика стекол включений и изотопный состав изученных пород указывают на древний (AR-PR) литосферный источник этих магм, обогащенный в ходе древних субдукционных процессов.

КР-СПЕКТРОСКОПИЯ N-ДОКОЗАНА (C₂₂H₄₆) ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Чанышев А.Д., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН), Гончаров А.Ф. (Институт Карнеги, Вашингтон, США)

chanyshev_90@mail.ru тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена по госзаданию, проект № 0330-2016-0012

Важность исследования тяжелых n-алканов при высоких давлениях связана с широкой распространенностью этих углеводородов в природных системах, в первую очередь в нефтяных месторождениях. Их изучение при высоких давлениях также необходимо, так как тяжелые углеводороды могут играть важную роль в составе глубинных флюидов, а кроме того являются важным материалом для экспериментов, где они используются в качестве источника углерода и водорода при исследовании закрытых C-O-H-N систем в прессовых аппаратах или ячейках с алмазными наковальнями. В данной работе проведено детальное исследование n-докозана (C₂₂H₄₆) методом КР-спектроскопии при давлениях до 30 ГПа и комнатной температуре. Эксперименты проводили с использованием ячейки с алмазными наковальнями в Геофизической лаборатории Института Карнеги (Вашингтон, США). Нами использовались алмазные наковальни с рабочей площадкой 300 мкм. Для оценки давления использовался рубин (Cr³⁺:Al₂O₃). При атмосферном давлении КР-спектр n-докозана определяется пятью спектральными линиями в диапазоне 700-1300 см⁻¹, который характеризуется колебаниями скелетных растяжений C-C и маятниковыми колебаниями CH₂/CH₃; двумя спектральными линиями в диапазоне 1400-1500 см⁻¹, который характеризуется ножничными метиловыми колебаниями; и пятью спектральными линиями в диапазоне 2800-3200 см⁻¹ – диапазон колебаний растяжения CH₃ и CH₂ групп. В результате нам удалось выявить сдвиг всех спектральных линий n-докозана в область более высоких значений длин волн при повышении давления. Также удалось выявить исчезновение спектральных линий и появление новых мод в интервалах давлений 1,6-3,8 ГПа, 10,8-11,0 ГПа и 21,0-23,5 ГПа, что свидетельствует о фазовых переходах n-докозана. Важно отметить, что такое же поведение спектральных линий при фазовых переходах наблюдалось ранее и для более легких алканов, таких как этан, пропан, пентан, гексан и гептан.

ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПРИРОДНОГО ПИРОХЛОРА В ГРАНИТОИДНЫХ РАСПЛАВАХ. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Чевычелов В.Ю. (ИЭМ РАН)

chev@iem.ac.ru тел.: 8(496)52-258-61

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 18-05-01001А.

Из гелевых смесей были наплавлены исходные модельные стекла состава $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ с мольными $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O})$ отношениями равными ≈ 0.64 , ≈ 1.10 и ≈ 1.70 . Наплавление проводили в Pt ампулах в высокотемпературных печах с силитовыми нагревателями КО-14 при атмосферном давлении и температуре от 600 до 1350°C в течение ≈ 1.7 сут. (из них ≈ 0.7 сут. при 1350°C). Затем полученные стекла были насыщены 0.2 н водным раствором HF и в их состав были добавлены ≈ 1 мас.% LiF и ≈ 0.5 мас.% CaO. Эти опыты были проведены в присутствии буфера Ni-NiO на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (IHPV) при $T = 900\text{-}1000^\circ\text{C}$, $P = 100$ МПа и длительности ≈ 6 часов. Для экспериментов был использован пироклор из Вишневогорского ниобиевого месторождения следующего состава: $(\text{Ca}_{1.1}\text{Na}_{0.8}\text{La}_{0.05}\text{Ce}_{0.05})(\text{Nb}_{1.8}\text{Ti}_{0.2})\text{O}_{5.9}\text{F}_{1.1}$. При подготовке экспериментов по определению растворимости пироклора в гранитоидных расплавах порошок модельного алюмосиликатного стекла засыпали в Pt ампулу, в центр помещали 1 достаточно крупный обломок кристаллического пироклора, добавляли 2-3 мас.% р-ра HF и заваривали. Эксперименты были проведены на установке IHPV при $T = 750^\circ\text{C}$, $P = 100$ МПа и длительности 5 суток. Из полученных образцов стекла готовились препараты для исследования методом локального рентгеноспектрального анализа. Такой анализ проводили вдоль профилей перпендикулярных к границе вплавленного в стекло кристалла. В результате обработки анализов были рассчитаны растворимости пироклора в гранитоидных расплавах в данных условиях, а именно максимальные концентрации Nb в расплавах непосредственно на границе с кристаллом. Полученные результаты сопоставлены с данными по растворимости колумбита и танталита в подобных условиях.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ФУГИТИВНОСТИ КИСЛОРОДА (f_{O_2}) В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСТАНОВКАХ ВЫСОКОГО ГАЗОВОГО ДАВЛЕНИЯ С ВНУТРЕННИМ НАГРЕВОМ (ИНРВ)

