

**Министерство образования и науки**

**Российская академия наук  
Отделение наук о Земле**

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

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

**Российский фонд фундаментальных исследований  
*Грант 19-05-20038***

## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

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

**(ВЕСЭМПГ-2019)**

**Москва, 16–17 апреля 2019 г.**



Москва

## **Председатели семинара**

дгмн О.А. Луканин      ГЕОХИ РАН  
дгмн О.Г. Сафонов      ИЭМ РАН, МГУ

## **Оргкомитет**

дгмн А.А. Арискин      МГУ, ГЕОХИ РАН  
дгмн А.В. Бобров      МГУ, ГЕОХИ, ИЭМ РАН  
кгмн В.А. Зайцев      ГЕОХИ РАН  
дгмн А.Р. Котельников      ИЭМ РАН  
чл-кор. О.Л. Кусков      ГЕОХИ РАН  
дхн. Ю.А. Литвин      ИЭМ РАН  
дхн Е.Г. Осадчий      ИЭМ РАН  
дгмн Ю.Н. Пальянов      ИГМ СО РАН  
дхн Б.Н. Рыженко      ГЕОХИ РАН  
чл-кор. Ю.Б. Шаповалов      ИЭМ РАН  
кгмн О.И. Яковлев      ГЕОХИ РАН

## **Секретари семинара**

кхн Е.В. Жаркова      ГЕОХИ РАН  
Е.Л. Тихомирова      ИЭМ РАН

**МИНЕРАЛОГИЯ ОРАНЖЕИТОВ ТРУБКИ СЕЙТАПЕРЯ (ПОЛЕ КУХМО, ФИНЛЯНДИЯ)**

**Азарова Н.С., Бовкун А.В., Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ), Варламов Д.А. (ИЭМ РАН)**

Расположенная в районе Кухмо-Лентиира трубка Сейтаперя (Seitaperä) выполнена оранжеитами (богатыми слюдой кимберлитами группы II) (O'Brien, 2015). В настоящее время это наиболее крупное (6,9 га) алмазсодержащее тело на территории Финляндии.

Изученные породы сложены вкрапленниками (до 0,5-0,8 см) флогопита (8,6-10,5 мас.% FeO<sub>Σ</sub>, 3,1-5,8 мас.% TiO<sub>2</sub>), реже – клинопироксена (Mg#=81-85,8; Ca#=53,3-54,8) и полностью измененного оливина, погруженными в мелкозернистую связующую массу из флогопита, карбоната, серпентина, диопсида, многочисленных мелких (до 70-100мкм) зерен оксидных минералов и редких выделений Sr-содержащего апатита (1,3-1,4 мас.% SrO), Ba-Ca-карбонатной фазы и Zr-силикатов разнообразного состава. Среди оксидных минералов преобладают перовскит, обычно обогащенный редкоземельными элементами (до 1,2-5,1 мас.% REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в центрах зерен), и титаномагнетит (до 15 мас.% TiO<sub>2</sub>, 5,2 мас.% MnO, 0,8 мас.% ZnO), реже встречаются зональные зерна хромшпинелидов. Центральные участки последних содержат 39,7-46 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8,4-9,7 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,9-6,1 мас.% TiO<sub>2</sub>, 7,4-11,6 мас.% MgO (Cr# = 74-77,7), краевые зоны сложены титаномагнетитом. Встречаются редкие зерна Mn-содержащего магнезиального ильменита (6-6,7 мас.% MgO, 2,3-2,5 мас.% MnO, до 0,6 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 4,5 мас.% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**ВЕСЭМПГ - 002**

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТОВ ГАЗОУДЕРЖАНИЯ И РАДИАЦИОННЫХ ВОЗРАСТОВ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

**Алексеев В.А., Павлова Т.А. (ГЕОХИ РАН)**

[AVAL37@mail.ru](mailto:AVAL37@mail.ru); тел.: 8 (496) 522 19 88

*Работа частично поддержана Программой № 28 Президиума РАН*

Рассмотрены особенности распределения возрастов газоудержания ( $T_4$  и  $T_{40}$ ) и радиационных возрастов ( $T_{21}$ ) в зависимости от пористости для наиболее распространенных химических групп метеоритов – H- и L-хондритов. Распределения возрастов для метеоритов с известной пористостью сопоставлены с полученными ранее распределениями возрастов более 350 H- и L-хондритов. Для рассмотренных возрастов распределения для всех метеоритов подобны таковым для метеоритов с известной пористостью, что свидетельствует о представительности выборки метеоритов с известной пористостью. Найдена положительная корреляция с пористостью как содержаний радиогенных и космогенных изотопов благородных газов в хондритах, так и соответствующих возрастов метеоритов. Найденные закономерности могут быть объяснены более высокими диффузионными потерями благородных газов (особенно He) из метеоритов с низкой пористостью.

**ВЕСЭМПГ - 003**

ТРЕКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТЕОРИТНЫХ ПАДЕНИЙ 2018 ГОДА,  
ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ АБЛАКЕТКА (Н5) И ОЗЁРКИ (L6).

**Алексеев В.А., Калинина Г.В., Лоренц К.А., Павлова Т.А. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Работа частично поддержана Программой № 28 Президиума РАН*

Приведены результаты измерений плотности треков VН-ядер галактических космических лучей (ГКЛ) в кристаллах оливина, выделенных из образцов обыкновенных хондритов Ablakетка Н5 (падение 16 февраля 2018 г. около пос. Аблакетка в районе г. Усть-Каменогорск, Казахстан) и Озёрки L6 (падение 21 июня 2018 г. около села Озёрки Липецкой области). С привлечением расчетных данных о глубинном распределении скорости образования треков VН-ядер ГКЛ в хондритах разных доатмосферных размеров выполнены оценки глубины залегания исследованных образцов и возможные размеры доатмосферных тел этих метеоритов.

**ВЕСЭМПГ - 004**

**ПРЕВРАЩЕНИЕ КВАРЦА В ОПАЛ В ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЕ ВОДА-ПАР**

**Алексеев В.А., Бурмистров А.А., Громяк И.Н. (ГЕОХИ РАН)**

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

Выполнены длительные эксперименты при 300°C с кристаллами кварца, нижние части которых располагались в жидкой воде, а верхние в водяном паре. После опытов концентрация растворенного кремнезема была заметно ниже растворимости кварца. Тем не менее, на поверхности кристаллов стабильного кварца выше границы вода-пар образовался метастабильный опал. Такое необычное поведение кремнезема объясняется дистилляцией, которая инициировалась преимущественным испарением воды на контакте с кварцем. Процесс усиливался смачиванием кварца водой, которая поднималась по кристаллам выше границы вода-пар, что увеличивало площадь испарения. Испарение тонкой пленки воды приводило к увеличению концентрации в ней кремнезема, который осаждался на кварце в виде опала. Минеральные превращения при дистилляции протекают вдали от равновесия, поэтому их скорости значительно выше по сравнению с простой перекристаллизацией, вызванной небольшим температурным градиентом. Описанное явление может быть причиной асимметрии природных кристаллизационных полостей, нижние части которых растворялись, а в верхних частях осаждались минералы.

**ВЕСЭМПГ - 005**

**СОСТАВ ГАЗОВОГО ГИДРАТА (Н) РТУТИ В ПРОЦЕССЕ ЕЁ ЛОКАЛЬНОГО ИСЧЕРПАНИЯ ИЗ АТМОСФЕРЫ ПРИ ВЫМОРАЖИВАНИИ**

**Алехин Ю.В., Фяйзуллина Р.В. (МГУ)**

[faizullina@geol.msu.ru](mailto:faizullina@geol.msu.ru); тел.: 8 (495) 939 49 43

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-05-01055 и №19-05-00519*

Использование подходов супрамолекулярной химии являлось ключевым при решении проблемы реальных форм переноса и динамики вымораживания ртути из атмосферы при глобальном массообмене. Именно образование газгидрата металлоцикла ртути (I):  $\text{Hg}_2\text{O}_2 \cdot 5,75 \text{H}_2\text{O}$ , управляет и сохраняет приблизительно постоянное содержание ртути на уровне  $2,2 \text{ нг/м}^3$  «стандартного воздуха». При этом ртуть является лишь микротрассером, который вымораживается, вплоть до исчерпания, при длительных колебаниях среднесуточной температуры около  $0^\circ\text{C}$ . Основу состава газгидратов при замерзании льда обычно составляют главные газы атмосферы:  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}$  и  $\text{CO}_2$ . Эти клатраты, как твердые растворы внедрения, содержат малую примесь газовых молекул ртути, но из-за размерных ограничений нуль-валентная ртуть, скорее всего, не способна устойчиво сохраняться в вечной мерзлоте и ледяных покровах Земли. Расчеты показывают, что в условиях атмосферы при  $f \text{ O}_2 = 0,208$  максимальной устойчивостью обладают соединения  $\text{Hg(I)}$ , сохраняющие стабильность при вымораживании и сохранении в структурах газ(о)гидратов. Интересной проблемой являются исследования реальных составов фаз и их сравнение с результатами моделирования методами молекулярной динамики.

**ВЕСЭМПГ - 006**

**РАЗВИТИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИМИИ ГАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ КАК РАЗДЕЛА РЕАЛЬНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ АТОМСФЕРЫ И ГЕТЕРОФАЗНЫХ ФЛЮИДОВ**

**Алехин Ю.В. (геол. ф-т МГУ)**

[alekhin@geol.msu.ru](mailto:alekhin@geol.msu.ru); тел.: 8 (495) 939 49 62

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-05-01055 и №19-05-00519*

Экспериментальные исследования растворимости мало летучих соединений в паровой водной фазе непосредственно свидетельствуют о степени ассоциации самих молекул растворителя, то есть о переменной доле ассоциатов молекул водяного пара в зависимости от  $P$ - $T$  - параметров. Развита физико-химический аппарат анализа таких явлений на строгой количественной основе. Развитие этой идеи позволяет создать основу для надмолекулярной химии мало плотных водных газовых растворов, так как полностью подтвердилась версия о том, что растворимость нелетучего химического соединения в паре является хорошим свидетелем именно степени ассоциации самого водяного пара как растворителя. Это позволяет детализировать, действительную стехиометрию газопаровых равновесий как реакций комплексообразования с устойчивым кластером  $(\text{H}_2\text{O})_4$ , то есть тетраэдром из молекул воды, реально ответственных за гидратацию и перенос молекулярных комплексов присоединения трудно летучих соединений. Сознательная перестандартизация свойств водяного пара, прямой учет мольной доли «действующего химического начала», является хорошим примером изучения изменений в растворимости трудно летучих форм в газовой фазе с привлечением идеи газовой динамики: «корзины аэростатов летают только с гондолами».



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПЕТРОГЕННЫХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ АЗЕРБАЙДЖАНА МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ АКТИВАЦИИ**

**Алиев Ф.А. (ЛНФ ОИЯИ), Мададзада А.И. (ЛНФ ОИЯИ), Алиев Ч.С. (ИГГ НАН Азербайджан), Гусейнов Д.А. (ИГГ НАН Азербайджан), Дулиу О.Г. (Бухарестский университет, Румыния), Павлов С.С. (ЛНФ ОИЯИ), Фронтасьева М.В. (ЛНФ ОИЯИ)**

В последнее время для решения разнообразных задач в геологии, связанных, главным образом, с определением содержания различных элементов в породах, активную роль играют нейтронные методы. Геологические образцы, такие как глина, аргиллит, песчаник были собраны в геологических обнажениях юго-восточного окончания Большого Кавказа на территории Азербайджана. С помощью инструментального эпитеплового нейтронного активационного анализа (ЭНАА) на реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ в геологических образцах были определены концентрация 6-ти петрогенных (Na, K, Ca, Ti, Al, Fe) и 29-ти рассеянных элементов (Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, As, Br, Rb, Sr, Mo, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Yb, Hf, Ta, W, Hg, Th и U). Полученные экспериментальные результаты ЭНАА десяти осадочных пород интерпретированы в системах моделей верхней континентальной коры (UC), срединно-океанических хребтов (MORB) и глинистых сланцев Северной Америки (NASC), которые позволили получить большой объем информации о происхождении исследуемых образцов, а также об особенностях геологической среды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ  $K_2CO_3$ – $CaCO_3$ – $MgCO_3$  ПРИ 3 ГПа И 750–1100 °С

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

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

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

Субсолидусные и ликвидусные взаимоотношения в системе  $K_2CO_3$ – $CaCO_3$ – $MgCO_3$  были изучены при 3 ГПа и 750–1100 °С. При 750 и 800 °С в системе имеется пять промежуточных соединений: доломит,  $Ca_{0.8}Mg_{0.2}CO_3$  Са-доломит,  $K_2(Ca_{\geq 0.84}Mg_{\leq 0.16})_2(CO_3)_3$ ,  $K_2(Ca_{\geq 0.70}Mg_{\leq 0.30})(CO_3)_2$  бючлиит и  $K_2(Mg_{\geq 0.78}Ca_{\leq 0.22})(CO_3)_2$ . При 850 °С система осложняется появлением дополнительного промежуточного соединения,  $K_2(Ca_{\geq 0.96}Mg_{\leq 0.04})_3(CO_3)_4$ . Соединение  $K_2Mg(CO_3)_2$  исчезает около 900 °С в результате инконгруэнтного плавления с образованием магнезита и жидкости.  $K_2Ca(CO_3)_2$  бючлиит плавится инконгруэнтно при 1000 °С с образованием  $K_2Ca_2(CO_3)_3$  и жидкости.  $K_2Ca_2(CO_3)_3$  и  $K_2Ca_3(CO_3)_4$  остаются стабильными во всем исследованном интервале температур (750–1100 °С). Среди ликвидусных фаз установлены: магнезит, доломит, Са-доломит, твердые растворы кальцит-доломит,  $K_2Ca_3(CO_3)_4$ ,  $K_2Ca_2(CO_3)_3$ ,  $K_2Ca(CO_3)_2$ , бючлиит,  $K_2Mg(CO_3)_2$  и твердые растворы  $K_2CO_3$ , содержащие до 24 мол.%  $CaCO_3$  и менее 2 мол.%  $MgCO_3$ . Система имеет шесть тройных перитектических реакционных точек и один минимум на ликвидусе при  $825 \pm 25$  °С и  $53K_2CO_3 \cdot 47Ca_{0.4}Mg_{0.6}CO_3$ . Точка минимума соответствует эвтектике, которая контролируется реакцией между  $K_2(Mg_{0.78}Ca_{0.22})(CO_3)_2$ ,  $K_2(Ca_{0.70}Mg_{0.30})(CO_3)_2$  бючлиитом и твердым раствором  $K_{1.70}Ca_{0.23}Mg_{0.07}CO_3$ .

## ВЕСЭМПГ - 009

СОДЕРЖАНИЕ Та И Nb В ВЫСОКОФТОРИСТОМ ПЛЮМАЗИТОВОМ ГРАНИТНОМ РАСПЛАВЕ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ).

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

YanaAlf@ya.ru 8(495)9392040

При температуре 700°C, давлении 1кбар, содержании воды 10 масс.%, Та и Nb по ≈1 масс.% проведена серия экспериментов в плюмазитовой части гаплогранитной высокофтористой системы SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O-Li<sub>2</sub>O-F. Получены два типа равновесных фазовых ассоциаций: 1) алюмосиликатный расплав – топаз – кварц – Та-Nb фаза, 2) алюмосиликатный расплав – солевой алюмофторидный расплав – криолит. Максимальное содержание Та и Nb в силикатном расплаве первого типа составляет примерно 0,29 и 0,35 масс.% соответственно. В силикатном расплаве второго типа содержание этих металлов увеличивается почти в четыре раза (1, 27 и 1,21 соответственно), не достигая насыщения по Та-Nb фазе .

Похожее скачкообразное изменение валового количества Та и Nb в генетически связанных глубоко дифференцированных породах отмечается для топазсодержащих и криолитсодержащих гранитных массивов провинции Питинга (Бразилия).

## ВЕСЭМПГ - 010

### РАСТВОРИМОСТЬ ВОДНОГО ФЛЮИДА В ВЫСОКОФТОРИСТОМ ГРАНИТНОМ РАСПЛАВЕ.

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

[YanaAlf@ya.ru](mailto:YanaAlf@ya.ru) 8(495)9392040

Проведена оценка содержания воды в кислом алюмосиликатном и равновесном солевом алюмофторидном расплавах. Количество воды в алюмосиликатном расплаве в условиях равновесия его с фторидными фазами (алюмофторидным расплавом) в модельной гранитной системе при 800 °С и 100 МПа может достигать 10 масс.%. Увеличение содержания воды в гаплогранитной магматической системе приводит к повышению максимальных значений содержания фтора в силикатном расплаве и увеличению растворимости солевого алюмофторидного расплава.

Содержание воды в солевом алюмофторидном расплаве достигает 15–19 масс.%, что приблизительно в 2 раза больше, чем в алюмосиликатном расплаве.

ЭВОЛЮЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ РАСПЛАВОВ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ДОВЫРЕНСКИХ МАГМ

**Арискин А.А., Пшеницын И.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Николаев Г.С. (ГЕОХИ РАН), Кислов Е.В. (ГИН СО РАН), Кубракова И.В., Тютюник О. А. (ГЕОХИ РАН)**

[ariskin@rambler.ru](mailto:ariskin@rambler.ru), тел.: (495)9394969

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

Представлено обобщение многолетних исследований Йоко-Довыренского массива в Северном Прибайкалье, направленных на реконструкцию истории насыщения сульфидом исходных магм и расшифровку природы образования богатых ЭПГ горизонтов. Эмпирической основой этих работ являются данные о геохимии ЭПГ, золота и халькогенов (Se, Te) в сульфидных фазах и сульфидоносных породах Довырена, которые демонстрируют отчетливый *сульфидный контроль* распределения благородных металлов. При нормировке валовых составов пород на сульфидную массу в образцах установлено, что средние составы “100%-сульфидов” подразделяется на две группы – резко обедненные платиноидами, Au, Cu, Te и обогащенные. Причем такое деление согласуется с разнообразием исходных Mss- и Iss-сульфидных растворов, при кристаллизации и субсолидусной эволюции которых сформировались наблюдаемые ассоциации пирротина ( $\pm$ троилит), пентландита, халькопирита и кубанита. Генетическое значение имеет тот факт, что состав наиболее примитивной несмесимой сульфидной жидкости, оцененный путем термодинамического моделирования с использованием программы КОМАГМАТ-5, ближе к обедненным медью и ЭПГ (существенно Fe-Ni) сульфидам, будучи, одновременно, промежуточным между составами Mss- и Iss-производных. Это указывает на ограниченные масштабы фракционирования несмесимых сульфидов по мере затвердевания довыренских кумулатов. Формирование богатых ЭПГ и Te медистых фракций естественно связать с последовательностью кристаллизации этой примитивной сульфидной жидкости. Таким образом, вопрос о физико-химической природе агента, транспортирующего благородные металлы и халькогены в толщах довыренских кумулатов представляется решенным: это не флюид, а сульфидная фаза. Проблема концентрирования благородных металлов сводится к конкретизации физических механизмов и характеристик кумулусной среды (реология, проницаемость, смачиваемость сульфидом разных фаз и т.д.), в которой происходит пространственное разделение Mss-рестита и жидких Iss-фракций.