Чевычелов В.Ю., Корнеева А.А. (ИЭМ РАН)

chev@iem.ac.ru, gubkagob@mail.ru тел.: 8(496)52-258-61

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 18-05-01001А.

С использованием различных твердых кислородных буферов (Co-CoO, Ni-NiO, Fe₃O₄-Fe₂O₃, Cu-CuO) была оценена фугитивность кислорода (f_{O_2}) в экспериментах на установках высокого газового давления с внутренним нагревом («газовая бомба») при $T = 1000^\circ\text{C}$ и $P = 200$ МПа. Данные буферы были выбраны, и по формуле $\log(f_{O_2})_{P,T} = A/T + B + C(P-1)/T$ были рассчитаны величины f_{O_2} для этих P - T параметров в соответствии с работой [Chou I.M. In: *Hydrothermal experimental techniques*. 1987]. Рассчитанные $\log(f_{O_2})_{P,T}$ составили (в атм.): -11.68 для Co-CoO; -10.13 для Ni-NiO; -5.13 для Fe₃O₄-Fe₂O₃ и -4.60 для Cu-Cu₂O. Эксперименты были проведены в двойных заваренных Pt ампулах. Во внутреннюю ампулу помещалась буферная смесь, а во внешнюю заливали H₂O для увеличения длительности работы буфера. Исходные буферные смеси были составлены в таких пропорциях: 85 мас.% Co (Ni) и 15 мас.% CoO (NiO); 15 мас.% Fe₃O₄ (Cu) и 85 мас.% Fe₂O₃ (CuO). Длительность опытов была 1 сут. После опытов были проведены рентгенофазовые исследования буферных смесей. Установлено, что во всех проведенных экспериментах сохранялись оба компонента буфера, но их соотношения существенно изменялись. В опытах с Co-CoO и Ni-NiO количество окисленных фаз увеличилось за счет более восстановленных. В опытах с Fe₃O₄-Fe₂O₃ и Cu-CuO в противоположность этому возросло количество более восстановленных фаз. Таким образом, в экспериментах на «газовой бомбе» при $T = 1000^\circ\text{C}$ и $P = 200$ МПа величина $\log(f_{O_2})$ находится в диапазоне $\approx -10.13 - -5.13$ или Ni-NiO + $\approx 2-3$. Наши результаты совпадают с данными $\log f_{O_2} \approx \text{Ni-NiO} + 3.5$, приведенными в работе [Berndt et al. *J. Petrol.* 2005].

ВЛИЯНИЕ ФТОРА НА РАСТВОРИМОСТЬ ВОДНОГО ХЛОРИДНОГО ФЛЮИДА В
РИОДАЦИТОВОМ РАСПЛАВЕ

Чевычелов В.Ю. (ИЭМ РАН)

chev@iem.ac.ru тел.: 8(496)52-258-61

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 18-05-01001А.

Экспериментально исследована растворимость H_2O -Cl-F-содержащих флюидов различной концентрации (от 0 до 7М HCl и от 0 до 7М HF) в риодацитовом расплаве. В процессе подготовки опыта в Pt ампулу загружали порошок предварительно синтезированного гомогенного стекла, заливали исходный раствор и заваривали. Эксперименты проводились в сосуде высокого газового давления с внутренним нагревом при $T = 1000^\circ C$ и $P = 200$ МПа. Длительность составляла 5 суток. Полученные образцы стекла исследовались методом локального рентгеноспектрального анализа. Содержание H_2O в этих стеклах рассчитано с использованием литературных данных. Содержания F и Cl во флюиде после опыта рассчитывались по балансу масс. Показано, какое влияние оказывает фтор на содержания хлора и воды в расплаве риодацитового состава.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ХРОМИСТЫХ ГРАНАТОВ С ШИРОКИМИ ВАРИАЦИЯМИ СОДЕРЖАНИЯ CaO В СИСТЕМЕ СЕРПЕНТИН-ХРОМИТ-КОРУНД-CaO

Чепуров А.А. (ИГМ СО РАН)

achepurov@igm.nsc.ru тел.:(383) 333 2341

Высокохромистые гранаты, находящиеся во включениях в алмазах и мантийных ксенолитах имеют специфические вариации содержания CaO: низкокальциевые разновидности представлены субкальциевым пиропом из гарцбургитов и лерцолитов, в то время как самые высококальциевые разновидности встречаются в виде уваровитового граната из верлитов. Водный флюид является крайним членом одного из возможных метасоматических агентов, который способен транспортировать геохимические компоненты в природных условиях. В работе представлены экспериментальные результаты по кристаллизации высокохромистых гранатов с широкими вариациями содержания Cr₂O₃ и CaO в модельной ультраосновной системе при взаимодействии природного серпентина, хромита и корунда с Ca-содержащим водным флюидом при давлении 5 ГПа и температуре 1300 С. Показано образование высокохромистых пироповых гранатов (6-12 вес.% Cr₂O₃ and 0.1-6 вес.% CaO) и уваровитовых гранатов (14-21 вес.% Cr₂O₃ and 13-24 вес.% CaO), которые на диаграмме Cr₂O₃-CaO демонстрируют тренд от самых низкокальциевых разновидностей гарцбургитовой ассоциации до высококальциевых уваровитовых гранатов из верлитов, а также продемонстрировано, что водный флюид может играть значительную роль при кристаллизации высокохромистых гранатов.

ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ АЛМАЗОВ “СМЕШАННОГО” ПАРАГЕНЕЗИСА

Шацкий А.Ф., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН)

shatskiy@igm.nsc.ru тел.: 8 (383) 333 26 00*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-17-00609-П*

Согласно современным представлениям, литосферные алмазы кристаллизовались из существенно карбонатных расплавов при их частичном восстановлении. Экспериментальная реконструкция состава кимберлитового расплава в зоне мантийного источника показала, что его состав был близок к алмазонасыщенным магнезиокарбонатитам. Вероятнее всего протокимберлитовый т.е., карбонатитовый расплав являлся жидким компонентом термохимических плюмов, характеризующихся более окисленными обстановками по сравнению с окружающей мантией. Просачивание таких расплавов в окружающие мантийные породы по механизму растворения-кристаллизации сопровождалось их переуравновешиванием с вмещающими минеральными ассоциациями, а также частичным восстановлением их карбонатной составляющей, то есть, снижением CO_2 в системе.

Полученные при 6.5 ГПа и 1200-1600 °С экспериментальные данные указывают на то, что понижение содержания CO_2 в карбонат-силикатной системе кимберлитового состава сопровождается изменением минеральной ассоциации в следующей последовательности: коэситсодержащая ассоциация ($\text{Co}_e + \text{Cr}_x \pm \text{Grt}$) → пироксенитовая ($\text{Cr}_x \pm \text{Or}_x + \text{Grt}$) → лерцолитовая/верлитовая ($\text{Ol} \pm \text{Or}_x + \text{Cr}_x + \text{Grt}$). Установленная закономерность может объяснять образование алмазов “смешанного” парагенезиса из эклогитов группы А. В этих алмазах включения коэсит + клинопироксен ($\text{Jd}_7\text{Di}_{85}\text{En}_5\text{Fs}_3$) и включения граната ($\text{Prp}_{74}\text{Alm}_{17}\text{Grs}_9$) приурочены к центральным зонам, а включения оливина (Fo_{93}) локализируются в периферических зонах кристаллов алмаза. В наших экспериментах близкий по составу клинопироксен ($\text{Jd}_{10}\text{Di}_{83}\text{En}_3\text{Fs}_4$) кристаллизовался совместно с коэситом при 1200 °С и 35 мол% CO_2 в системе, в то время как кристаллизация оливина происходила в интервале 15-27 мол% CO_2 .