**ВЕСЭМПГ - 012**

**ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПСО МЕТЕОРИТА ЧИНГЕ ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ ОТРАЖЕНИИ СВЕТА**

**Бадеха К. А. (ГЕОХИ РАН), Уймин А.А. (Уральский Технический Институт Связи и Информатики)**

[ksenia\\_uimina@mail.ru](mailto:ksenia_uimina@mail.ru), тел.: 8(985)3344612

В работе исследовались поверхностные свойства ПСО метеорита Чинге (Fe-18 вес.% Ni) с разной глубиной рельефа травления – 10, 85, 280, 500 нм. Измерения проводились на однолучевой спектральной установке в диапазоне 180-1080 нм. В качестве источника излучения применялась галогеновая лампа с мощностью 12-35 В, регистрация спектра проводилась с помощью миниспектрометра FSD-8, соединенного с микроскопом специальным одномодовым оптоволоконным кабелем. При фиксировании спектров отражения было установлено, что ПСО отличаются в крайних областях видимого света. Фронтальное отражение показывает, что критической является длина волны 350 нм, в районе которой происходит изменение знака графика вычитания спектров отражения ПСО. Таким образом 350 нм-структуры обособлены относительно других, что соответствует ПСО с упорядоченным строением и выделенным направлением роста кристаллов ОЦК-фазы.

**ВЕСЭМПГ - 013**

**ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ КВАРЦЕПОДОБНОГО ОРТОФОСФАТА ГАЛЛИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ ИСПАРИТЕЛЬНО-РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

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

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

*Работа поддержана грантом РФФИ № 17-05-00976*

Используя разработанный ранее гидротермальный испарительно-рециркуляционный метод выращивания кристаллов, впервые осуществлено эпитаксиальное выращивание однородных монокристаллов кварцеподобного ортофосфата галлия ( $\alpha$ -GaPO<sub>4</sub>) весом до 30 г на кварцевые подложки различной кристаллографической ориентации. Рост кристаллов проводили в водных растворах смесей соляной, ортофосфорной (или серной) кислот при температурах 150–260 °С и давлениях насыщенного пара (4–5 МПа). Скорости роста кристаллов достигают в определенных условиях 1.0 мм/сутки. Несмотря на относительно невысокие температуры и давления, кристаллы не содержат молекулярную воду, а гидроксильная группа ОН, хотя и присутствует в кристаллах, но в весьма ограниченных количествах.

**КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ ЭНТАЛЬПИИ  
ОБРАЗОВАНИЯ  $\text{Cu}_2\text{FeSnSe}_4$  и  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  (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.*

Синтетические минералы группы станнина (МГС) являются перспективными функциональными материалами (прямозонные полупроводники) и широко используются в фотовольтаике для создания пленочных солнечных батарей. Они характеризуются высоким коэффициентом поглощения излучения в видимом диапазоне ( $> 10^4 \text{ см}^{-1}$ ), p-типом проводимости, а также предельно достижимой эффективностью фотоэлектрического преобразования 32.2%. Обычно, тонкопленочные материалы содержат дорогие компоненты индий, галлий, теллур и токсичный кадмий.  $\text{Cu}_2\text{FeSnSe}_4$  и  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  состоят из широко распространенных и менее токсичных компонентов, что делает их производство менее дорогим и позволяет решить вопрос с утилизацией отработанных солнечных элементов на их основе.

Стоит отметить, что, несмотря на большой интерес с данными соединениями, в литературе отсутствуют какие-либо экспериментальные термодинамические данные для них. Существуют несколько работ по оценке стандартных энтальпий образования  $\text{Cu}_2\text{FeSnSe}_4$  и  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  расчетом из первых принципов (ab-initio).

В данной работе экспериментально были получены предварительные данные по стандартной энтальпии образования  $\text{Cu}_2\text{FeSnSe}_4$  и  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  на автоматизированном вакуумно-блочном калориметре, разработанного в ИЭМ РАН. Для каждого соединения проведено по 2 измерения. В результате мы получили:

$$\Delta H_{298.15}^0(\text{Cu}_2\text{FeSnSe}_4) = -(251.76 \pm 3.47) \text{ кДж} \times \text{моль}^{-1};$$

$$\Delta H_{298.15}^0(\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4) = -(391.41 \pm 2.56) \text{ кДж} \times \text{моль}^{-1}.$$



О ПРИМЕНЕНИИ МОДЕЛИ АНДЕРСОНА-ШУЛЬЦА-ФЛОРИ ПРИ ГЕОСИНТЕЗЕ

**Баренбаум А.А., Климов Д.С. (ИПНГ РАН)**

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

Геосинтезом мы называем поликонденсационный синтез УВ нефти и газа, происходящий в естественных условиях в водонасыщенной минеральной матрице пород (Открытие №326 от 21.04.1982). Изучение этого процесса показывает, что распределения *n*-алканов в небиодegradированных нефтях идентичны УВ, синтезированным по реакции Фишера-Тропша (ФТ-синтез). Для описания продуктов ФТ-синтеза химики используют классическую модель Андерсона-Шульца-Флори (АШФ-модель), отвечающую формуле:  $\lg(g_n/n) = n \lg \alpha + \lg(\ln^2 \alpha)$ , где  $g_n$  – массовая доля УВ с числом *n* атомов углерода в молекуле,  $\alpha$  – параметр молекулярно-массового распределения УВ ( $0 < \alpha < 1$ ). В настоящее время данная модель апробирована для УВ ФТ-синтеза при значениях параметра  $\alpha > 0.5$ . Нами показано, что эта модель вполне применима к нефтям и газоконденсатам ( $0.6 < \alpha < 0.8$ ), а также к газообразным УВ (метан и его гомологи) в наших экспериментах ( $0.18 < \alpha < 0.28$ ).

**ВЕСЭМПГ - 016**

**КУМУЛЯТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ КРАТЕРООБРАЗОВАНИЯ**

**Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН), Шпекин М.И. (КФУ, Казань)**

[azary@mail.ru](mailto:azary@mail.ru) , тел: 8(499) 135-54-67 [MichaelS1@yandex.ru](mailto:MichaelS1@yandex.ru), тел: 8 (843) 233-73-47

Известно, что Луна, Марс и Меркурий покрыты многочисленными импактными кратерами, многие из которых имеют размер нескольких сотен и даже тысячу километров. Физический механизм создания столь крупных кратеров в результате падения астероидов не вполне понятен. Нами предложен кумулятивный механизм образования таких кратеров падениями галактических комет в периоды нахождения Солнечной системы в струйных потоках и спиральных рукавах Галактики. Поскольку плотность падений галактических комет на Луну, Марс и Меркурий в эти периоды высока, существует большая вероятность наложения кратерных воронок от падений нескольких комет. Такие кратеры названы нами кумулятивными. Они характеризуются сложной морфологией и очень крупными размерами. Данные по Луне позволяют предположить, что в образовании кумулятивных кратеров в среднем участвует  $\approx 10-13$  комет разного диаметра. Применительно к Луне обсуждаются особенности строения кометных кумулятивных кратеров, а также оценена энергия кратерообразующего процесса.

**ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ РАССЛОЕННЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И  
МОДЕЛИРОВАНИЕ РУДООБРАЗУЮЩИХ ТРЕНДОВ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ**

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

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

Достаточно хорошо известно, что изучение процессов эволюции в дифференцированных магматических комплексах решает некоторые проблемы: строения и состава земной коры и ее соотношения с верхней мантией (Маракушев, Безмен, 1983). Многие полезные ископаемые связаны с массивами магматического происхождения, в частности сульфидные медно-никелевые руды, хромитовые и титано-магнетитовые месторождения, месторождения элементов платиновой группы (ЭПГ) и др., поэтому многие аспекты петрологии, в частности петрохимического анализа строения и дифференциации массивов, приобретают кроме петрологического, также экономическое значение. Несмотря на большие успехи в области изучения магматических формаций конкретных регионов: Балтийского кристаллического щита, Воронежского кристаллического массива, Забайкалья и Сибири, Южной Африки и других районов мира, многие геолого-петрологические и геохимические особенности эволюции магматических массивов изучены еще недостаточно полно, либо выполнены на низком физико-химическом уровне. В настоящей статье разработана петрохимическая систематизация интрузивных магматических комплексов, которая легла в основу петролого-металлогенической классификации дифференцированных интрузивов с выделением массивов, перспективных на содержание рудной минерализации.

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ КОРУНДА С ВКЛЮЧЕНИЯМИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ФАЗ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ  $Al_2O_3-Ti_2O_3-ZrO_2$

**Беккер Т.Б., Литасов К.Д., Шацкий А.Ф., Криницын П.Г. (ИГМ СО РАН)**

[bekker@igm.nsc.ru](mailto:bekker@igm.nsc.ru) тел.: 8 (383) 333 26 00

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

В хромитовых рудах офиолитового комплекса Луобуса (Тибет, Китай), пирокластических породах и связанных с ними аллювиальных отложениях горы Кармель (Израиль) обнаружены кристаллы корунда, содержащие включения  $TiN_x$ ,  $TiC_x$ ,  $SiC$ ,  $Fe_3Si$  и других фаз. Во включениях в корунде впервые в земных условиях описан минерал *тистарит*  $Ti_2O_3$ , обнаруженный ранее в метеорите Альенде (Мексика) (Ma et al., 2009) и новая фаза *кармелтазит*  $ZrAl_2Ti_4O_{11}$  (*Pnma*,  $a = 14.0951(9)$ ,  $b = 5.8123(4)$ ,  $c = 10.0848(7)$  Å, Griffin et al., 2018). Также во включениях присутствуют рутил  $TiO_2$ , бадделиит  $ZrO_2$ , смешанные оксиды титана.

Проведенные комплексные исследования микровключений в синтетическом электрокорунде выявили тесное сходство их морфологии и состава с микровключениями в корундах, обнаруженных в офиолитах Луобуса и породах г. Кармель (Litasov et al., 2019). Во включениях в электрокорунде, наряду с другими фазами, также присутствуют оксиды титана, циркония, тистарит и кармелтазит. Отметим, что последний обнаружен только в электрокорундах и в корундах Луобуса и г. Кармель. Содержание  $ZrO_2$  в кармелтазите электрокорундов варьирует от 15.5 до 29.9 вес. %, что соответствует 0.66-1.30 атомам на формульную единицу и предполагает более сложную стехиометрию.

Нами проведены исследования фазообразования в системе  $Al_2O_3-Ti_2O_3-ZrO_2$  с целью изучения условий образования и свойств кармелтазита и тистарита. Данные по фазовым равновесиям в системе  $Al_2O_3-Ti_2O_3-ZrO_2$  в литературе отсутствуют, что во многом определяется сложностью экспериментальных исследований данной системы. Температура эвтектики системы  $Al_2O_3-Ti_2O_3$  по разным источникам изменяется от 1650 до 1720 °C при 50-65 мол. %  $Ti_2O_3$  (Jung et al., 2009). Координаты эвтектики системы  $Al_2O_3-ZrO_2$  соответствуют 1863 °C и 60 мол.%.  $Al_2O_3$  (Platovskaia et al., 2017). Данные по системе  $Ti_2O_3-ZrO_2$  в доступной литературе найти не удалось. В качестве исходных компонентов в наших экспериментах были использованы оксиды  $Al_2O_3$ ,  $Ti_2O_3$  и  $ZrO_2$ . Эксперименты в запаянных платиновых капсулах при температуре 1600°C в воздушной атмосфере показали, что происходит окисление оксида титана и переход к системе  $Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2$ . В кварцевых ампулах в условиях вакуума при температуре 1300 °C впервые синтезирована фаза кармелтазит, а также имеющие розовую окраску кристаллы тистарита. Изучены спектры комбинационного рассеяния. Получены кристаллы кармелтазита, пригодные для уточнения структуры.

## **ВЕСЭМПГ - 019**

**ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ И ПЛАВЛЕНИЕ Na- И K-КАРБОНАТИТОВ ПРИ 3.0 И 6.5 ГПа**

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

[bekhtenova@igm.nsc.ru](mailto:bekhtenova@igm.nsc.ru) тел.: 373-05-26 (доб.742)

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

Исследованы фазовые взаимоотношения в системе Na- и K-карбонатит при 3.0 и 6.5 ГПа. В качестве исходных выбраны составы карбонатитовых расплавов, полученные в экспериментально в системах перидотит-CO<sub>2</sub> и эклогит-CO<sub>2</sub> при мантийных P-T параметрах. В ходе исследования были проанализированы образцы, синтезированные ранее (Litasov et al., 2013). Для анализа химического состава фаз и их идентификации использовали EDS детектор (X-Max-80 Silicon Drift Detector), а также Рамановский спектрометр (Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800), установленные в ИГМ СО РАН. Полученные результаты хорошо согласуются с тройными диаграммами карбонатных систем при 3 и 6 ГПа, изученными нами ранее. Сопоставление с простыми системами, а также применение хорошо отработанной методики пробоподготовки и анализа образцов помогло выявить ряд несоответствий с оригинальной работой, которые касаются стехиометрии щелочесодержащих карбонатов и состава расплава, сосуществующего с минеральными фазами.

## ВЕСЭМПГ - 020

### СОВРЕМЕННАЯ СКОРОСТЬ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ ОСТРОВА МАТУА

**Борисов А.П. (ГЕОХИ), Иванов А.Н. (МГУ), Линник В.Г., Соловьева Г.Ю. (ГЕОХИ)**  
[alexpb@mail.ru](mailto:alexpb@mail.ru), тел. 8(916)5885580

В 2017г. продолжались экспедиционные работы по комплексному изучению острова Матуа (средняя часть Курильской гряды). В ходе экспедиции были отобраны колонки грунта на пяти различных профилях постройки древнего вулкана и морских террас. После предварительной пробоподготовки – разрезание проб колонок на слои 2-3 см, высушивание их до воздушно-сухого состояния и выдержки в течение 30 дней для накопления Rn-222 – проводился неинвазивный радиометрический анализ на низкофоновом широкополостном гамма-спектрометре из особо чистого германия BEGe3825 фирмы Canberra.

На основании распределения радиоактивных элементов (радионуклидов Cs-137 и Pb-210 как «избыточного», так и «поддержанного») по глубине колонок в различных профилях отобранных проб рассчитаны современные скорости осадконакопления верхнего слоя. Вертикальное изменение активности Cs-137 имеет один, в ряде случаев два максимума, отвечающих техногенным катастрофам (авария на ЧАЭС в 1986г., авария АЭС «Фукусима» в 2011г.). Распределение Pb-210 «избыточного» аппроксимируется с линией тренда «экспоненциального характера. Это дает возможность определить скорость осадконакопления по Pb-210(избыт). Полученные результаты хорошо согласуются и лежат в пределах  $(0,09 - 0,20) \pm 0,03$  см/год.

## ВЕСЭМПГ - 021

### ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ В УСЛОВИЯХ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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

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

С целью установления полей стабильности минералов меди изучена система  $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  в условиях, близких к условиям зоны окисления медных сульфидных месторождений. Теоретические расчеты минеральных равновесий в указанной системе, проведенные с использованием программы «HCh», хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Они показывают закономерное образование тенорита, малахита и азурита в заданных условиях, при этом малахит устойчив относительно азурита. Для образования карбоната меди в открытой системе необходимо высокое парциальное давление углекислого газа ( $P_{\text{CO}_2} > 5$  ат), что в природных условиях не наблюдается, и это объясняет отсутствие природного  $\text{CuCO}_3$  как минеральной фазы. С возрастанием температуры от 25 до 150 °С суммарная концентрация меди в карбонатно-бикарбонатных растворах, находящихся в равновесии с указанными медными минералами при постоянном парциальном давлении  $\text{CO}_2$ , уменьшается. Таким образом, на более глубоких горизонтах зоны окисления кристаллизация малахита-азурита происходит из более бедных по содержанию меди растворов. Поля стабильности тенорита, малахита и азурита (в условиях открытой системы) смещаются в область более высоких значений содержания суммарного углекислого газа в растворе. В закрытой системе в условиях постоянной концентрации меди в растворе повышение температуры приводит к замещению малахита теноритом, что подтверждено экспериментально.

## ВЕСЭМПГ - 022

### ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО РАСТВОРА НА ФОРМУ И СТРОЕНИЕ АГРЕГАТОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АНАЛОГА МАЛАХИТА

**Бубликова Т.М., Балицкий В.С., Тимохина И.В., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**  
[tmb@iem.ac.ru](mailto:tmb@iem.ac.ru) тел.: 8(496) 522 58 47

Малахит – основной карбонат меди  $[\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2]$ , синтезировали в открытой проточной системе по методу, разработанному во ВНИИСИМС. В качестве основного использовали комплексный раствор гидроокиси аммония и сульфата меди. Концентрацию раствора и термобарические параметры процесса изменяли с периодичностью 7 – 10 дней. Рост малахита происходил на стенках кристаллизатора, вертикально расположенных затравках и непосредственно на нагревателях. Выращенные образцы имеют мелкоузорчатую текстуру. Химический состав и особенности внутреннего строения синтетического малахита изучали в сравнении с природным малахитом из месторождений ДР Конго. Установлены различия в форме и структуре агрегатов, слагающих малахиты различного происхождения, а также химическом составе и составе примесей.



**РАСТВОРИМОСТЬ СУЛЬФИДНОЙ И СУЛЬФАТНОЙ СЕРЫ В КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ ПРИ 5-12 ГПА.**

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

**v.bulatov@bk.ru, тел.8(495) 938 07 80.**

Изучена растворимость сульфидной и сульфатной серы в силикатно-сульфидных системах при мантийных P-T параметрах. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено следующее.