Таким образом, постепенное уменьшение концентрации CO_2 при восстановлении карбонатитового расплава могло приводить к смене сингенетической ассоциации алмазов, от коэситсодержащей эклогитовой до оливинсодержащей перидотитовой.

ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРЫ ПОРИСТОСТИ И АКУСТОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Шихова Н.М., Цельмович В.А., Патонин А.В. (ГО БОРОК ИФЗ РАН)

shinami@yandex.ru тел.: 8 (485) 4724024

Работа выполнена в рамках гос. заданий № 0144-2014-0096, № АААА-А17-117040610183-6 и при поддержке гранта РФФ 16-47-02-003.

На основе цифровых изображений проведен анализ аншлифов образцов горных пород с целью расчетов параметров пористости. Оценены показатели связности и самоподобия разных по структуре материалов, включая керогеносодержащие породы. Рассмотрены примеры распределений акустической активности, возникающей в ходе лабораторных испытаний различных по структуре образцов горных пород в условиях одно- и трехосной деформации. Показано, что характер распределений акустической активности связан с параметрами распределений отдельных фаз, полученными в результате анализа аншлифов. Это позволяет прогнозировать изменения структуры испытуемого образца на различных стадиях его напряженно-деформационного состояния.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОРАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИРОДНЫХ СИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ ОСНОВНОГО И СРЕДНЕГО СОСТАВА

Шишкина Т.А. (ГЕОХИ РАН), Тихонова М.С. (геол. ф-т. МГУ), Некрылов Н.А. (Музей Ферсмана РАН), Попов Д.В. (геол. ф-т. МГУ), Бочарников Р.Е. (Inst. Geowiss., Mainz), Плечов П.Ю. (Музей Ферсмана РАН, геол. ф-т МГУ), Портнягин М.В. (ГЕОХИ РАН)

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

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-60123.

Вода является одним из важных компонентов магм, влияющих на их физико-химические свойства, поэтому количественное определение ее содержания в природных расплавах является важной петрологической задачей. В работе предложена методика определения концентраций воды в закалочных силикатных стеклах и расплавных включениях основного и среднего состава методом микрорамановской спектроскопии с помощью конфокального рамановского микроскопа JY Horiba XPlora Jobin (кафедра петрологии геологического факультета МГУ). Калибровка прибора проведена с использованием коллекции экспериментально-синтезированных силикатных стекол широкого спектра составов с известными содержаниями воды, определенными ранее независимыми методами (ИК-спектроскопия, метод титрации по Карлу-Фишеру). Для количественной оценки с помощью микрорамановских спектров использовалось соотношение площадей характеристических пиков и калибровочный коэффициент k . Показано, что коэффициент положительно коррелирует с показателем состава и структуры расплава NBO/T. С использованием разработанной методики были определены содержания воды в коллекции природных закалочных стекол из образцов океанических толеитов района тройного сочленения Буве, которые составили 0.2 – 1.2 мас.% H₂O.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
ШПИНЕЛИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ЭФФУЗИОННЫМ МЕТОДОМ
КНУДСЕНА

Шорников С. И. (ГЕОХИ)

sergey.shornikov@gmail.com тел.: 8 (812) 540 03 42

Масс-спектрометрическим эффузионным методом Кнудсена определены значения парциальных давлений компонентов газовой фазы над твердыми растворами шпинели и уточнена граница твердых растворов шпинели в области « $MgAl_2O_4$ (твердый раствор) + Al_2O_3 » в диапазоне температур 2000–2200 К. Полученная термодинамическая информация сопоставлена с имеющейся в литературе. Найденные значения активностей оксидов, энергии Гиббса, энтальпии и энтропии образования твердых растворов из оксидов свидетельствуют о незначительных отрицательных отклонениях от идеальности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНОЙ ИНВЕРСИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЛЕТУЧЕСТИ
MgO И SiO₂ ПРИ ИСПАРЕНИИ РАСПЛАВОВ CAIs

Шорников С. И., Яковлев О. И. (ГЕОХИ)

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

В рамках термодинамической модели исследовано изменение состава Ca–Al–включения (CAIs) в хондрите в процессе испарения при температуре 2173 К. Полуэмпирическая модель базировалась на теории идеальных ассоциированных растворов и экспериментальных данных о расплавах системы CaO–MgO–FeO–Al₂O₃–TiO₂–SiO₂, полученных эффузионным масс-спектрометрическим методом Кнудсена в интервале температур 1600–2500 К. Для испарения большинства составов CAIs характерна инверсия относительной летучести MgO и SiO₂, обусловленная преобладающим испарением MgO из расплава. Однако для состава (36.14 мол. % SiO₂, 23.88 мол. % Al₂O₃, 25.60 мол. % MgO, 14.43 мол. % CaO) наблюдалась двойная инверсия соотношения MgO / SiO₂: первая (~35 мол. % Al₂O₃) – ведущая к преобладанию MgO в расплаве, и вторая (~60 мол. % Al₂O₃) – ведущая к преобладанию SiO₂ в расплаве. Показано, что небольшие отклонения по содержанию CaO, характеризующего основность расплава, могли привести как к преобладанию в расплаве MgO (по сравнению с SiO₂) вследствие преимущественного испарения SiO₂ из расплава, так и к преобладанию в расплаве SiO₂ (по сравнению с MgO) вследствие преимущественного испарения MgO из расплава.

КОМЕТНАЯ ВОДА НА ЛУНЕ

Шпекин М.И. (КФУ), Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН), Мухаметшин Ч.Р.,
Семенов А.А. (КФУ)

MichaelS1@yandex.ru, тел: 8(843) 292-77-97
azary@mail.ru, тел: 8(499) 135-54-67

В последние годы много говорят и пишут об открытии воды на Луне. Замерзшая вода обнаружена не только на полюсах Луны, но и присутствует в виде льда в породах разных участков лунной поверхности и, прежде всего, в крупных ударных кратерах.

Приведены результаты изучения присутствия замерзшей воды в двух ударных кратерах на обратной стороне Луны: кратер Циолковский ($D = 180 \text{ km}$, 19°S , 129°E) и кратер Эйткен ($D = 130 \text{ km}$, 17°S , 173°E). Исследования выполнены на основе фотограмметрической обработки орбитальных снимков высокого разрешения, доставленных космическими кораблями «Зонд-8» и «Аполлон-15,-17». В результате авторам удалось построить трехмерные модели кратеров, что позволяет изучать особенности топографии кратеров, их днища, стенок, центральных горок и т.д. В сообщении рассмотрены ледниково-подобные языки, сползающие с центральных горок обоих кратеров. Эти и многие другие детали указывают на наличие в породах кратеров больших масс замерзшей воды.

По нашим данным оба кратера имеют кометное происхождение. Их возраст ~1-2 млн лет, и сами они возникли в конце последней бомбардировки Солнечной Системы галактическими кометами, имевшей место от 5 до 1 млн лет назад. Наши исследования позволяют лучше понять механизм вмораживания кометной воды в породы стенок при образовании кратеров, а также физический механизм оттаивания этих пород при сублимации льда в настоящее время.

СОБСТВЕННАЯ ЛЕТУЧЕСТЬ КИСЛОРОДА МИНЕРАЛОВ В ХОДЕ ФОРМИРОВАНИЯ КИВАККСКОГО ИНТРУЗИВА: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ.