(1) Растворимость сульфидной серы в Ca-Mg-Fe-кремне-карбонатном расплаве, сосуществующем с сульфидным расплавом, оливином, ортопироксеном и графитом, заключена в пределах 0.02–0.10 вес.%. Растворимость серы контролируется, в основном, содержанием FeO в расплаве и менее чувствительна к другим параметрам состава, а также температуре и давлению.

(2) Растворимость S в окисленных кремне-карбонатных расплавах в присутствии Re-ReO<sub>2</sub> буфера составляет 2–3 вес% (в виде S<sup>+6</sup>).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ХРОМИТ-ИЛЬМЕНИТ- $K_2CO_3$ -ЩАВЕЛЕВАЯ КИСЛОТА ПРИ 3,5 И 5 ГПА.

**Бутвина В.Г. (ИЭМ РАН), Воробей С.С. (геол. ф-т МГУ), Сафонов О.Г., Варламов Д.А. (ИЭМ РАН)**

[butvina@iem.ac.ru](mailto:butvina@iem.ac.ru); тел.: (496) 522 58 51

*Работа выполнена при поддержке: НИР АААА-А18-118020590148-3*

С целью дальнейшего изучения влияния активности К на образование К-Сг титанатов и К силикатных фаз при давлениях 3,5 и 5 ГПа проведены эксперименты на установках НЛ-13Т и НЛ-40 по взаимодействию хромит-ильменитовой системы с К водно-карбонатным флюидом. В качестве стартовых веществ для экспериментов использовались природный хромит и природный ильменит, которые смешивались в соотношениях 1:1 или 2:1 по массе. Хромит состава  $(Mg_{0.49-0.54}Fe_{0.50-0.54}Mn_{0.01-0.02}Zn_{0.01-0.02})(Al_{0.17-0.20}Cr_{1.55-1.61}Fe_{0.10-0.22}Ti_{0.03-0.07})O_4$  был отобран из ксенолита гранатового лерцолита кимберлитовой трубки Пионерская, Якутия. Ильменит состава  $Fe_{0.98}Mg_{0.01}Mn_{0.06}Ti_{0.93}Al_{0.01}Nb_{0.01}O_3$ , представляет ксенокристалл из кимберлита трубки Удачная, Якутия. В качестве флюидной составляющей использовалась смесь  $K_2CO_3$  и щавелевой кислоты в разных соотношениях (9:1; 7:3; 5:5; 3:7; 1:9) по массе. Смеси хромит + ильменит смешивались в соотношении 9:1 по массе. Предыдущие результаты показали возможность кристаллизации хромистого прайдерита в качестве продукта реакции высокохромистой шпинели и рутила с калиевым водно-карбонатным флюидом (расплавом) в условиях верхней мантии. В частности, полученные экспериментальные данные позволяют интерпретировать взаимосвязь К-Сг-прайдерита с карбонатно-силикатными включениями в хромитах гранатовых перидотитов Богемского массива. В данной работе исследована зависимость интенсивности кристаллизации и появления К-Сг титанатов от количества  $K_2CO_3$  в системе. Основываясь на полученных экспериментальных данных, выведены реакции мантийного метасоматоза, описывающие процесс образования К-Сг титанатов. При экспериментальном изучении реакции хромита и ильменита с калиевым водно-карбонатным флюидом (расплавом) получены пары фаз титанатов (прайдерит, имэнгит и имэнгит, матиасит) – минералов-индикаторов мантийного метасоматоза, что напрямую подтверждает возможность образования имэнгита, матиасита и К-Сг-прайдерита, а также других титанатов, в результате мантийного метасоматоза верхнемантийных перидотитов в условиях наиболее высоких активностей калия .

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУБСОЛИДУСНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ  
УЛЬТРАМАФИЧЕСКИХ ЛАМПРОФИРОВ ИРКЕНЕЕВА-ЧАДОБЕЦКОГО ПРОГИБА,  
ЮГО-ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, ПРИ ВЫСОКИХ P-T ПАРАМЕТРАХ.**

**Бутвина В.Г. (ИЭМ), Смирнова М.Д. (геол. ф-т МГУ), Сафонов О.Г., Ван К.В. (ИЭМ)**

[butvina@iem.ac.ru](mailto:butvina@iem.ac.ru); тел.: (496) 522 58 51

*Работа выполнена при поддержке: НИР АААА-А18-118020590148-3*

В данной работе представлены результаты экспериментального плавления природных образцов девонских ультрамафических лампрофиров, обнаруженных на Ильбокическом поднятии, Иркенеева-Чадобецкого прогиба, юго-западная окраина Сибирского кратона. Изучаемые породы характеризуют многообразие и сложность девонского щелочного магматизма региона, они проявляются в виде серии маломощных (5-100 см) даек, которые были обнаружены в керне скважины на газоконденсатном месторождении Ильбокическое. Описываемая экспериментальная работа позволит выявить минеральные парагенезисы характерные для разных P-T параметров и, в совокупности с петрологическими изысканиями, предположить механизм происхождения айликитов.

Эксперименты проводились на установке типа «наковальня с лункой» НЛ-13Т в ИЭМ РАН при давлениях 4 и 5 ГПа и температурах 1100 - 1500<sup>0</sup>С. В качестве стартового состава для экспериментов использовался порошок образца Ильб28.

Результаты экспериментов показали, что при давлении 5 ГПа получается парагенезис, который отличается от природной ассоциации минералов: в экспериментах наблюдается появление клиногумита, отсутствует оливин в продуктах опытов, проведенных при температурах ниже 1500<sup>0</sup>С. Кроме этого, в экспериментальных образцах содержится большее количество фаз клинопироксена и граната, по сравнению с природными образцами. Однако при 4 ГПа наблюдается минеральная ассоциация схожая с природной: слюдяно-оливино-пироксеновая порода с карбонатными минералами в основной массе. Во всех экспериментах парагенезис и состав минералов идентичен, отличие только в их соотношении.

Итак, состав парагенетических минералов, полученных при плавлении природного айликита при 4 ГПа в большей степени соответствует парагенезису природных образцов, что может свидетельствовать о P-T параметрах образования природных сибирских айликитов при идентичных термодинамических условиях.

**ВЕСЭМПГ - 026**

**КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИДРОПИРОЛИЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

**Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН)**  
[andrewbychkov@rambler.ru](mailto:andrewbychkov@rambler.ru) тел.: 8 (905) 7451162  
*Грант РФФИ 18-05-00818*

Проведено экспериментальное исследование гидропиролиза пород с высоким содержанием органического вещества. Опыты продолжительностью от нескольких часов до 60 суток проводились в автоклавах при 150-450 °С с использованием образцов пород главных сланцевых формаций России: баженовской свиты, доманиковой и майкопской серий. Результаты показали, что после эксперимента образуются жидкие и газообразные углеводороды. Анализ выхода продуктов от времени при разных температурах позволил определить скорости образования углеводородов и преобразования органического вещества пород. Определена энергия активации реакции гидропиролиза, которая составила для образования жидких углеводородов 11 ккал/моль, что существенно ниже, чем значение, которое обычно используется при бассейновом моделировании и базируется на величине, полученной при сухом пиролизе керогена. При гидропиролизе аналогичную величину энергии активации имеет реакция вторичного крекинга углеводородов с образованием газообразных продуктов (49 ккал/моль). Результаты показали, что скорость реакции зависит от степени преобразованности исходного керогена. Результаты исследования позволяют разработать методы воздействия на пласт для получения синтетической нефти.

**ВЕСЭМПГ - 027**

**ВЫСОКОТОЧНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАВНОВЕСИЯ МИНЕРАЛЫ-СИЛИКАТНЫЙ РАСПЛАВ, НЕ НАКАПЛИВАЮЩИЙ ПОГРЕШНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ СЧЁТА**

**Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ)**  
**[dmibychkov@gmail.com](mailto:dmibychkov@gmail.com); тел.: 8 (916) 965 67 19**

Разработан новый алгоритм поиска равновесия минерал – расплав. С одной стороны, он ориентирован на использование разработанных нами ранее термобарометров для породообразующих и рудных минералов, с другой стороны, независим от конкретного вида термобарометра. Другим его достоинством является наличие явно выраженной целевой функции, что позволяет рассчитывать равновесие, не опираясь на предыдущее состояние системы и, соответственно, без накопления ошибок.

В качестве целевой функции выбрана сумма квадратов отклонений текущих концентраций минералов от концентраций минералов, рассчитанных с помощью термобарометров. Анализ формы поверхности целевой функции для упрощённой системы показал, что она носит ярко выраженный овражный характер. Попытка применить известные из литературы методы для поиска оптимума целевой функции в полной системе провалились, видимо из-за появления локальных минимумов. Это заставило разработать собственный алгоритм поиска оптимума целевой функции.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АРАГОНИТА МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ:  
ОБРАЗОВАНИЕ НОВОЙ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ ФАЗЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

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

p.gavryushkin@igm.nsc.ru тел.: 8 (961) 871 17 84

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

На основе молекулярно-динамических расчётов в рамках теории функционала плотности установлено, что при температуре 700-800 К арагонит переходит в новую фазу с гексагональной симметрией,  $R\bar{6}_322$ . Близость температуры перехода арагонита в гексагональный арагонит к температуре перехода арагонита в кальцит позволяет предположить, что гексагональный арагонит, может проявляться как промежуточное состояние системы, реализуемое на пути превращения арагонита в кальцит. Гексагональный арагонит энергетически более выгоден, чем арагонит и менее выгоден, чем кальцит во всем диапазоне температур вплоть до 0 К. Плотность гексагонального арагонита выше плотности кальцита и ниже плотности арагонита. Это объясняет отсутствие поля устойчивости гексагонального арагонита как при высоких температурах, так и при высоких давлениях.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ ПАРАМЕТРЫ ГРАНАТОВ РЯДА  
КНОРРИНГИТ-ПИРОПА

**Гартвич Ю.Г., Галкин В.М. (ИГМ СО РАН)**  
[julia@igm.nsc.ru](mailto:julia@igm.nsc.ru)

В интервале температур 100-650 К было изучено термическое поведение гранатов ряда кноррингит-пироп. Получены экстраполяционные значения для молярного объема и термического расширения при температурах 50-2000 К, на их основе рассчитаны значения теплоемкости.

Для исследования были взяты синтезированные при давлении 25-85 кбар и температурах 1675-2075 К гранаты составов: кноррингит100, кноррингит75-пироп25, кноррингит48-пироп52, кноррингит27-пироп73, пироп100. Для расчета были взяты данные Skinner В.Ж. (15 точек), Ringwood (5 точек), и Chopelas (5 точек). Расчет совместно с литературными данными привел к экстраполяционным значениям для молярного объема и термического расширения в интервале 50-2000 К. Данные для кноррингит27-пироп73: ( $a_{300}=22.68 \cdot 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)}$ ,  $V_{300}=114,5212 \text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $Ср_{300}=80.5 \text{ кал/моль К}$ ), кноррингит48-пироп52: ( $a_{300}=2.0 \cdot 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)}$ ,  $V_{300}=115,43 \text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $Ср_{300}=74.6 \text{ кал/моль К}$ ), кноррингит75-пироп25: ( $a_{300}=21.79 \cdot 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)}$ ,  $V_{300}=116,52 \text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $Ср_{300}=78.34 \text{ кал/моль К}$ ); кноррингит100: ( $a_{300}=22.16 \cdot 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)}$ ,  $V_{300}=117,45 \text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $Ср_{300}=78.35 \text{ кал/моль К}$ )

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ ПИРОПА

Галкин В.М., Гартвич Ю.Г. (ИГМ СО РАН)

[julia@igm.nsc.ru](mailto:julia@igm.nsc.ru)

В интервале температур 103-650 К было изучено термическое поведение пиропы. Получены экстраполяционные значения для молярного объема и термического расширения при температурах 50-1500 К, на их основе рассчитаны основные термодинамические параметры. Для исследования был взят пироп, полученный методом прямого температурного перепада, при  $T$  на дне тигля 1000 С и градиенте 8 градусов см<sup>-1</sup> в течение 5 суток. Рентгеновскую съемку параметров производили в диапазоне углов дифракции 17-80 °С. Рассчитаны параметры элементарной ячейки и молярный объем пиропы при различных температурах. Расчет совместно с литературными данными привел к экстраполяционным значениям для молярного объема и термического расширения в интервале 50-1500 К, ( $a_{300}=23.0 \cdot 10^{-6}$  (К<sup>-1</sup>),  $V_{300}=113,1586$ ). Между экспериментальными и экстраполяционными значениями для температур 100-1500 К есть хорошее согласование. По совместным данным рассчитаны термодинамические функции  $C_p$ ,  $C_v$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta G$  для интервала 50-1500 К (при 300 К:  $C_{p300}=350.3$ ,  $C_{v300}= 347.1$   $\Delta H_{300} =4.644$  J/kmole,  $\Delta G_{300}=-2472$ ).



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФЛОГОПИТА С КАРБОНАТОМ ПРИ  $P = 4$  ГПа,  $T = 1200-1300^{\circ}\text{C}$ :  
ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ ФЛОГОПИТА.

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

*При поддержке гранта РФФИ 17-05-00930а*

Изучены фазовые соотношения в системе флогопит-карбонат при  $P = 4$  ГПа,  $T = 1200$  и  $1300^{\circ}\text{C}$ . Эксперименты проводились в Pt ампулах на аппарате типа НЛ-40 в ИЭМ РАН с использованием закалочной методики. Исходные вещества: флогопит, кальцитовый карбонатит из карбонатит-содержащего интрузивного комплекса ультраосновных, основных и щелочных пород Ковдора с добавлением 10 мас. % карбонатов Na и K. Весовые соотношения флогопит-карбонат 1:1. Микрофотографии и состав закаленных образцов получены с помощью микрозонда. Закаленные образцы имели зональное строение. Центральная часть характеризовалась массивной текстурой, образованной минеральной ассоциацией *Phl-Grt-Cpx-MgSp-Ap*. Таблитчатые выделения флогопита содержали включения клинопироксена. Наружная часть экспериментального образца состояла из дезинтегрированного агрегата, состоящего из различной степени ориентированных удлинённых кристаллов *Phl*, обрастающих Са-карбонатом. Особенности текстуры и фазового состав свидетельствуют о том, что в условиях эксперимента происходило плавление флогопит-карбонатной ассоциации с образованием силикатно-карбонатного расплава, содержащего компоненты флогопита, а также рестита, фазовый состав которого определялся реакциями флогопита с карбонатом и расплавом.  $T$  солидуса ассоциации *Phl-Cb* меньше  $1200^{\circ}\text{C}$ . Стабильность флогопита и карбоната ограничена близсолидусными реакциями типа  $Phl + Cb + \text{расплав} = Grt$ ,  $Phl + Cb + \text{расплав} = Cpx$ ,  $Phl + Cb + \text{расплав} = MgSp$ .

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ФЛОГОПИТОМ И КАРБОНАТОМ ПРИ  
 $P=2.8$  ГПа,  $T=1250^{\circ}\text{C}$ .

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

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

*При поддержке гранта РФФИ 17-05-00930а*

Изучено распределение элементов между флогопитом и силикатно-карбонатным расплавом при  $P = 2.8$  ГПа,  $T = 1250^{\circ}\text{C}$ . Эксперименты проводились в Pt ампулах на аппарате типа НЛ-40 в ИЭМ РАН с использованием закалочной методики. Исходные вещества: флогопит и кальцитовый карбонатит из карбонатит-содержащего интрузивного комплекса ультраосновных, основных и щелочных пород Ковдора с добавлением 10 мас. % дигидрата щавелевой кислоты  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Весовые соотношения *Phl-Cb* 1:1. Закаленные образцы с массивной текстурой состояли из сростков удлинённых кристаллов *Phl* и карбонатной фазы существенно Са состава (42-44 мас.% СаО) с примесью  $\text{Na}_2\text{O}$  (8-9 мас.%),  $\text{K}_2\text{O}$  (4-6 мас.%),  $\text{SiO}_2$  (6-7 мас.%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (4-5 мас.%). Не обнаружено включений *Phl* в *Cb* и *Cb* во *Phl*. Концентрации микроэлементов в *Phl* и *Lcb* определялись методом ICP MS в ИПТМ РАН г. Черноголовка. Предварительно *Phl* и *Cb* разделялись химическими методами. Особенности текстуры и фазового состава свидетельствуют о том, что в присутствии  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ -содержащего флюида происходило плавление флогопит-карбонатной ассоциации с образованием щелочного *Lcb* с *Phl* в рестите. Коэффициенты разделения микроэлементов между *Phl* и *Lcb* ( $D^{\text{Phl/LCb}}$ ) варьируют от 0.001 до 100 и более. Высоким сродством к *Phl*,  $D^{\text{Phl/LCb}}$  порядка 100 характеризуются высокочarged элементы Nb, Hf; меньшим сродством ~ 5-8 – Ta, Zr. РЗЭ, P, Na, Ca относятся к числу наиболее несовместимых с *Phl* элементов,  $D^{\text{Phl/LCb}}$  РЗЭ варьируют в пределах 0.01-0.04. Исключения составляют тяжелые РЗЭ, Yb, Lu их  $D^{\text{Phl/LCb}} \sim 0.2-0.4$ . Если отношение  $Kd_{\text{La/Sm}}$  близко к 1, то  $Kd_{\text{La/Yb}}$  возрастает до 10. Существенные вариации коэффициентов разделения элементов между *Phl* и *Lcb* свидетельствуют о том, что в метасоматизированной верхней мантии при образовании *Phl* и *Lcb* может происходить фракционирование микроэлементов. Отношения элементов с контрастными значениями могут служить индикаторами фракционирования *Phl* в карбонатных расплавах.

**МУЛЬТИВЕЙВЛЕТНАЯ МИКРОСПЕКТРОМЕТРИЯ И МЕЗОСПЕКТРОМЕТРИЯ НА ЧИПЕ / МНОГОУГЛОВОЙ БЕЗЛИНЗОВОЙ КАРТИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ – ТЕХНИКА АНАЛИЗА ШЛИФОВ, АНШЛИФОВ И ДИСПЕРГИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕКСТУР ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПОЛЯРИСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Градов О.В. (ИФХ РАН)**

Вейвлет-преобразование (свертка вейвлет-функции с сигналом) как спектральная техника является эффективным интегральным преобразованием для обнаружения и распознавания сигналов (особо объектов на изображениях) на физическом уровне. «Если вейвлет в пространстве сужается, то его «средняя» (доминирующая) частота повышается, а спектр вейвлета перемещается в область более высоких частот и расширяется» – гласит принцип, известный из теории вейвлет-преобразования. В связи с этим можно использовать вейвлет-преобразование для идентификации классов минералов, обладающих отличными текстурными характеристиками, используя в качестве дескриптора типов и классов не только частоту, но и ширину или радиометрический показатель уширения спектра на регистрируемой в реальном времени (что важно для многоугловой поляризационной методологии) вейвлетной характеристике текстуры в ходе корреляционно-спектрального анализа. Это реально с использованием программы, использующей в качестве источника данных для анализа микрофото память экрана – уникальным примером подобного математического обеспечения является QAVIS, [Гончарова А.А., Фищенко В.К. «Лаборатория анализа океанологической информации» ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН]. Проведены разработка и тестирование техники «мультивейвлетной идентификации минеральных классов» на LUCAS-CMOS-чипе.

**ДИНАМИЧЕСКАЯ (СТРОБОСКОПИЧЕСКАЯ) СКАНИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ МИНЕРАЛОВ В РЕЖИМЕ БЛУЖДЕНИЯ ЗАРЯДА С БАРЕЛЬЕФНОЙ УМД-ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ И КАРТИРОВАНИЕМ ЗАРЯДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА СОБЕЛЯ-ФЕЛЬДМАНА / ФИЛЬТРА СОБЕЛЯ**

**Александров П.Л., Градов О.В. (ИФХ РАН)**

Описываются возможности исследования электрофизических свойств ряда сегнетоэлектрических и иных электроактивных минералов под электронным пучком с динамической регистрацией ряда нестационарных процессов в двойном электрическом слое на поверхности минерала. Показано на иллюстративном примере (см. видеоприложение), что возможно оценивать свойства образцов при облучении с привязкой к тайм-коду посредством алгоритмов и программных пакетов реакционно-диффузионного назначения. Когда перенос осуществляется ионами как носителями заряда, можно картировать пространственно-временную кинетику процессов переноса и химических процессов в наблюдаемом заряжаемом пучком слое. Профили изображения полей могут быть прокартированы при выводе LVEM-сигнала в TV-режиме на специальном образом адаптированный вектороскоп – монитор формы волны. Разработанная схема (П.Л. Александров) позволяет синхронизировать этот процесс с локальным анализом элементного состава (четырёхкристалльный волнодисперсионный спектрометр с квантометром для отсчёта и мониторинга в реальном времени). Особо качественные данные удаётся получать на волокнистых минералах, срабатывающих в рамках кабельной модели, а также от некоторых пористых текстур, параллельно анализируемых в реальном времени методом мониторинга ИЧХ и ИПХ (энергии в кольцевых зонах и в угловых секторах) регистрограммы с дисплея микроскопа в реальном времени.

**КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ФИНГЕРПРИНТИНГ И ФУТПРИНТИНГ СО СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКИ И МНОГОФАКТОРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ НА ШЛИФАХ И АНШЛИФАХ ДЛЯ ПОЛЯРИСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Градов О.В. (ИФХ РАН)**

Предлагается использовать методы корреляционно-спектрального анализа с использованием ПО “KSAImage” и “QAVIS” для экспресс-идентификации текстур (от более грубого футпринтинга до фингерпринтинга, выявляющего отдельные микроскопические и мезоскопические структурные особенности) минералов на шлифах, аншлифах и слабодиспергированных минеральных образцах. Существенный интерес представляет такое исследование препаратных слайдов для полярископов / поляризационных микроскопов. В качестве дескрипторов идентификации предлагается применять Фурье-спектр с анализом симметрии, интегральную частотную и интегральную пространственную характеристики (ИЧХ и ИПХ), особо – наличие замечательных периодов. Кроме того, для спектра анализируются следующие статистические параметры в реальном времени: среднее, максимумы и минимумы, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, эксцесс. Аппроксимация гистограммы по форме также может являться частичным критерием идентификации. Метод проверен на мезофото-анализе классических полярископических слайдов зарубежного производства (с предварительным получением информации о названии и географическом происхождении образца из лейбла с точной аннотацией препарата): андезиты, пикриты, аплиты, гнейсы, базальты, диориты, граниты, траппы, нефелениты, грейзены etc. Показано качественное отличие геометрии Фурье-спектра, ИЧХ, ИПХ и статистических характеристик / гистограмм различных минералогических классов.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ Ti-СОДЕРЖАЩЕГО ГРАНАТА

Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В., Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ),  
Русаков В.С. (физ. ф-т МГУ), Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ)  
[ygritsenko@rambler.ru](mailto:ygritsenko@rambler.ru) тел.: (495) 939 49 64

Исследован образец граната из ультраосновного щелочного карбонатитового массива Одихинча (Красноярский край, Россия). По данным микрозондового и рентгенографического анализов изученный минерал близок к шорломиту. На термогравиметрических кривых в интервале 200-600°C наблюдалась незначительная потеря массы (~0.3 масс.%), соответствующая процессу удаления конституционной воды (дегидроксилизации). Спектры инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния подтвердили чистоту и мономинеральный состав образца. На ИК-спектре обнаружены в области 3400-3600 см<sup>-1</sup> полосы поглощения, подтверждающие принадлежность изученного образца к гидрогранатам. Для определения заполнения различных кристаллографических позиций в структуре граната катионами железа различной степени окисления было выполнено исследование методом Мёссбауровской спектроскопии. По результатам проведенных экспериментов было получено распределение катионов Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> по трем кристаллографическим позициям: додекаэдрической (X), октаэдрической (Y) и тетраэдрической (Z) в структуре граната. На основании всех проведенных исследований рассчитана формула изученного Ti-содержащего граната: (Ca<sub>2.90</sub>Na<sub>0.04</sub>Fe<sup>2+</sup><sub>0.03</sub>Mn<sub>0.02</sub>Mg<sub>0.01</sub>)(Fe<sup>3+</sup><sub>0.97</sub>Ti<sub>0.71</sub>Mg<sub>0.13</sub>Zr<sub>0.08</sub>Fe<sup>2+</sup><sub>0.05</sub>)[Si<sub>2.33</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.32</sub>Ti<sub>0.24</sub>Al<sub>0.07</sub>O<sub>11.84</sub>(OH)<sub>0.16</sub>].

**РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ И ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ**

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

SHES99@mail.ru, тел. (495) 939 12 73

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-05-00162 и 16-05-00542.*

Целью исследований являлся сравнительный геохимический анализ составов редкоземельных элементов в поверхностных водах и донных осадках водоемов Северной Карелии и Тверской области для установления общих закономерностей распределения РЗЭ в водоемах бореальной климатической зоны Европейской части России. Были выбраны регионы со схожими климатическими и ландшафтными условиями, близким литохимическим составом почвообразующих пород, во всех случаях это породы Фенноскандии, но прошедшие различные геологические и геохимические преобразования. Впервые определены содержания редкоземельных элементов в поверхностных водах и донных осадках водоемов Северной Карелии и Тверской областей с применением современного аналитического метода – масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Исследование поведения РЗЭ в водных экосистемах имеет большое значение в связи с возможностью их использования для индикации геохимических, биогеохимических и экологических процессов. Проведен анализ профилей распределения РЗЭ в водах и донных осадках Иваньковского и Кумского водохранилища. Различия в уровнях накопления РЗЭ в исследуемых объектах связано с различным гидрологическим режимом и окислительно-восстановительными условиями.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ МИГРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МАЛЫХ ВОДОЕМАХ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ БОРЕАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИМИРСКОЙ И ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТЕЙ)**

**Гришанцева Е.С., Алехин Ю.В., Дроздова О.Ю. (геол. ф-т МГУ),**

**Демин В.В. (ф-т почв. МГУ)**

**SHES99@mail.ru, тел. (495) 939 12 73**

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-05-00519 и 16-05-00542.*

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование процессов совместной миграции органического вещества и микроэлементов в водоемах Владимирской и Тверской областей. Выявление региональных и локальных различий в миграции ионных форм, органических комплексов, взвесей в природных водах имеет большое практическое значение для прогнозирования и обоснования количественных моделей эволюции речного стока под влиянием различных природных и антропогенных факторов. Объектами исследования являлись эталонные водоемы с различным уровнем первичной продуктивности: мезотрофное Ивановское водохранилище в Тверской области и эвтрофное малое озеро Ершевик во Владимирской области. Для изучения распределения органического вещества и микроэлементов в природных водах по размерным фракциям применяли метод каскадной фильтрации с последующим анализом содержания большого числа микроэлементов в выделенных фракциях природных вод методом ИСП-МС. Получены данные о молекулярно-массовом распределении органического вещества и связанных с ним микроэлементов в природных водах методом ВЭЖХ. Обработка аналитических данных методом факторного и корреляционного математического анализа позволила выделить несколько групп элементов по степени корреляции их содержания с содержанием РОУ, Fe и Mn.



ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛОСЧАТЫХ СРАСТАНИЙ СРХ-ОРХ И ДИФФУЗИЯ Са, Mg ПРИ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПИРОКСЕНА В АНДЕЗИТОВОМ РАСПЛАВЕ ПРИ  $P_{H_2O}=300$  МПа ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Девятова В.Н. (ИЭМ РАН), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН), Сипавина Л.В. (ИЭМ РАН)  
[simakin@iem.ac.ru](mailto:simakin@iem.ac.ru)

В ходе экспериментов с водонасыщенным расплавом андезита при  $P_{H_2O}=300$  МПа,  $lgf_{O_2}=QFM+1$  и длительности 10, 30, 240 мин были изучены рост и перекристаллизация пироксена. Расплавы перегревались до  $1200$  °С и быстро охлаждались до температуры опытов ( $T=980, 960$ °С), при этом переохлаждение для Срх составляло  $\sim 100$ °С. Объемная доля стекла в опытах менялась от 94-85 об.%, Срх 1-7 об.%.  
В коротких опытах Срх вырос в сростании с Орх, образуя в Срх тонкие лейсты. В длительных опытах клинопироксен очистился, образовав полосчатые сростания с шириной полос Срх 20-30 мкм, Орх 10-20 мкм. Составы пироксенов лежат на линии  $(Di_{80}Hd_{20}-En_{80}Fs_{20})$ .

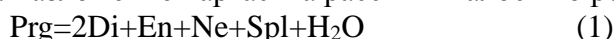
При быстром охлаждении, видимо, образуется протоэнстатит, который со временем превращается в (клино)энстатит, имеющий ограниченную смесимость с Срх. Наблюдаемой полуширине полос, отвечает по порядку величин коэффициент  $D_{Ca-Mg} = (2 \div 7) \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>/сек.

РАСЧЕТ РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ ПАРГАСИТА В АНДЕЗИТОВОМ РАСПЛАВЕ

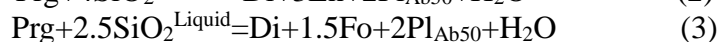
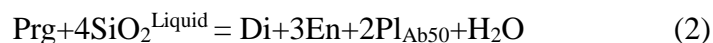
Девятова В.Н. (ИЭМ РАН), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН)

[simakin@iem.ac.ru](mailto:simakin@iem.ac.ru)

В рамках экспериментального изучения кристаллизации амфибола из андезитового расплава был проведен термодинамический расчет разложения паргасита и его взаимодействия с андезитовым расплавом. Разложение паргасита рассчитывалось по реакции:



Учтено плавление нефелина в присутствии воды, выделяющейся при разложении амфибола. Расчеты показали, что при давлении до 300 МПа присутствует свободная флюидная фаза. Равновесие паргасит – расплав – безводные мафические фазы рассчитывалось согласно реакциям:



Активность кремнезема в андезитовом расплаве задавалась по литературным данным. Рассчитанная температура разложения амфибола нацело по реакции (1) при росте давления от 100 до 500 МПа увеличивается от 1150 до 1300<sup>0</sup>С. Равновесие амфибол – расплав – безводные фазы, рассчитанное при тех же давлениях, достигается при меньших температурах 1000-1200<sup>0</sup>С, поэтому оно и определяет равновесный ликвидус паргасита.

**СВИДЕТЕЛЬСТВА МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЛУННЫХ ПОРОДАХ.**

**Демидова С.И., Аносова М.О., Бадеха К.А. (ГЕОХИ РАН)**

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

Среди первичных лунных материковых пород особый интерес вызывают так называемые породы магнезиальной серии (HMS), которые помимо высокой магнезиальности мафических минералов обычно обладают удивительно высокими содержаниями несовместимых элементов. Это обогащение связывают с высоким модальным содержанием фосфатов. Считается, что их появление в таких примитивных породах связано либо с геохимическими особенностями их родительских магм, либо с участием метасоматических процессов. Включения Са-фосфатов и других фаз были обнаружены в обломках магнезиального (Fo<sub>78-84</sub>) оливина (образец 14321 «Apollo-14»), которые являются фрагментами HMS пород. Их структурные особенности позволяют предположить участие метасоматических процессов с привнесением вещества, богатого несовместимыми элементами. Напротив, высокая магнезиальность фрагмента габбро-норитового анортозита в метеорите Dhofar 301, наряду с наблюдаемыми признаками восстановления указывают на возможность безводного метасоматоза с участием СО флюида.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ОБОГАЩЕННЫХ ЖЕЛЕЗОМ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛИКАТОВ В ПЫЛЕВОЙ КОМПОНЕНТЕ КОМЕТ

**Дорофеева В.А., Шилобреева С.Н. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Дорофеева В.А. благодарит Программу Президиума РАН №12 за поддержку данной работы.*

Полученные в последние годы результаты экспериментальных исследований минерального состава вещества кометных ядер показало, что оно представляет собой неравновесную в субмикрометровых масштабах смесь высоко- и низкотемпературных компонентов различного генезиса. Особый интерес при этом представляет силикатная фракция кометной пыли, состоящая из аморфных низкотемпературных Fe-Mg силикатов (пироксена и оливина) вероятнее всего межзвездного генезиса и высокотемпературных кристаллических силикатов с различным содержанием железа. Образование обогащенных магнием кристаллических силикатов вероятнее всего связано с процессами конденсации газовой фазы протопланетного околосолнечного диска и последующего их дрейфа вместе с газом из внутренних областей наружу, вплоть до транснептунового региона. Происхождение кристаллических силикатов с высоким содержанием железа, у которых  $Fe/(Fe+Mg)$  варьируется в пределах от 0.1 до хондритового значения  $\sim 0.5$ , которые также были найдены в минеральной компоненте кометных ядер является, предметом дискуссий. В работе предлагается сценарий образования обогащенных железом кристаллических силикатов при воздействии ионизирующего излучения молодого Солнца на обогащенные магнием силикаты конденсационного генезиса, основанный в том числе на результатах собственных экспериментальных исследований.

**Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН, ИНАСАН)**

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №17-12-01441*

Важнейшей задачей современной космохимии является оценка исходного фазового состава газо-пылевого вещества, из которого около 4.6 млрд. лет была образована наша Солнечная система. Одним из основных источников информации для этого служат экспериментальные данные по составу пылевой и газовой компонент кометных ком, значительный массив которых накоплен к настоящему времени в литературе. Однако анализ этих данных показал, что для адекватного их сопоставления с составом кометных ядер необходимо учитывать ряд факторов, в том числе динамические и структурные характеристики рассматриваемого кометного ядра, его положение на орбите относительно Солнца, положение измерительного прибора относительно ядра в момент проведения измерений и другие. Таким образом, оценка состава кометных ядер на основе состава кометных ком является многопараметрической задачей, для решения которой необходима систематизация и структурирование имеющейся информации. Именно этой цели служит Электронный Банк экспериментальных данных комет, разрабатываемый автором. В работе будут описаны основные принципы его построения, а также приведены конкретные примеры его использования.

**ВЕСЭМПГ – 044**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ФОРМ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИХ МИГРАЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ**

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

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00162 а.*

Органическое вещество (ОВ) в континентальном стоке является наиболее динамичным и крупным геохимическим резервуаром, изменения в котором отражают особенности климатической зональности и процессы изменения климата. Значительная часть металлов в поверхностных водах входит в состав комплексов с органическими соединениями, сохраняющихся в растворе в очень широком диапазоне окислительно-восстановительных условий.

Для изучения ОВ поверхностных вод были выбраны объекты, которые отражают последовательную смену вод, начиная с дренирующих органогенные горизонты почвы (гравитационные почвенные воды) – основной источник органического вещества в поверхностных водах, и заканчивая депонирующим озером. Получено, что в ряду: гравитационные почвенные воды – болото – ручей – депонирующее озеро происходит трансформация органического вещества. Показано, что различия в формах миграции металлов в исследованном ряду природных вод обусловлены изменением распределения по размерным фракциям их соединений и количества их комплексов с органическим веществом различной природы.

**ИЗУЧЕНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ**

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

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00162 а.*

Были проведены эксперименты по исследованию изменений органо-минеральных соединений вод реки Сеньга под действием солнечного излучения. Проведенные эксперименты показали, что в исследованных водах инсоляция оказывает больший вклад в деструкцию органо-минеральных соединений, чем биота, и при этом происходит изменение форм металлов в растворе. Проведенные эксперименты по исследованию влияния облучения (УФ и инсоляции) на органо-минеральные соединения поверхностных вод показали, что одновременно с процессами образования низкомолекулярных органических лигандов происходит формирование коллоидных частиц гидроксида железа, на которых сорбированы и/или окклюдируются в них органические соединения. Деструкция органических соединений в природных водах сопровождается изменением форм нахождения и, следовательно, миграции металлов. Было показано, что снижение содержаний металлов в растворе связано с образованием крупных частиц гидроксида железа, с которыми часть металлов может соосаждаться. Так же было получено, что при облучении проб происходит уменьшение содержаний низкомолекулярных соединений (<1 кДа) некоторых металлов (Fe, Al и Zn), которые, как известно, могут быть более биодоступными.

**ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК СЕНЬГА И МЕЖА**

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

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00162 а.*

Тяжелые металлы – потенциальные токсиканты, который попав в водоем, распределяются между компонентами этой водной экосистемы. Металлы не подвергаются биологическому разложению и могут накапливаться в различных организмах, что приводит к нежелательным побочным эффектам. Биологическая доступность металлов зависит от форм их нахождения в природных водах.

В работе были исследованы формы металлов в водах и донных отложениях рек Сеньга (Владимирская область) и Межа (Тверская область). Установлено, что воды реки Сеньга испытывают небольшую антропогенную нагрузку (отмечено превышение установленных ПДК по Al, Fe, Mn, Cu и Zn), а в водах реки Межа не было выявлено никаких превышений ПДК по металлам. Исследуемые реки характеризуются отсутствием (р. Межа) или низким уровнем загрязнения (р. Сеньга) донных отложений тяжелыми металлами.