Шубин И.И. (МГУ), Жаркова Е.В.(ГЕОХИ), Коптев-Дворников Е.В. (МГУ), Сенин В.Г.(ГЕОХИ).

shubin.ivann@mail.ru

Работа выполнена при поддержке РФФИ 17-05-00713а, Программа 22П Президиума РАН

Киваккский мафит-ультрамафитовый расслоенный интрузив расположен в Северной Карелии на северо-западном берегу озера Пяозеро. Он входит в Олангскую группу расслоенных интрузивов, являющуюся частью субширотной полосы базит-гипербазитовых массивов. Для исследования были выбраны наименее вторично измененные образцы, из которых отобраны чистые зерна оливинов (Ol), ортопироксенов (Orx) и клинопироксенов (Cpx).

Эксперименты по определению собственной летучести кислорода (fO_2) минералов проводили на высокотемпературной установке на основе двух твердых электролитов в интервале температур от 800 до 1100⁰ С.

Измеренные значения собственной летучести кислорода минералов сопоставлены с параметрами реалистичной модели Киваккского интрузива (КОМАГМАТ-3.5) с долей Fe^{+2} 0,97 от общего железа в исходной магме. В исходной магме содержалось 25% кристаллов интрателлурического оливина и 75% расплава. От модели отклонились породы в основании разреза, в сторону повышения летучести кислорода, в которых присутствовала различная доля интрателлурического оливина. Установлена эмпирическая зависимость летучести кислорода оливина близкая к линейной от доли в породе интрателлурического оливина. Измеренные значения fO_2 минералов из пород, в которых отсутствуют интрателлурический оливин, хорошо согласуются с моделью Киваккского интрузива (КОМАГМАТ-3.5).

ДИФФУЗИОННЫЙ (НЕРАСПЛАВНЫЙ) МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ЖИДКОГО УГЛЕРОДА

Шумилова Т.Г., Исаенко С.И. (ИГ Коми НЦ УрО РАН)

shumilova@geo.komisc.ru тел.: 8(8212)240970

Плавление представляет собой переход вещества из твердого в жидкое агрегатное состояние. Данный процесс является фазовым переходом первого рода, каждый материал имеет свою определенную температуру плавления. Углерод является самым тугоплавким веществом, плавится при температуре порядка 3800–5000 К. Такие высокие температуры технологически весьма сложно достигаются. Нами в процессе экспериментального моделирования природного алмазообразования из раствора углерода графита в карбонатном многокомпонентном расплаве $K_2O-Na_2O-CaO-MgO-FeO-CO_2$ состава вблизи линии равновесия графит-алмаз нами получены фактические данные, указывающие на возможность возникновения метастабильного жидкого углерода при температуре на 2000–3000К ниже температуры плавления углерода. На основе полученных результатов предложен механизм формирования метастабильного жидкого углерода диффузионным путем в карбонатном расплаве, который может быть основой для разработки новых технологий получения сверхтугоплавких материалов при существенно более низких температурах. Рассматривается механизм образования алмаза из жидкого углерода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ УГЛЕРОДА В
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Шумилова Т.Г. (ИГ Коми НЦ УрО РАН)

shumilova@geo.komisc.ru тел.: 8(8212)240970

Информация об открытии алмазных звезд привлекла внимание большого числа ученых и населения. Нами экспериментально оценено возможное состояние углерода в условиях существования звезд и ядерных частей планет (Shumilova et al., 2016). В условиях экстремально высоких температур и давлений получено устойчивое при нормальных условиях оптически прозрачное углеродное вещество аморфного строения, которое на основании данных широкого комплекса исследований интерпретировано нами как алмазоподобное стекло. Данный тип вещества, обладает комплексом необычных свойств, в том числе теоретически имеет высокую твердость. Экспериментально показано возможное существование свободного углерода в присутствии кислорода в экстремальных условиях, что доказывает возможность существования углерода алмазного типа в составе богатых углеродом звезд. Наиболее благоприятными для существования алмаза являются белые карлики. Воспроизводимый экспериментальный синтез с выдерживаемыми длительное время экстремальными РТ-условиями, является основой для разработки новых сверхтугоплавких материалов.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЛИТИЯ МЕЖДУ ФАЗАМИ ВО ФТОРСОДЕРЖАЩЕЙ ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ

Щекина Т.И., Русак А.А., Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Зиновьева Н.Г., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ), Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН).

t-shchekina@mail.ru; aleks7975@yandex.ru тел.: 8(495)939 20 40

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-0089)

Экспериментально изучено распределение редкоземельных элементов, Y, Sc и Li между алюмосиликатным (L) и алюмофторидным (LF) расплавами в гранитной системе с предельными концентрациями фтора при температуре 700 и 800°C, давлении 1 и 2 кбар, содержанием воды от 2,5 до 30 мас.%. Показано, что все редкоземельные элементы, Y, Sc и Li распределяются в пользу солевого алюмофторидного расплава, независимо от заданных условий эксперимента. Однако коэффициенты разделения элементов $K_{R3Э}(LF/L)$ между этими фазами зависят от давления, температуры и содержания воды в системе. Впервые показано, что увеличение давления от 1 до 2 кбар при $T=800^\circ$ вызывает существенное уменьшение $K_{R3Э}(LF/L)$. Коэффициенты разделения между расплавами монотонно снижаются от легких к тяжелым РЗЭ как при 1, так и при 2 кбар. Увеличение концентрации воды в системе вызывает увеличение $K_{R3Э}(LF/L)$. Причины зависимости поведения РЗЭ от давления и содержания воды в системе связаны, вероятно, с изменением структуры и растворимости воды в силикатном и солевом расплавах при различных условиях эксперимента.

НАХОДКА ХОНДРИТА В ПРИМОРЬЕ.

Юрковец В.П. (Академия ДНК-генеалогии, Бостон, США)

valery.yurkovets@gmail.com

В Приморском крае в разрезе морской триасовой толщи (песчаники, алевролиты, известняки) обнаружен валун, несущий признаки метеорита – «аэродинамическую» форму и изменённую корку плавления. В месте его обнаружения морская толща нарушена. Валун рассечён трещинами, образовавшимися, очевидно, в ходе быстрого остывания, половина его отсутствует. Для проведения анализов был отобран осколок массой около 3,5 кг, лежавший рядом. Основная часть находится на месте изначального залегания в разрезе морской толщи. Образец на сколе имеет чёрный цвет. В шлифах и аншлифах (рис. 1) просматриваются хондры, вблизи корки плавления – более контрастно. Матрица микробрекчиевая, преобладает над хондрами. Представлена минералами хлорит-серпентинового ряда. Потеря массы при прокаливании (в основном, углерод) составляет 25%.

В настоящее время проводится исследование отобранного образца. По предварительным данным, валун является метаморфизованным углистым хондритом.

ЗАВИСИМОСТЬ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗОТОПОВ МАГНИЯ И КРЕМНИЯ ОТ КИСЛОТНОСТИ-ОСНОВНОСТИ CAIs-РАСПЛАВОВ

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

yakovlev@geokhi.ru тел.: 8 (495) 939 70 03

Высокотемпературные процессы испарения силикатных расплавов вызывают у исследователей большой интерес в связи с изучением Ca–Al–включений (CAIs) хондритов, которые представляют самые древние объекты Солнечной системы с возрастом 4.567 млрд. лет. Включения состоят из тугоплавких минералов – гибонита, шпинели, мелилита, фассаита, анортита, перовскита, а в химическом отношении из труднолетучих – Al_2O_3 , CaO, TiO_2 и умеренно летучих оксидов – MgO и SiO_2 . В составе Ca–Al–включений наблюдаются отчетливые признаки масс-зависимого изотопного фракционирования Mg и Si, которые, как показали эксперименты, образуются при значительных массопотерях испаряющегося расплава.

На скорости испарения Mg и Si оказывает сильное влияние фактор кислотности – основности расплава. Увеличение основности расплава, вследствие увеличения в нём по мере испарения содержания труднолетучего, щелочно-земельного оксида кальция, повышает активность и, соответственно, скорость испарения основного оксида – MgO, и, напротив, понижает активность и, соответственно, скорость испарения кислотного оксида – SiO_2 . В свою очередь, скорости испарения Mg и Si определяют эффективность изотопного фракционирования, которая по мере испарения расплава увеличивается у основного по кислотности оксида магния и уменьшается у кислотного оксида кремния.