Было показано, что миграция рассмотренных металлов в исследованных объектах происходит, в основном, в растворенной форме в виде комплексных соединений с органическими веществами. При этом большая часть металлов в изучаемых водах находится в виде анионных комплексов (в основном, с гуминовыми веществами).



**ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ТИТАНЕ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА СОСТАВ ХОНДРИТОВОГО ВЕЩЕСТВА И СТРОЕНИЕ ВОДНО-ЛЕДЯНОЙ ОБОЛОЧКИ СПУТНИКА.**

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

[dunaeva.an@gmail.com](mailto:dunaeva.an@gmail.com) тел. 8-916-705-6405

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

Тепловой поток Титана (F) является важным параметром при изучении тепловой эволюции спутника и, кроме того, накладывает определенные ограничения на состав и структуру его внутренних областей. В частности, величина теплового потока определяет строение внешней водно-ледяной оболочки Титана, условия существования в нем внутреннего океана и каменно-ледяной мантии, указывает на применимость модели частичной дифференциации каменно-ледяного вещества спутника.

В работе проведена оценка вероятного теплового потока в Титане. Полагалось, что основным источником внутреннего тепла является радиогенный разогрев железосиликатного вещества спутника. Каменная компонента Титана моделировалась веществом L/LL или CI хондритов. Показано, что при L/LL хондритовом составе каменной компоненты и ее содержании ~50 мас.% (отношение H<sub>2</sub>O-лед/порода в спутнике близко к солнечному) величина поверхностного теплового потока составляет  $3.3 \leq F \leq 4.3$  мВт/м<sup>2</sup>, что приводит к образованию в спутнике внешней ледяной коры мощностью не менее 130 км и внутреннего океана глубиной до 170 км. При CI-хондритовом составе каменного вещества тепловой поток, обеспечивающий наличие в Титане внутреннего океана, достигается при отношении H<sub>2</sub>O-лед/порода ~0.6-0.7, что существенно ниже солнечной пропорции.

**ПОЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ ПЕНТЛАНДИТА И НИКЕЛИСТОГО ПИРРОТИНА, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКИМИ И БЛАГОРОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**Евстигнеева П.В., Тагиров Б.Р. (ИГЕМ РАН), Чареев Д.А., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН), Никольский М.С., Абрамова В.Д., Ковальчук Е.В. (ИГЕМ РАН)**

evstpolinav@gmail.com тел.: 8(910) 001 35 67

Пентландит и пирротин (никелистый в том числе), являются типичными минералами в сульфидных медно-никелевых месторождениях и существуют в тесной ассоциации друг с другом. Известно, что природные пентландит и пирротин могут содержать в себе примеси Cu, Co, ЭПГ, Ag, Se, Te и др., однако определение формы нахождения, локальное окружение, а также пределы вхождения компонентов-примесей на природных образцах является трудно, а порой и невыполнимой задачей. Решением этой задачи служит изучение их синтетических аналогов.

В рамках работы, методом газового транспорта, были получены кристаллы пентландита и пирротина как в чистом виде, так и легированные Cu, ЭПГ (Pt, Pd и Os), Au и Se. В качестве транспортного реагента использовали безводный  $AlCl_3$  или смесь  $AlCl_3+KBr$ , температурный режим  $620 \rightarrow 545^\circ C$  ( $T_{хол.} \rightarrow T_{гор.}$ ). Для полученных кристаллов методами РСМА (TESCAN VEGA II ХМУ и JXA-8200 фирмы JEOL) и ЛА-ИСП-МС (масс спектрометр XSeries2) были определены концентрации макро- и микрокомпонентов и показана равномерность их распределения.

**ВЕСЭМПГ – 049**

**ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ БИОМАССЫ *CHLORELLA SP.* ПРИ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

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

[oeimina6@yandex.ru](mailto:oeimina6@yandex.ru) тел.: 8 (985) 728 36 71

Грант РФФИ 18-05-00818

В последнее время много внимания уделяется изучению альтернативных источников энергии. Цель данной работы – выявление закономерностей образования нефти и газа при гидротермальном преобразовании биомассы водорослей. Было проведено 3 кинетические серии по преобразованию водорослей *Chlorella Sp.* при разных температурах: 250, 300 и 350°C. Также была проведена серия экспериментов с добавлением Ni в различных концентрациях. Результаты показали, что при увеличении продолжительности экспериментов количество выхода нефти уменьшается, а газа – увеличивается. Максимальный выход нефти получается при экспериментах при 250°C, средний выход – при 300°C, а минимальный – при 350°C. Максимальный выход газа наблюдается в экспериментах при 300°C, средний – при 250°C, а минимальный – при 350°C. Определены коэффициенты распределения никеля между водной и нефтяной фазой при температуре 250 – 350°C.

**ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЭВДИАЛИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА РУДНИКА КАРНАСУРТ (ЛОВОЗЁРСКИЙ МАССИВ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)**

**Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН, ГЕОХИ РАН), Бычкова Я.В. (геол. ф-т МГУ), Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН), Михайлова А.В. (ГЕОХИ РАН)**  
[svera@mail.ru](mailto:svera@mail.ru) тел.: 8(916)3442595

Изыскания альтернативных сырьевых источников редких металлов и разработка эффективных технологических решений для их переработки являются актуальной задачей. Перспективным источником для производства РЗМ в России являются эвдиалитовые руды Ловозёрского щелочного массива. Для изучения эффективности извлечения Th, U и REE в настоящей работе проведены эксперименты по их выщелачиванию из эвдиалитового концентрата рудника Карнасурт (Ловозёрский массив, Кольский полуостров). В качестве реагентов использовались 4% раствор HCl, а также смеси 4% раствора HCl с 2% растворами оксалата аммония, дифторида аммония и трилона Б. Для проведения опытов по выщелачиванию образцы перетирали до пудры, отбирали навеску массой 100 мг, заливали 20 мл реагента (по 3 опыта с каждым реагентом) и оставляли при комнатной температуре в закрытых пластиковых пробирках на 30 дней. Затем смесь отфильтровывали, отбирали аликвоту 50 мкл, разводили до 1 мл и анализировали методом ICP MS. Смесь растворов HCl и трилона Б намного хуже извлекает REE и U (0-17.6%) по сравнению с другими растворами (74.6-100%), торий извлекается чуть менее эффективно (смесью растворов HCl и трилона Б не извлекается вообще, извлечение в случае остальных растворов составляет 53.1-54.3%), что может свидетельствовать о разном характере вхождения этих элементов в минеральные фазы эвдиалитового концентрата.

**НОВЫЙ МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ  
ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Жариков А.В. (ИГЕМ РАН), Мальковский В.И (ИГЕМ РАН, РХТУ)**  
[vil@igem.ru](mailto:vil@igem.ru) (факс: +7(495)9511587, тел.: +7(499)2308440)

Проницаемость горных пород является одним из основных параметров, определяющих динамику флюидного тепло-массопереноса в глубинных зонах земной коры. Поскольку проницаемость пород существенно зависит от свойств флюида, можно ожидать, что характер проницаемости пород земной коры для водных флюидов в закритической и в особенности в околокритической области параметров состояния будет существенно отличаться от определенного в экспериментах на слабо сжимаемой жидкости или на газе, по свойствам близком к идеальному. Однако экспериментальные исследования проницаемости пород для водного флюида в околокритической области связаны со значительными трудностями. В связи с этим предлагается использовать в экспериментах для фильтрации через образец вместо воды двуокись углерода, которая термодинамически подобна воде, т.е. зависимости ее теплофизических свойств от приведенных параметров состояния почти точно соответствуют этим же зависимостям для воды. Вместе с тем критические параметры  $\text{CO}_2$  значительно ниже, чем у  $\text{H}_2\text{O}$ . Следовательно, пользуясь термодинамическим подобием этих двух флюидов, можно оценить характер изменений проницаемости пород в закритической и околокритической области  $\text{H}_2\text{O}$ . Разработаны теоретические основы методики и схема экспериментальной установки, которые впервые позволят определить проницаемость образцов горных пород при фильтрации двуокиси углерода при околокритических параметрах.

**ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ МОГИЛЬНИКА ВАО –  
ПРОГНОЗ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

**Жариков А.В. (ИГЕМ РАН), Мальковский В.И., (ИГЕМ РАН, РХТУ)**  
[vil@igem.ru](mailto:vil@igem.ru) (факс: +7(495)9511587, тел.: +7(499)2308440)

Результаты экспериментальных исследований позволили предложить прогноз изменения транспортных свойств основных типов пород участка «Енисейский».

Нагревание пород ближней зоны приведет к увеличению их проницаемости и пористости.

Проницаемость основных пород, очевидно, будет увеличиваться монотонно, в то время, как проницаемость гнейсов может сначала уменьшиться, достигнуть минимума, затем начать увеличиваться. Учитывая, что средняя проницаемость исходных долеритов на десятичный порядок меньше, чем гнейсов можно предположить, что при температурах около 200 °С различие проницаемостей между данными типами пород уменьшится. Нагревание до более высоких температур приведет к увеличению проницаемости пород обоих литологических типов. Причем проницаемость кислых пород, очевидно, будет увеличиваться быстрее, чем основных. При температурах > 400°С пористость и проницаемость достигнут максимальных величин. Очевидно, можно ожидать роста пористости в несколько раз, а проницаемости на несколько порядков по сравнению с исходной.

В присутствии воды характер трендов, очевидно, сохранится, но величины пористости превысят в несколько раз, полученные в сухих условиях, а проницаемости – на несколько десятичных порядков.

Такое поведение проницаемости вызвано воздействием терморазуплотнения, которое проявляется в открытии межзерновых границ, являющихся основными каналами фильтрации на микроуровне.

**ВЕСЭМПГ – 053**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДОКС СОСТОЯНИЯ ИМПАКТИТОВ ИЗ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ  
ЭЛЬГЫГЫТГЫН И ЖАМАНШИН ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

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

zharkova@geokhi.ru; тел.: 8(495)9397078

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ № 17-05-00713а и  
Программы № 17 П*

Проведены измерения собственной летучести кислорода (intrinsic oxygen fugacity –  $f_{O_2}$ ) импактитов из ударных кратеров Эльгыгытгын и Жаманшин электрохимическим методом. Эксперименты проводились на высокотемпературной установке на основе двух твердых электролитов в интервале температур 800-1050°C. Для этих же образцов были определены содержание воды в образцах и соотношение  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  в исследуемых объектах. Полученные результаты сравнили с ранее изученными образцами.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА  
БАЗАЛЬТОВ И ОЛИВИНОВ КАМЧАТКИ**

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

zharkova@geokhi.ru; тел.: 8(495)9397078

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ № 17-05-00713а и  
Программы № 17 П*

Проведены экспериментальные определения собственной летучести кислорода базальтов и оливинов из Камчатского региона. Для исследования были выбраны два образца базальта вулкана Толбачек и один образец базальта вулкана Киргурич. Базальты вулкана Толбачек отличаются друг от друга по составу. Так образец вулкана Толбачек ТЛ-10-08-76 является высокоглиноземистым, два других образца базальтов Толбачек (Т-6) и вулкана Киргурич (Л-21) высокомагнезиальными базальтами.

Показано, что изученные образцы оливинов обладают более низкой  $fO_2$ , чем базальты и лежат в области буферного равновесия WM (вюстит-магнетит) при низких температурах (800°C), а при температурах кристаллизации оливинов из базальтовых магм (1200-1250°C) собственная летучесть кислорода оливинов близка к QFM, либо на одну логарифмическую единицу ниже QFM и хорошо согласуется с термодинамическими расчетами, что, по-видимому, отражает связь этих пород с мантийными источниками. Однако природа их остается предметом дискуссии.



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ АЛМАЗА НА ЭТАПЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЗЕМЛИ**

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

[ezhimulev@igm.nsc.ru](mailto:ezhimulev@igm.nsc.ru) тел.: 8(383)3066403

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 17-17-01154).*

Современные модели дифференциации силикатной и металлической фаз при формировании ядра Земли предусматривают наличие частично расплавленной силикатной породы, где сегрегация расплава Fe происходила через связанные между собой интерстиции

Нами рассмотрена и экспериментально апробирована модель миграции расплава Fe через твердую силикатную матрицу при 5.5 ГПа и 1600 °С. Основные постулаты данной модели: наличие свободного углерода в аккреции при образовании Земли, его хорошая растворимость в расплаве железа. Представлены первые результаты синтеза алмаза в процессе миграции расплава железа через твёрдую силикатную матрицу, состоящую из кристаллов оливина, интерстиции в которой заполнены графитом. Результаты экспериментов показывают, что алмазы в мантии Земли могли начать образоваться ещё на стадии дифференциации.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ЭВДИАЛИТА СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ И БИСУЛЬФАТОМ-АММОНИЯ

**Зайцев В.А. (ГЕОХИ РАН)**

[alkaline@geokhi.ru](mailto:alkaline@geokhi.ru) тел.: 8 (495) 939-70-63

В последние годы большое внимание привлекает возможность создания замкнутых процессов переработки минерального сырья, в которых бисульфат аммония выступает в качестве частично рециклируемого выщелачивающего реагента.

С использованием программного комплекса Гиббс [Шваров, 1999] были рассчитаны равновесия, моделирующие разложение эвдиалита сернокислыми и бисульфатно-аммонийными растворами при температуре до 95 С, исходной концентрации кислоты и бисульфата до 6М и переменном отношении масс эвдиалита и раствора. Показало, что при любых рациональных условиях процесса эвдиалит разлагается с образованием образуется кремнезема и сульфата кальция (в зависимости от температуры, концентрации раствора и соотношения концентрат/раствор могут формироваться гипс, пентакальциевая соль  $((\text{NH}_4)_2\text{Ca}_5(\text{SO}_4)_6)$ , дикальциевая соль  $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ , или коктаит  $((\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2)$ . Осаждение редкоземельных элементов происходит в форме двойных сульфатов с натрием. Поведение циркония контролируется начальным отношением  $\text{H}^+/\text{Zr}$  в системе и температурой: необходимое для эффективного перевода циркония в раствор начальное отношение  $\text{H}^+/\text{Zr}$  увеличивается с ростом температуры от 12 при 25°C до 16 при 95°C в случае использования  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , и до 19-21 при использовании  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ .

**ВЕСЭМПГ – 057**

**ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАЗЛОЖЕНИЯ ЭВДИАЛИТА СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ В ПРИСУТСТВИИ СУЛЬФАТА АММОНИЯ**

**Зайцев В.А. (ГЕОХИ РАН)**

[alkaline@geokhi.ru](mailto:alkaline@geokhi.ru) тел.:8 (495) 939-70-63

Для оценки количественных характеристик динамики процесса растворения эвдиалита серной кислотой проведены эксперименты по разложению эвдиалитового концентрата в условиях заведомого недостатка кислоты. Ход реакции контролировался по расходу кислоты, концентрация которой постоянно измерялась рН-метром. Определение порядка реакции проводилось дифференциальным методом Вант-Гоффа.

Обнаружено, что скорость разложения определяется только концентрацией ионов водорода, причём реакция характеризуется высоким порядком по  $H^+$ : 9-10 при комнатной температуре и 4-5 при температуре 60-90° С.

ОЛИВИН-МАГНЕТИТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР ВОДОРОДА

**Зеленский М.Е., Каменецкий В.С. (ИЭМ), Портнягин М.В., Миронов Н.Л. (ГЕОХИ),  
Бочарников Р.Е (Johannes Gutenberg Universität Mainz).**

[zelen@iem.ac.ru](mailto:zelen@iem.ac.ru) тел.: 8(926)2555948

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-17-10145*

Многие кристаллы оливина из мантийных ксенолитов содержат планарные или компактные рои флюидных включений с кристаллами магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), размер которых строго пропорционален размеру включения. Феномен объясняется захватом оливином водосодержащего флюида с последующим восстановлением воды до водорода двухвалентным железом оливина и диффузией водорода из включения в межзерновое пространство. Для верификации данной гипотезы мы выполнили опыты по взаимодействию оливина с водой при 5 кбар и  $1200^\circ\text{C}$ . Кристаллы магнезиального оливина (Fo85-90) без посторонних включений помещали в платиновые ампулы с небольшим количеством воды. В некоторые ампулы добавляли буфер Fe-FeO или Ni-NiO. При указанных параметрах оливин взаимодействует с водой по реакции  $6\text{MgFeSiO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow 3\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 3\text{SiO}_2 + 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}_2$ . По окончании опытов (6-24 часа) кристаллы оливина в ампулах без буфера содержали зону из флюидных включений с кристаллами магнетита. Аналогичные включения развивались по трещинам в оливине. Присутствие буфера Ni-NiO сильно замедляло формирование включений, тогда как в условиях буфера Fe-FeO включения с магнетитом не формировались.

**ГОМОГЕНИЗАЦИЯ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

**Зеленский М.Е., Каменецкий В.С. (ИЭМ РАН).**

[zelen@iem.ac.ru](mailto:zelen@iem.ac.ru) тел.: 8(926)2555948

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-17-10145*

Для устранения декрепитации силикатных расплавных включений при гомогенизации при атмосферном давлении мы разработали установку для гомогенизации под давлением 4-5 кбар. Кристаллы оливина с включениями укладывали в платиновую ампулу 2x20 мм с открытым концом с добавкой восстановителя. Ампулу помещали в трубку из монокристаллического сапфира 3.5x5.5x300 мм. Возле одного из концов трубка имела нагреватель L=60 мм, выполненный из проволоки Pt-10%Rh, и теплоизоляцию из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Устройство помещали в установку высокого давления таким образом, чтобы ампула находилась посередине зоны нагрева, а сама установка имела наклон к горизонту 8-10° с повышением к горячей зоне. Для минимизации диффузионных потерь водорода из включения нагрев производили в течение не более 3 мин от 20 до 1200°C от источника постоянного тока со стабилизатором тока. Ампулу выдерживали 2 мин при 1200°C и сбрасывали в холодную зону поворотом установки в вертикальное положение. В опыте происходит гомогенизация включений высокомагнезиального базальтового расплава с 4–5% H<sub>2</sub>O без декрепитации или роста дочерних кристаллов.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГОМОГЕНИЗАЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ**

**Зеленский М.Е. (ИЭМ РАН), Каменецкий В.С. (ИЭМ РАН).**

[zelen@iem.ac.ru](mailto:zelen@iem.ac.ru) тел.: 8(926)2555948

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-17-10145*

Определение среднего химического состава включений Fe-Ni-Cu сульфидов в минералах может давать значительную погрешность при электронно-микронном анализе неомогенных (раскристаллизованных) включений. В этом случае измеренное отношение Fe:Ni:Cu во включении определяется случайным соотношением площади экспонированных фаз. Для повышения точности анализа мы выполнили гомогенизацию сульфидных включений. Кристаллы с включениями помещали в платиновую ампулу 2-3x30 мм с открытым концом и выдерживали 5 мин в атмосферной трубчатой печи при 1200 °С. Окисление оливина с поверхности предотвращали добавлением в ампулу графита. Закалку производили сбросом ампулы в воду; измеренная скорость закалки составила 600–800 °/с. После закалки в зависимости от состава включения приобретали гомогенную или тонкозернистую текстуру с размером зерен не более 2-3 мк, что позволило получить адекватные аналитические данные. Вероятным механизмом формирования тонкозернистых закалочных текстур Cu-Ni сульфидов является распад метастабильной гомогенной фазы. При закалке сульфидных расплавов, содержащих растворенные флюиды (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) формировались тонкозернистые текстуры, содержащие регулярно расположенные микропузыри.

**САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ РАННЕЙ ЗЕМЛИ**

**Иванов А.А., Севастьянов В.С., Шныкин Б.А., Долгоносов А.А., Кривенко А.П.,  
Приймак С.В., Рослякова А.С., Галимов Э.М. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Программа президиума РАН №1.16*

Вопрос о закономерности возникновения биологического уровня организации материи остаётся дискуссионным, т.к. необходимо более глубокое и детальное понимание причинно-следственной взаимосвязи событий, имевших место при самоформировании благоприятных для абиогенного самозарождения жизни условий ранней Земли. В связи с чем, требуется знание очерёдности причин, способствовавших выстраиванию реальной последовательности всех влиявших на процесс факторов. Сегодня известно как могли развиваться геологические события, сформировавшие подходящие для самозарождения жизни обстоятельства, в условиях которых, прошёл подготовительный этап абиогенеза – этап образования первичной водной среды с разномолекулярной смесью органических и неорганических соединений. Поэтому, принципиальных проблем с появлением первичного органического бульона в условиях ранней Земли, в совокупности с привнесом космогенного органического вещества, нет. Наши исследования показали, что в результате термобароциклического режима работы пневмодара, возникающего при действии волн прибоя, в ячейках абразивных берегов образуется многофазная пузырьковая среда, способствующая генерации полипептидных микросфер и синтезу высокомолекулярных органических соединений, предваряя этим начало теневой стадии структуроформирования первых пробионтов. Поэтому образование абразивных берегов может являться ключевым фактором абиогенеза.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$  И  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CaCl}_2$  ДЛЯ  $TP$  ПАРАМЕТРОВ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ**

**Иванов М.В., Бушмин С.А. (ИГГД РАН)**

*Исследование по теме НИР ИГГД РАН 0153-2019-0004.*

Наряду с ранее разработанной термодинамической моделью системы  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CaCl}_2$  нами создана модель для системы  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ . Обе модели основаны на уравнении для избыточной свободной энергии Гиббса. Численные параметры моделей получены на основе экспериментальных данных по фазовому распаду в трёхкомпонентных системах в области температур  $500-800^\circ\text{C}$  давлений от 1 до 9 кбар. Введенная нами параметризация  $TP$  зависимостей коэффициентов, входящих в формулу для свободной энергии Гиббса, основана на мольном объёме воды при соответствующих условиях. Данная параметризация позволяет определять фазовое состояние флюидной системы (гомогенное или гетерофазное), активности компонентов, их концентрации в сосуществующих фазах, плотности и мольные объёмы фаз до давлений 20 кбар и температур до  $1400^\circ\text{C}$ . Однотипные модели тройных систем создают основу для разработки термодинамической модели системы  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$  пригодной для  $TP$  условий от средней коры до верхней мантии.



**ВЕРОЯТНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ  
ЗОНЫ ПИТАНИЯ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ С ФОРМИРУЮЩИМИСЯ ПЛАНЕТАМИ  
И ЛУНОЙ**

**Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Исследования аккумуляции Марса и Меркурия были частично поддержаны Программой Президиума РАН № 12. Исследования формирования системы Земля-Луна были поддержаны грантом РФФ N 17-17-01279.*

На основании расчетов вероятностей столкновений планетезималей из различных областей зоны питания планет земной группы с формирующимися планетами и Луной сделаны выводы о процессе аккумуляции планет земной группы. Внутренние слои планеты земной группы формировались в основном из вещества из окрестностей этой планеты. Внешние слои Земли и Венеры могли аккумулировать одинаковый материал из различных частей зоны питания планет земной группы. Формирование зародыша Марса с массой не меньшей 0.02 массы Земли в результате сжатия разреженного сгущения может объяснить относительно быстрый рост основной массы Марса. Отношение вероятностей выпадений планетезималей на зародыши Земли и Луны варьировалось от 13 до 54 в зависимости от масс зародышей, источников планетезималей и рассматриваемых времен эволюции.

**ВЕРОЯТНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ С ЗЕМЛЕЙ И ЛУНОЙ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ,  
МИГРИРОВАВШИХ ИЗ-ЗА ОРБИТЫ МАРСА**

**Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Исследования миграции планетезималей к Земле были поддержаны Программой Президиума РАН № 16. Исследования миграции планетезималей к Луне были поддержаны грантом РФФ N 17-17-01279.*

Вероятности столкновений с Землей планетезималей, первоначально находившихся за орбитой Юпитера, рассчитанные для 250 планетезималей, могут отличаться в десятки раз для разных расчетов с примерно одинаковыми орбитами. При рассмотрении тысяч планетезималей вероятность столкновения с Землей планетезимали, первоначально находившейся в области между 5 и 10 а.е. от Солнца, может в несколько раз превышать  $2 \times 10^{-6}$ . Для области между 20 и 40 а.е. от Солнца эта вероятность равнялась  $10^{-6}$ . Для планетезималей, первоначально находившихся в поясе астероидов, вероятности их столкновений с Землей были в диапазоне  $10^{-4}$ - $10^{-2}$ . Отношение вероятностей столкновений рассматриваемых планетезималей с Землей к вероятностям их столкновений с Луной находилось в основном в диапазоне от 16 до 17.

**ВЕСЭМПГ – 065**

**ЧИСЛЕННОСТЬ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ И ОБРАЗОВАНИЕ ЛУННЫХ КРАТЕРОВ  
В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНЕГО МИЛЛИАРДА ЛЕТ**

**Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН), Феоктисова Е.А. (ГАИШ МГУ), Светцов В.В. (ИДГ РАН)**  
siipatov@hotmail.com тел.: 8 (926) 379 28 10

Проведено сравнение количества лунных кратеров с диаметром большим 15 км и с возрастом меньшим 1.1 млрд. лет в области Oceanus Procellarum с оценками числа кратеров, сделанными на основе числа околоземных объектов и характерных времен, прошедших до их столкновений с Луной. Наши оценки не противоречат увеличению количества околоземных объектов после предполагаемого недавнего катастрофического разрушения большого астероида главного пояса. Тем не менее, при учете разрушения некоторых старых кратеров и изменений распределения орбит околоземных объектов со временем, возможно, что среднее число околоземных объектов в течение последнего миллиарда лет было близко к их современному числу.

ФАЗЫ СИСТЕМЫ Ca–Al–O ПРИ P-T ПАРАМЕТРАХ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ И НИЖНЕЙ МАНТИИ: СИНТЕЗ, ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР, ИЗОМОРФИЗМ, УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ

**Искрина А.В. (геол. ф-т МГУ), Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Ерёмин Н.Н., Марченко Е.И. (геол. ф-т МГУ), 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. К ним относятся Са-алюминаты, в которые могут входить различные катионы - Fe, Mg, Na, оказывающие влияние на фазовые отношения в системе СаО–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При 15 ГПа, 24 ГПа и 1600°С нами были синтезированы фазы состава СаAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Са<sub>2</sub>Al<sub>6</sub>O<sub>11</sub> (получена впервые) и Са(Al,Fe)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Все изученные фазы со стехиометрией АВ<sub>2</sub>O<sub>4</sub> относятся к структурному типу кальциоферрита. Впервые полученная фаза Са<sub>2</sub>Al<sub>6</sub>O<sub>11</sub> имеет тетрагональную сингонию и пространственную группу *P4<sub>2</sub>/mnm*. Методом монокристаллической рентгеновской дифракции с использованием синхротронного излучения были уточнены структуры синтезированных фаз, а также изучена сжимаемость фазы Са(Al,Fe)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> до давлений ~60ГПа. В этом диапазоне давлений для неё не были обнаружены фазовые превращения, но был зарегистрирован спиновый переход для железа. В результате исследований удалось получить уравнение состояния для соединения Са(Al,Fe)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРБЦИИ СТРОНЦИЯ НА БИРНЕССИТЕ( $\delta$ -MnO<sub>2</sub>) ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Карасева О.Н., Иванова Л.И., Лакштанов Л.З. (ИЭМ РАН)**  
[olga@iem.ac.ru](mailto:olga@iem.ac.ru), тел. +7(496) 5225854

С целью прогнозирования миграции токсичных веществ и радионуклидов в природных водах проведены исследования сорбционного взаимодействия стронция с оксидом марганца, который наряду с оксидами железа широко распространен в почвах и осадках.

Влияние pH, ионной силы, соотношения сорбат/сорбент и температуры на сорбцию стронция было изучено с помощью экспериментального метода, представляющего собой комбинацию потенциометрического кислотно-основного титрования поверхности и данных по адсорбции металла. Обработка экспериментальных данных была проведена с помощью трехслойной модели ДЭС, которая применима в случае переменной ионной силы и позволяет различать специфически и неспецифически адсорбированные ионы. Предложенная модель взаимодействия стронция с поверхностью бирнессита включает внутрисферные ( $>\text{MnOH}\text{Sr}^{2+}$ ,  $>\text{MnOSr}^+$ ,  $>\text{MnOSrOH}^0$ ) и внешнесферные ( $[\text{>MnO-Sr}^{2+}]^+$ ) поверхностные комплексы. Соответствующие константы образования этих поверхностных комплексов были рассчитаны для 25, 50 и 75°C. Полученные результаты показывают, что присутствие бирнессита ( $\delta$ -MnO<sub>2</sub>) может играть важную роль в регулировании концентрации Sr путем прямой адсорбции.

**МОНОКРИСТАЛЛЬНЫЙ (Ga-, Ge)-СОДЕРЖАЩИЙ ТОПАЗ: ВЫРАЩИВАНИЕ, МОРФОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ГАЛЛИЯ И ГЕРМАНИЯ**

**Квас П.С. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Балицкий В.С. (ИЭМ РАН), Пушаровский Д.Ю. (геол. ф-т МГУ), Балицкая Л.В., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), Нестерова В.А. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**

[algiz116@mail.ru](mailto:algiz116@mail.ru), тел. 8 (905) 7423369

Впервые осуществлено выращивание на затравку монокристаллов топаза, допированных примесью галлия и германия. Рост кристаллов проводили гидротермальным методом температурного перепада с использованием слабощелочных фторидных растворов при температуре 600–650°C и давлении 100 МПа. Примесь галлия и германия в виде их оксидов помещали на дно автоклава в равных мольных долях. В результате был получен нарост (Ga, Ge)-содержащего топаза толщиной до 4 мм на одну сторону от затравки. Рентгеноспектральным анализом установлено, что распределение галлия и германия в наросте имеет резко неравномерный характер. Максимальное замещение кремния и алюминия указанными элементами происходит на границе затравочного кристалла и наросте, достигая 25 мас.% GeO<sub>2</sub> и 6 мас.% Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> соответственно.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА АМФИБОЛИЗАЦИИ В ГАББРОИДАХ ТИКШЕОЗЕРСКОГО МАССИВА (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)**

**Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Шаповалов Ю.Б. (ИЭМ РАН), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Калинин Г.М. (ИЭМ РАН)**  
tatiana76@iem.ac.ru тел.: 8 (49652) 25857

В работе экспериментально изучено формирование щелочных амфиболовых кайм вокруг зерен клинопироксена (диопсид-геденбергитового состава), встреченных при изучении минеральных особенностей Тикшеозерского массива. Проведены эксперименты с растворами KCl и KF концентрацией 0.5 М, 1М, 2М соответственно. в качестве исходного материала использовались габбро массива Луккулайсваара, поскольку они менее подвержены вторичным изменениям, в отличие от Тикшеозерского массива. Соотношение навеска/ флюид составляло 10/1 по массе. Длительность опытов составляла 10 суток. Сначала реакционная смесь нагревалась до 1100°C и задавалось давление 3кбар, выдерживалась при этих параметрах в течение 1 часа, затем происходило изобарическое охлаждение до 850°C, давление оставалось 3 кбар с последующей выдержкой при этих параметрах выдержка в течение 10 суток. Все опыты проводили в установках высокого газового давления с внутренним нагревом УВД-10000. В опытах с концентрацией KCl и KF 1 М были получены амфиболы ряда паргасит-катафорит, по составу наиболее близкие к природным.

**СИНТЕЗ АЛЛАНИТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Ковальская Т.Н., Ханин Д.А., Варламов Д.А., Калинин Г.М. (ИЭМ РАН)**  
tatiana76@iem.ac.ru тел.: 8 (49652) 25857

Находки алланита (Ce), в том числе и Ga-содержащего, в сростании с Ga эпидотом в рудопроявлении Тыкотлова (Полярный Урал) свидетельствует об их одновременном образовании. Авторами синтерзирован Ga – эпидот в широком диапазоне составов при температуре 500 °С и давлении 5 кбар. В работе экспериментально изучено образование алланита в гидротермальных условиях. С этой целью были приготовлены стехиометричные смеси алланитов различного состава – алланита (Ce) и алланита (Y). Затем смеси загружались в платиновые ампулы в соотношении флюид/навеска 1/10. В качестве флюида использовалась дистиллированная вода. Опыты проводились на газовой установке высокого давления с внутренним нагревом УВД-10000 при параметрах, аналогичных синтезу Ga-эпидота. Единственным отличием являлось то, что перед выдержкой при 500 оС и давлении 5 кбар реакционная смесь выдерживалась в течение 3 часов при температуре 1100 °С и давлении 5 кбар. Это необходимо для гомогенизации смеси. Затем происходило изобарическое охлаждение до 500 °С. Длительность опытов составляла 10 суток.



КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ Ga-РАЗНОВИДНОСТИ ЭПИДОТА

**Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН),  
Чуканов Н.В. (ИПХФ РАН), Калинин Г.М. (ИЭМ РАН)**  
[tatiana76@iem.ac.ru](mailto:tatiana76@iem.ac.ru) тел.: 8 (49652) 25857

С целью реконструкции условий кристаллизации галлиевого аналога эпидота  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Ga}(\text{Si}_3\text{O}_{12})(\text{OH})$  из руд Тыкотловского золото-сульфидного рудопроявления на Приполярном Урале был впервые осуществлен синтез ряда устойчивых при заданных P–T условиях (температура 500 °C и давление 1 кбар) твердых растворов серии эпидот–«галлиевый эпидот». Определение характеристик природных галлиевых эпидотов не представляется возможным в виду малого размера зерен. Для синтетических фаз рассчитаны параметры элементарной ячейки, сняты ИК и рамановские (КР) спектры. Проведено сравнение полученных результатов с данными для природных эпидотов. Сделан вывод о преимущественном вхождении галлия в позицию  $M3$ , что позволяет рассматривать «галлиевый эпидот» как самостоятельный минеральный вид. Опыты проводились на установках высокого газового давления с внутренним нагревом УВД-10000 в платиновых ампулах. Для предотвращения восстановления  $\text{Fe}^{3+}$  использовался буфер магнетит-гематит. Длительность опытов составляла от 10 до 14 суток.

**ЭВОЛЮЦИЯ МЕЛИЛИТА В ПРОЦЕССАХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАРНИТ-НОРМАТИВНЫХ РАСПЛАВОВ, БЛИЗКИХ ПО СОСТАВУ К КИМБЕРЛИТАМ.**

**Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН)**

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

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

Исследовано влияние различных факторов, определяющих состав твердых растворов мелилита и лимитирующих его кристаллизацию из магматического расплава. Выводы основаны на анализе экспериментально изученных равновесных пар мелилит-расплав. Исходные данные включают 38 оригинальных и 32 опубликованных анализа. Показано, что мелилиты могут кристаллизоваться в очень широком по составу диапазоне расплавов, при этом концентрация ни одного из составляющих мелилит элементов не является критической. Необходимое условие для кристаллизации этого минерала – присутствие нормативного нефелина в расплаве. Состав твердого раствора определяется в первую очередь составом сосуществующего расплава. Давление, температура и окислительный потенциал кислорода оказывают значительно меньшее влияние. Установлено, что при кристаллизации мелилита остаточный расплав всегда будет обогащаться Na, Al и Fe, напротив Ca будет удаляться из расплава. Коэффициент распределения  $Mg > 1$ , пока в расплаве  $< 12\% MgO$  и  $< 1$  в более магниезных расплавах. Магнеевое число мелилита всегда выше, чем в расплаве, а коэффициент агпаитности ниже, если этот показатель для последнего  $< 0,65$  и наоборот. Показано, что состав мелилита и диапазон его изменения может быть индикатором изменения ультращелочной магмы в процессе эволюции.

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗА С ГЛУБОКОГО ГОРИЗОНТА ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»**

**Коногорова Д.В., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ).**  
diana-96perm@mail.ru тел.: 8(916)8553556

Трубка Удачная является одной из типичных трубок ЯАП и отработана до нижних горизонтов, следовательно изучение и сопоставление алмазов с нижних горизонтов, даст возможность прогнозировать изменение качественных характеристик кристаллов на нижних горизонтах трубок, подобных Удачной.

Изученная проба 2018 г. отобрана методом механического квартования. Объем пробы 550 карат (2423 кристаллов) двум размерно-весовым группам: масса одного кристалла в первой группе составляет 0,30-0,45 карат, во второй – 0,10-0,15 карат.

С увеличением глубины отработки трубки увеличивается содержание кристаллов алмаза переходных форм и додекаэдров, а так же снижение доли нерастворенных октаэдров. Это говорит о более интенсивном воздействии процессов окислительного сглаживающего растворения.

Резкое преобладание коричневых кристаллов, говорит о интенсивном проявлении процессов пластической деформации. Также увеличение доли желтых алмазов, что коррелирует с увеличением структурной примеси азота.

**КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРМИКУЛИТА В ПОЧВЕ МЕТОДОМ ФИКСАЦИИ Cs, МЕЧЕННОГО РАДИОАКТИВНЫМ ИЗОТОПОМ**

**Коноплева И. В. (ГЕОХИ РАН), Забейайлова А. А. (ВНИИРАЭ)**  
[konopleva@geokhi.ru](mailto:konopleva@geokhi.ru) тел.: +7(499)137 5949

В настоящее время важнейшая особенность почвообразования - воздействие человека на естественный почвообразовательный процесс. Интенсивное ведение агропроизводства приводит к усилению процессов выветривания и трансформации почвенных минералов. Для мониторинга плодородия пахотных почв возникает необходимость изучения интенсивности этих процессов, так как минеральная тонкодисперсная фракция почв во многом определяет способность почв обеспечивать растения элементами питания. Цель исследования - разработка экспресс-метода оценки содержания в почве вермикулита, являющегося продуктом выветривания вторичных минералов типа иллита. В основу предложенного метода положены специфические сорбционные свойства вермикулита - высокая селективность и способность к необменному поглощению (фиксации) в межпакетных позициях однозарядных катионов с низкой энергией гидратации:  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Rb^+$ ,  $Cs^+$ . Процедура включает себя процесс насыщения образца почвы ионами  $Cs^+$ , содержащим в качестве метки  $^{137}Cs$ , с последующим выдерживанием образца при  $110^\circ C$ . После высушивания образца обменный Cs замещался на ионы  $NH_4^+$  и фиксированный внутри кристаллической решетки Cs определялся  $\gamma$ -спектрометрическим методом по активности  $^{137}Cs$ . Содержание вермикулита рассчитывали из отношения количества фиксированного Cs (мг-экв/100 г) к емкости катионного обмена (ЕКО) вермикулита.

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ-БИОМАРКЕРОВ БИОНЕФТИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПУТЕМ ТЕРМОГИДРОЛИЗА БИОМАССЫ ЦИАНОБАКТЕРИИ *Arthrospira platensis* (*Spirulina*)

**Коноплева И. В., Севастьянов В. С. (ГЕОХИ РАН), Телегина Т.А. (ИНБИ РАН)**  
[konopleva@geokhi.ru](mailto:konopleva@geokhi.ru) тел.: +7(499)137 5949

Работа посвящена изучению генезиса нефтепроявлений кальдеры влк. Узон. Считается, что гидротермальная нефть может образовываться в результате трансформации живого вещества, проходящей в условиях агрессивной среды и повышенных температур. Большую долю среди микроорганизмов, обитающих в термальных водах кальдеры, составляют термофильные цианобактерии. Целью данной работы было определение углеводородов-биомаркеров в бионефти, образующейся в результате термогидролиза цианобактерий. Объектом исследования была сухая биомасса *Arthrospira platensis* (*Spirulina*), выращенная в фотобиореакторе на среде Заррука. Термогидролиз проводился в титановых капсулах при 300°C в течение 3 суток в трех средах: Ar + деаэрированная вода, Ar + вода, насыщенная H<sub>2</sub>S, и вода + воздух. Во всех 3-х средах соотношение мальтенов к асфальтенам в составе полученной бионефти составляло 1,5 : 1. Мальтены содержали в основном полярные соединения, насыщенные углеводороды составляли всего 2-3%. Во фракции насыщенных углеводородов обнаружены алканы нормального и изо-строения. Среди *n*-алканов идентифицированы углеводороды состава C<sub>13</sub>-C<sub>33</sub>, из них максимальную долю, 80-87% от суммарного содержания, составлял *n*-C<sub>17</sub>. Среди изопреноидов доминировал Ph. Отношение Pr/Ph=0,06 в средах Ar, Ar и H<sub>2</sub>S, Pr/Ph=0,10 в среде воздуха.

**КВАРЦ-КАЛИШПАТ ПОРФИРЫ САЛМИНСКОГО БАТОЛИТА: СОСТАВЫ РОДОНАЧАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ ПО ДАННЫМ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)**

**Конышев А.А.(ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН) Русак А.А., Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН)**

[icelopa@gmail.com](mailto:icelopa@gmail.com), [aleks7975@yandex.ru](mailto:aleks7975@yandex.ru), [masha\\_anosova@mail.ru](mailto:masha_anosova@mail.ru)

*Работа поддержана грантом РФФИ:18-05-01101А*

Анортозит-рапакивигранитные комплексы пород являются визитной карточкой протерозоя, основной их объём был сформирован в диапазоне 2-1 млрд лет назад. Салминский батолит расположен в Южной Карелии на стыке Карельского кратона и коры Свекофенского времени, время возникновения по литературным данным 1547-1530 млн. лет (Neumark et al., 1994; Amelin et al., 1997).

Нашим коллективом в пределах батолита были обнаружены брекчии с кварц-калишпат порфировым цементом. U-Pb методом по выделенным из них цирконам установлено время их возникновения 1541,1 +/- 9,4 млн., СКВО 1,7, что соответствует временному диапазону становления батолита. Цирконы, кварц и полевые шпаты содержат расплавные силикатные включения.

В данной работе приводятся данные о составах этих включений полученных при помощи методов RSMA и SIMS. Для определения концентраций летучих компонентов в закалочном стекле, а также температур и характера их гомогенизации проводился предварительный прогрев включений на УВГД10000 (ИЭМ РАН).

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  В РЯДУ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ ОТ КОМАТИИТОВЫХ БАЗАЛЬТОВ ДО ДАЦИТОВ

**Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ), Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)**  
 ekoptev@geol.msu.ru тел.: 8 (915) 168 74 39

В недавней публикации А.А.Борисова с соавторами был приведён наиболее полный на сегодня электронный банк экспериментальных данных, характеризующий  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в силикатных расплавах широкого спектра составов (435 экспериментов) и предложена новая форма линейного относительно  $\lg(X_{FeO_{1.5}}/X_{FeO})$  уравнения для расчёта этого отношения:

$$\lg(X_{FeO_{1.5}} / X_{FeO}) = k \lg f_{O_2} + h/T + \sum d_i X_i + d_{SiAl} X_{SiO_2} * X_{Al_2O_3} + d_{SiMg} X_{SiO_2} * X_{MgO} + c \quad (1)$$

Мы сократили выборку до 370 экспериментов, ограничив её составами базитов нормального ряда, и получили коэффициенты оптимизацией степенного уравнения:

$$X_{FeO_{1.5}} / X_{FeO} = 10^{k \lg f_{O_2} + h/T + \sum d_i X_i + d_{SiAl} X_{SiO_2} * X_{Al_2O_3} + d_{SiMg} X_{SiO_2} * X_{MgO} + c} \quad (2)$$

Уравнение (2) воспроизводит  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в экспериментальных расплавах заметно лучше, чем уравнение (1). В диапазоне отношений  $X_{FeO_{1.5}} / X_{FeO}$  от 0 до 2.6 с вероятностью 95% расчётное отношение форм железа отличается от неизвестного истинного на величину, не превышающую  $\pm 0.02$ . В области более высоких отношений доверительный интервал постепенно растёт, достигая величины  $\pm 0.08$  при отношении  $X_{FeO_{1.5}} / X_{FeO}$  равном 7.

## АВГИТОВЫЙ ЛИКВИДУСНЫЙ ТЕРМОБАРОМЕТР ДЛЯ ДИАПАЗОНА СОСТАВОВ РАСПЛАВОВ ОТ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ БАЗИТОВ ДО ЛИПАРИТОВ.

**Коптев-Дворников Е.В., Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)**  
 ekoptev@geol.msu.ru тел.: 8 (915) 168 74 39

Из базы данных ИНФОРЕКС были извлечены результаты 519 «сухих» закалочных опытов (из них 136 высокобарных до 25 кбар), характеризующих составы сосуществующих авгитов и расплавов. Составы авгитов были пересчитаны на 10 миналов:  $MgSiO_3$  (En – энстатит),  $FeSiO_3$  (Fs – ферросилит),  $CaSiO_3$  (Wo – волластонит),  $FeAlO_3$  (FeAl – феррал),  $AlAlO_3$  (AlAl – алал),  $Na_{0.5}Al_{0.5}SiO_3$  (NAlSi – налси),  $Na_{0.5}Al_{0.5}TiO_3$  (NAlTi – налти),  $MgTiO_3$  (MgTi – магти),  $MnSiO_3$  (Rdn – родонит),  $CrSiO_3$  (CrSiO<sub>3</sub> – хромпироксен). Авгитовый ликвидусный термобарометр представляет систему из 10 уравнений, например, для En:

$$X^{En} = \exp\left(\frac{A}{T} + \beta P/T + B + D \lg f_{O_2} + \sum J_i X_i + \ln a'_{MgO} + \ln a'_{SiO_2}\right), \quad (1)$$

где  $P$  – давление в кбар,  $T$  – абсолютная температура,  $f_{O_2}$  – летучесть кислорода,  $X_i$  – мольная доля  $i$ -ого компонента расплава,  $A$ ,  $\beta$ ,  $D$ ,  $J_i$  – коэффициенты при соответствующих переменных,  $B$  – константа,  $a'_i$  – активности исходных компонентов в расплаве согласно двухрешёточной модели силикатной жидкости Нильсена с соавторами.

В диапазоне температур от 1100 до 1300° С с вероятностью 95% расчётное значение температуры ликвидуса авгита отличается от неизвестного истинного на величину, не превышающую  $\pm 5$  градусов.



## ПЛАГИОКЛАЗОВЫЙ ЛИКВИДУСНЫЙ ТЕРМОБАРОМЕТР ДЛЯ ДИАПАЗОНА СОСТАВОВ РАСПЛАВОВ ОТ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ БАЗИТОВ ДО ДАЦИТОВ.

**Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ), Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)**  
 ekoptev@geol.msu.ru тел.: 8 (915) 168 74 39

Из базы данных ИНФОРЕКС были извлечены результаты 628 «сухих» закалочных опытов (из них 77 высокобарных до 15 кбар), характеризующих составы сосуществующих плагиоклазов и расплавов. Составы плагиоклазов были пересчитаны на 5 миналов:  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (An – анортит),  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (Ab – альбит),  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  (Or – ортоклаз),  $\text{MgAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (MgAn – магнанортит),  $\text{NaFeSi}_3\text{O}_8$  (AbFe – альбитферро). Плагиоклазовый ликвидусный термобарометр представляет систему из 5 уравнений, например, для An:

$$X^{\text{An}} = \exp\left(\frac{A}{T} + \beta P/T + B + D \lg f_{\text{O}_2} + \sum J_i X_i + \ln a_{\text{CaO}}^l + 2 \ln a_{\text{SiO}_2}^l + 2 \ln a_{\text{AlO}_{1.5}}^l\right), \quad (1)$$

где  $P$  – давление в кбар,  $T$  – абсолютная температура,  $f_{\text{O}_2}$  – летучесть кислорода,  $X_i$  – мольная доля  $i$ -ого компонента расплава,  $A$ ,  $\beta$ ,  $D$ ,  $J_i$  – коэффициенты при соответствующих переменных,  $B$  – константа,  $a_i^l$  – активности исходных компонентов в расплаве согласно двухрешёточной модели силикатной жидкости Нильсена с соавторами.

В диапазоне температур от 1050 до 1300° С с вероятностью 95% расчётное значение температуры ликвидуса плагиоклаза отличается от неизвестного истинного на величину, не превышающую  $\pm 1.25$  градуса.

**ВЕСЭМПГ – 080**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-ТЕЛЛУР ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ФАЗ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ**

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

[yakoff@iem.ac.ru](mailto:yakoff@iem.ac.ru) тел.: 8 (496) 52 2 58 42

На основе экспериментальных данных, полученных авторами и коллективом лаборатории высокотемпературной электрохимии ИЭМ РАН, была построена тройная фазовая диаграмма Ag-Au-Te. Для моделирования были использованы термодинамические данные для синтетических аналогов минералов:  $Ag_2Te$  (гессит),  $Ag_5Te_3$  (штюцит),  $Ag_3AuTe_2$  (Ютенбогаардтит),  $AuTe_2$  (калаверит),  $AgAuTe_4$  (сильванит) и твердого раствора Ag-Au. Моделирование (программа TERNAPI, лаборатория химической термодинамики химического факультета МГУ им. Ломоносова) показало, возможность использования трех-минеральных парагенезисов в качестве геотермометра для халькогенидных месторождений серебра и золота.

**ВЕСЭМПГ – 081**

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФЛЮИДА (HF+HCl) НА ПОВЕДЕНИЕ Ta, Nb ПРИ РАСТВОРЕНИИ ПИРОХЛОРА И ТАНТАЛИТА (T = 300°C, P = 100 МПа, БУФЕР Co-CoO)**

**Коржинская В.С., (ИЭМ РАН)**

[vkog@iem.ac.ru](mailto:vkog@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) при T = 300°C, P = 100 МПа 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. Полученные данные позволили оценить равновесные содержания ниобия и тантала в растворах (HF+HCl) при выбранных параметрах. Проведено сравнение содержания тантала и ниобия для пирохлора и танталита в чистых HF, HCl и (HF+0.5m HCl) растворах.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЩЕЛОЧНО-СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

**Королева О.Н. (Институт минералогии УрО РАН), Бычинский В.А. (ИГХ СО РАН),  
Тупицын А.А. (ИрГУПС)**

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00079.*

Бинарные  $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  и трехкомпонентная  $\text{Li}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  силикатные стекла и расплавы были исследованы методом термодинамического моделирования на ПК «Селектор». Для этого применялась согласованная база данных, полученная в результате критического отбора и согласования известных т/д характеристик и оценки неизученных ранее. В список возможных компонент силикатных систем включались  $\text{M}_2\text{SiO}_3$ ,  $0.5\text{M}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $\text{M}_4\text{SiO}_4$  и  $0.5\text{M}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ , где  $\text{M} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}$ , термодинамические функции которых приняты равными термодинамическим функциям кремнекислородных тетраэдров  $\text{Q}^0 - \text{Q}^3$ . Структурная единица  $\text{Q}^4$  характеризуется термодинамическими функциями чистого  $\text{SiO}_2$ . Для термодинамического моделирования полищелочной системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  были выбраны составы  $33(\text{Li}, \text{K})_2\text{O}-67\text{SiO}_2$ ,  $40(\text{Li}, \text{K})_2\text{O}-60\text{SiO}_2$  и  $50(\text{Li}, \text{K})_2\text{O}-50\text{SiO}_2$ . Было показано, что наиболее ярко нестатистическое распределение выражено при равных содержаниях двух щелочных катионов в силикатных стеклах. Кроме того, экспериментальные данные, полученные из спектроскопии КР стекол и расплавов щелочносиликатных систем, сопоставлялись с результатами моделирования, что позволило определить критерии применимости моделей.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГИДРАТАЦИИ БОБЬЕРИТА И КОВДОРСКИТА**

**Косова Д.А. (хим. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)**  
[dakosova@gmail.com](mailto:dakosova@gmail.com) тел.: 8 (495) 939 13 49

Изучены бобьерит  $Mg_3[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$  и ковдорскит  $Mg_2[PO_4](OH) \cdot 3H_2O$  из Ковдорского карбонатитового массива (Россия). Исследование термического поведения проведено на термовесах «NETZSCH TG 209 F1» до  $T=1200$  К. В интервале 340–510 К потеря массы бобьерита составляет ~31.2% (удаление около 7  $H_2O$ ), при 510–980 К – еще ~4.7% (одна молекула  $H_2O$ ). Дегидратация ковдорскита происходит в четыре этапа: 1-ый этап в интервале 465–550 К с потерей массы ~15.8% (удаление ~2 молекул воды), 2-ой этап (550–730 К) с потерей массы 4.6%, 3-ий этап (730–810 К) с потерей ~4.1% массы и 4-ый этап (810–1140 К) относится к удалению остатков воды (~3.8%). Измерение энтальпий дегидратации выполнено на дифференциальном сканирующем калориметре «NETZSCH DSC 204 F1». Тепловой эффект 1-го этапа дегидратации бобьерита составляет 447 кДж/моль. Три эндотермических эффекта, связанных с дегидратацией ковдорскита, получились равными: 95 кДж/моль (удаление кристаллизационной и частично конституционной воды); 42 кДж/моль (удаление кристаллизационной и оставшейся конституционной воды); 11 кДж/моль (удаление кристаллизационной воды).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЕРИДОТИТ-БАЗАЛЬТ- $(K, Na)_2CO_3-H_2O$  ПРИ  $P = 4$  ГПА,  $T = 1400^\circ C$ : ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И КРИТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РАСПЛАВОМ И ФЛЮИДОМ.

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

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

При поддержке гранта РФФИ 17-05-00930а

Фазовые и критические соотношения изучены экспериментально в системе перидотит-базальт- $(K, Na)_2CO_3-H_2O$  – экспериментальной модели мантийного резервуара с протолитами субдуцированной океанической коры при  $T = 1400^\circ C$ ,  $P = 4$  ГПа. Использовалась многоампульная методика с Pt-перидотитовой ампулой. Специально приготовленная перидотитовая ампула, заполненная исходной шихтой (базальт (80 мас.%),  $Na_2CO_3$  и  $K_2CO_3$  (10 мас.%), дистиллированная  $H_2O$  (10 мас.%)) помещалась в Pt ампулу, которая герметически заваривалась. Продукты экспериментов изучались на микросонде. Образцы имели зональное строение. Особенности текстуры и фазового состава свидетельствуют о достижении критических соотношений между расплавом и флюидом. Наружная, перидотитовая часть исходного образца состояла из *Ol*, *Orx* рестита дезинтегрированной перидотитовой ампулы, новообразованных *Srx*, *K-Amf*, *Phl* и Al-Si глобулей. В рестите наблюдались реакционные соотношения с замещениями типа  $Ol \leftarrow Orx \leftarrow Srx \leftarrow K-Amf$  обусловленные взаимодействием с надкритическим флюидорасплавом и его высокой химической активностью. Внутренняя часть, в исходном образце заполненная шихтой, состояла из спрессованной смеси микронного размера частиц силикатного и карбонатного состава. Особенности текстуры и фазового состава образцов при надкритических  $P-T$  позволяют сделать вывод о зональном строении резервуаров с протолитами субдуцированной океанической коры.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТВОРИМОСТИ ЦИРКОНА И ЛОПАРИТА В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

**Котельников А.Р., Коржинская В.С., Сук Н.И., Ван К.В., Вирус А.А. (ИЭМ РАН)**  
kotelnik@iem.ac.ru; тел. +7(496)52-25857

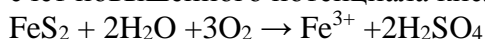
Растворимость циркона в алюмосиликатном расплаве экспериментально исследовалась при  $T = 1000^{\circ}\text{C}$  и  $P = 2$  кбар в присутствии воды или раствора 1М KF. В опытах использовали синтезированный в гидротермальных условиях циркон и предварительно наплавленные алюмосиликатные стекла с разной агпаитностью (от 0.81 до 2.5). Показано, что с ростом коэффициента агпаитности ( $K=(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$ ) расплава растворимость циркона увеличивается в 10 и более раз (при максимальной агпаитности). Установлено, что агпаитность расплава оказывает более сильное влияние на растворимость циркона, чем присутствие фтора.

Растворимость лопарита в алюмосиликатном расплаве различного состава экспериментально изучалась при  $T=1200$  и  $1000^{\circ}\text{C}$  и  $P=2$  кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас.%  $\text{H}_2\text{O}$ . Исходным материалом служили искусственные стекла малиньитового и эвтектического альбит-нефелинового состава, а также природный лопарит Ловозерского массива. Установлено, что растворимость лопарита зависит от состава алюмосиликатного расплава. Оценены коэффициенты разделения ряда элементов между силикатным расплавом и кристаллами лопарита ( $K_i=C_i^{\text{melt}}/C_i^{\text{lop}}$ ).

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ШУНГИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Котельников А.Р., Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН), Криночкина О.К. (НИУ МГСУ)**  
[kotelnik@iem.ac.ru](mailto:kotelnik@iem.ac.ru); тел. +7(496)52-25857

В ходе полевых сезонов 2016 и 2017 г.г. проведено опробование и отбор проб поверхностных вод на шунгитовых месторождения Заонежья (Максовское и Зажогинское). Растворы проанализированы на содержание главных, малых и примесных элементов методами ААС и ИСП-МС. Показано, что ведущим механизмом перевода тяжелых металлов в растворимые формы является окисление сульфидов (в основном пирита) в приповерхностных условиях за счет повышенного потенциала кислорода и присутствия дождевых вод по реакции:



Образующаяся кислота способствует растворению рудных сульфидов (пентландита, халькопирита, сфалерита и др.), а также фосфатов редких земель, и обогащению природных вод такими компонентами, как редкоземельные элементы, кобальт, никель, цинк, кадмий, медь и др. Для Максовского месторождения показано превышение ПДК для таких элементов как Li (7); Be (3); Mg(2); Ti (5); Cr (4.5); Mn (63); Fe (460); Co (4.5); Ni (370); Cu (175); Zn (520); Cd (17.5); Tl (32); Pb (1.5); U (30) – в скобках указана величина (С<sub>i</sub>/ПДК). Для Зажогинского месторождения превышение ПДК зафиксировано только для следующих элементов: Mn(15); Fe (4); Ni (16); Zn (12). Разработка Зажогинского месторождения в значительно меньшей степени загрязняет поверхностные воды, чем разработка Максовского.

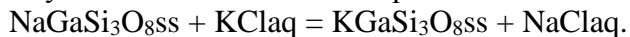


**ВЕСЭМПГ – 087**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГАЛЛИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ**

**Котельников А.Р., Ахмеджанова Г.М., Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Щипалкина Н.В. (геол. ф-т МГУ), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Ковальская Т.Н., Ван К.В. (ИЭМ РАН)**  
[kotelnik@iem.ac.ru](mailto:kotelnik@iem.ac.ru); тел. +7(496)52-25857

Изучены катионообменные равновесия в системе галлиевый полевой шпат – флюид:



Опыты проводили по ампульной методике при  $T = 550^\circ\text{C}$  и давлении 1.5 кбар. На основании данных о межфазовом распределении натрия и калия, а также границах области распада твердого раствора рассчитаны избыточные энергии смешения.

Проведено уточнение параметров элементарных ячеек синтетических галлиевых щелочных полевых шпатов. Показано, что натровые полевые шпаты относятся к структурному типу C1, а калиевые разности – к C2/m. Приводятся концентрационные зависимости параметров элементарных ячеек. Рассчитаны избыточные объемы смешения твердого раствора полевых шпатов. Проводится сравнение функций смешения галлиевых полевых шпатов с другими твердыми растворами каркасных алюмосиликатов.

ЖИДКОСТНАЯ НЕСМЕСИМОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ РУДОГЕНЕЗА

**Котельников А.Р. Шаповалов Ю.Б. Сук Н.И. (ИЭМ РАН),  
Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Коржинская В.С. (ИЭМ РАН)**  
[kotelnik@iem.ac.ru](mailto:kotelnik@iem.ac.ru); тел. +7(496)52-25857

Представлены результаты экспериментального исследования фазовых отношений и распределения элементов в системах силикатный расплав – солевой (карбонатный, фосфатный, фторидный, хлоридный) расплав, силикатный расплав I – силикатный расплав II, а также во флюидно-магматических системах в присутствии фторидов щелочных металлов. Исследована солевая экстракция целого ряда рудных элементов (Y, PЗЭ, Sr, Ba, Ti, Nb, Zr, Ta, W, Mo, Pb) в процессах жидкостной несмесимости в широком интервале температур 800-1250°C и давления 1–5.5 кбар. Показано, что коэффициенты разделения достаточны для концентрирования рудных элементов в количестве, необходимом для генезиса рудных месторождений. Во флюидонасыщенном расплаве трахириолита получено расслоение на две силикатные жидкости, определены коэффициенты разделения ряда элементов (Sr, La, Nb, Fe, Cr, Mo, K, Rb, Cs) между фазами L<sub>1</sub> и L<sub>2</sub>. Изучены процессы взаимодействия гетерофазного флюида в системе гранит (кварц) – рудный минерал – гетерофазный флюид (Li,Na,K- фторид) при 650–850 С и P=1 кбар. Показано образование фазы высокощелочного флюидонасыщенного силикатного расплава – концентратора Ta и Nb, в результате реакции флюида с породой и рудными минералами.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ШУНГИТОВ ЗАОНЕЖЬЯ**

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

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

Проведено изучение составов минералов из шунгитовых и вмещающих пород Максковского месторождения (Заонежье, Южная Карелия). Проведено изучение флюидных включений в кварцах из шунгитов и лидитовых вмещающих пород. На основе этих данных оценены параметры минералогенеза шунгитов Максковского месторождения.

Экспериментально изучены процессы выщелачивания литофильных, сидерофильных и халькофильных элементов из шунгитов. Оценено влияние температуры, кислотности среды и потенциала кислорода на гидролитическую устойчивость шунгитов. Показана корреляция состава шунгита и составов поверхностных вод Максковского месторождения.

Изучена сорбционная способность шунгитового материала, оценена возможность использования шунгитов как сорбента.

**ВЕСЭМПГ – 090**

## **СИНТЕЗ AS-СОДЕРЖАЩИХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ И ФЕЛЬДШПАТОИДОВ**

**Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Щипалкина Н.В. (геол. ф-т МГУ), Сук Н.И. (ИЭМ РАН)**  
[kotelnik@iem.ac.ru](mailto:kotelnik@iem.ac.ru); тел. +7(496)52-25857

Синтезированы полевые шпаты с изоморфным замещением  $2\text{Si}^{4+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+} + \text{As}^{5+}$ , синтетические аналоги филатовита  $\text{KAl}_2\text{SiAsO}_8$ . Исходными материалами служило стекло филатовитового состава, полученное сплавлением метаарсената калия ( $\text{KAsO}_3$ ) и геля силлиманита ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) при  $1300^\circ\text{C}$  в течении 6 часов. Опыты проводили при температуре  $600\text{-}650^\circ\text{C}$ , давлении 1-1.5 кбар в золотых ампулах. Для поддержания необходимого потенциала кислорода в ампулы добавляли 10% раствор  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Опыты проводили на гиротермальных установках с внешним нагревом и холодным затвором. Точность регулировки и контроля температуры  $\pm 5^\circ\text{C}$ , давления  $\pm 50$  бар. Продукты опытов изучали рентгенофазовым и микронзондовым методами. В продуктах опытах фиксировалась смесь фаз, состоящая из кристаллов филатовита, As-содержащего кальсилита, и райтита ( $\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}[\text{AsO}_4]_2$ ). Приводятся составы фаз и рентгеновские данные.

**ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОЛОГИИ**

**Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Сук Н.И. (ИЭМ РАН),  
Граменицкий Е.Н. (геол. ф-т МГУ)**  
kotelnik@iem.ac.ru; тел. +7(496)52-25857

Активное развитие экспериментальных методов исследования минералого-петрологических задач началось в нашей стране примерно полвека назад. В это время были созданы центры экспериментальных исследований – в Ленинграде, Киеве, Москве, Черногловке, Новосибирске, Иркутске, Якутске, Владивостоке. Успешно решались задачи по изучению свойств флюидов, расплавов, флюидно-магматических систем, свойств твердых растворов минералов и др. Моделировались процессы метасоматоза, метаморфизма и гидротермальных равновесий минеральных парагенезисов. Большое внимание уделялось гидротермальным процессам – исследованию транспорта рудного вещества, росту кристаллов, моделированию равновесий в системах минерал – водный раствор. К настоящему времени мы подошли к новым рубежам в изучении вещества и эндогенных процессов. Поэтому нам хочется сформулировать новые перспективные проблемы и задачи.

Изложение целесообразно разбить на подразделы: (1) научные проблемы (2) прикладные (3) методические (4) технические задачи. В докладе излагается наш взгляд на пути и методы развития экспериментальной петрологии.

**ВЕСЭМПГ – 092**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАСТВОРИМОСТЬ ОКСИДА НИОБИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРАХ NaCl И LiCl**

**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  $T=300 - 500^{\circ}\text{C}$ ,  $P=100$  МПа в хлоридных растворах NaCl и LiCl с концентрацией 0,1 и 1,0 м в присутствии кислородного буфера Co-CoO. Установлено, что в хлоридных растворах различного катионного состава (NaCl и LiCl) температурная зависимость растворимости Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в интервале температур 300-550°C, P=100 МПа, буфер Co-CoO слабо выражена. Растворимость ниобия низкая и находится в пределах  $10^{-5}$  моль/кг H<sub>2</sub>O.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ Fe-Mg 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](mailto:an.koshlyakova@gmail.com) тел.: 8 (909) 669 65 77

*Работа поддержана грантом РФФИ 17-05-00856-а*

Была проведена серия экспериментов для изучения распределения  $Fe^{2+}$ -Mg между оливином и силикатным расплавом с высоким содержанием щелочей. Для того чтобы избежать погрешностей, связанных с расчетом  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  в расплаве, эксперименты проводились в восстановительных условиях (IW-2.5), что позволило достичь пренебрежимо малых содержаний  $Fe^{3+}$  в расплаве.

Эксперименты проводились при температурах 1300 и 1350°C при 1 атм, методом петли. Для поддержания высокими содержания K и Na в расплаве образцы закреплялись внутри кварцевого контейнера, на дне которого располагался источник щелочей. Использовалось 4 типа источников – K, Ca-K, K-Na и Na. Главная идея заключалась в поддержании состава источника постоянным, для того, чтобы образцы в течение эксперимента подвергались одинаковому давлению паров щелочей. Ранее было показано, что в окислительных условиях (NNO) состав источников остается постоянным (Кошлякова, 2018). В ходе настоящей работы было проверено, что в восстановительных условиях состав источников также остается постоянным и располагается на ликвидусе.

В результате было получено более 30 равновесных пар оливин-расплав (3-8%  $K_2O$  и до 4%  $Na_2O$  в расплаве). Полученные данные были использованы для моделирования Mg-Fe распределения между оливином и расплавом.

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ МЕТОДОМ ПЕТЛИ: ОСНОВА ДЛЯ УТОЧНЕННОГО ОЛИВИН-РАСПЛАВНОГО  $Fe^{2+}$ -Mg ГЕОТЕРМОМЕТРА.**

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

[spkrashennnikov@mail.ru](mailto:spkrashennnikov@mail.ru), тел.: 8 (499) 1375836

*грант РФФИ № 17-05-00856*

Распределение  $Fe^{2+}$  и Mg между оливином, как наиболее ранней мантийной фазой, и расплавом в области высоких температур представляет особый интерес для мантийной петрологии.

Эксперименты проводились методом петли при температурах 1200-1500°C и значениях фугитивности кислорода от 1.5 до 3 лог.ед. ниже буфера железо-вюстит для минимизации содержаний  $Fe^{3+}$  в расплаве. 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 проволоки из железа (чистота 99,5%) в качестве контейнера, полученные в ходе экспериментов оливины обладают гомогенным составом.

В результате проведенных опытов с использованием железной проволоки получено более 80 равновесных пар оливин-расплав с пренебрежительно низкими содержаниями трехвалентного железа, что позволит провести оценку правильности существующих моделей численного моделирования. Уравнение зависимости коэффициента распределения  $Fe^{2+}$ -Mg между оливином и расплавом, полученное методом многомерной регрессии данных имеет вид линейной функции с коэффициентом  $r^2=0.993$ . С целью уточнения модели и расширения диапазона исходных составов были проведены новые эксперименты в области как более высоких, так и пониженных содержаний  $TiO_2$ .



КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В СОСТАВЕ  
МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНЕ

**Крашенинников С.П., Портнягин М.В. (ГЕОХИ РАН), Бочарников Р.Е. (JGU, Майнц),  
Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН), Щербаков В.Д. (МГУ)**

[spkrasheninnikov@mail.ru](mailto:spkrasheninnikov@mail.ru) тел.: +7 (499)1375836

*РФФИ №18-35-00497, проект DESY №I-20170875 и DFG №Bo2941/4-1.*

Новые методы изучения расплавных включений позволяют проводить моделирование не только состава расплава и условий кристаллизации, но и времени протекания процессов [напр., Newcombe et al., 2014].

В данной работе использованы капли оливина пиллоу-лавы вулкана Лоихи (Гавайи), а так же, магнезиальных базальтов вулкана Ключевской (Камчатка). Было проведено 32 кинетических эксперимента в трубчатой печи Nabertherm в ГЕОХИ РАН с выдержкой от 5 минут до 12 часов при температурах 1180, 1230 и 1280 °С и атмосферном давлении в газовой смеси Ar-H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>, соответствующей dFMQ от -1 до +3 л.е.. Составы 100 расплавных включений были изучены методом микронзондового анализа. Для 28 из них методом микроконфокальной XANES-спектроскопии определено валентное состояние атомов Fe в стекле.

Новые экспериментальные данные свидетельствуют о быстром переуравновешивании отношения Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> в расплавном включении в зависимости от окружающей газовой атмосферы (до 25 отн.% за первый час) и необходимости аккуратного подхода к определению мантийных окислительно-восстановительных условий по составу стекловатых расплавных включений.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ  
МАНТИИ И РАЗМЕРЫ ЯДРА ЛУНЫ

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

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

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-05-00225) и программы Президиума РАН № 17*

С помощью совместной инверсии сейсмических (скорости сейсмических волн по данным «Аполлон») и гравитационных (масса и момент инерции) данных и метода минимизации свободной энергии Гиббса для расчета фазовых равновесий исследовано влияние термального состояния на модели химического состава мантии и размеры Fe-S ядра Луны. Показано, что вне зависимости от распределения температуры, концентрации FeO составляют ~11-14 мас.%, значения магнезиального числа MG# 80-83 примерно одинаковы в верхней, средней и нижней мантии Луны, но значительно отличаются от значений для валового состава силикатной Земли (FeO ~ 8% и MG# 89). Оценки содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в мантии существенно зависят от распределения температуры. Для «холодных» моделей валовая распространенность оксида алюминия в Луне составляет Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~ 1-1.2 × BSE, для «горячих» моделей – 1.3–1.7 × BSE.

Оценки радиуса Fe-S ядра со средней плотностью 7.1 г/см<sup>3</sup> и содержанием серы 3.5-6 мас.% находятся в интервале 50-350 км с наиболее вероятным значением около 300 км и довольно слабо зависят от теплового режима Луны.

**СОГЛАСОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЧАСТИЧНО  
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ТИТАНА С ДАННЫМИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ И  
ХОНДРИТОВЫМ СОСТАВОМ ЖЕЛЕЗО-КАМЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ**

**Кронрод В. А., Дунаева А.Н. (ГЕОХИ), Гудкова Т.В. (ИФЗ), Кусков О.Л. (ГЕОХИ)**

ya\_kronrod@mail.ru, тел. 8-903-109-98-54

*Исследования проведены при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00685), Программы Президиума РАН № 28.*

Рассмотрена проблема согласования моделей внутреннего строения частично дифференцированного Титана с числами Лява  $k_2$  и хондритовым составом железокаменной компоненты спутника. Из экспериментальных величин чисел Лява однозначно следует присутствие под ледяной оболочкой водного океана. В соответствии с фазовой диаграммой воды, тепловыделением железокаменной компоненты LL хондритов и экспериментальными числами Лява это условие выполняется для величин мощности ледяной оболочки  $130 < N_h < 170$  км, поверхностном тепловом потоке  $4.77 > F_{min} > 3.1$  мВт/м<sup>2</sup> и числе Лява  $k_2 = 0.42 - 0.5$ ; мощность океана  $N_w < 170$  км. Определены предельные глубины водного океана для CI хондритового состава железокаменной компоненты. Присутствие NH<sub>3</sub> в воде до 10% слабо влияет на мощность ледяной оболочки из льда  $I_h$ . Момент инерции для моделей частично дифференцированного Титана с чисто водным океаном имеет ограничения:  $0.31 < I < 0.352$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ЭПГ И ЗОЛОТА В СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦАХ  
СОСТАВА РУД И ПОРОД: АНАЛИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Кубракова И.В., Тютюнник О.А., Набиуллина С.Н., Гребнева-Балюк О.Н., (ГЕОХИ  
РАН)**

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

Систематизированы разработанные авторами методики определения следовых содержаний ЭПГ и золота ( $1n-1000n$  ppb) в геохимических объектах, включающие различные способы пробоподготовки, концентрирования и инструментального определения (ИСП-АЭС, ЭТААС, ИСП-МС). Приведена краткая характеристика использованных методов, проиллюстрированы аналитические возможности применения предложенных подходов при решении ряда фундаментальных и прикладных геохимических задач.

Для оценки метрологических характеристик методик использованы стандартные образцы состава (СОС) платиновой руды SARM-7B, золото-мышьяковистой углеродсодержащей руды СОП-3-СР, руды сульфидной медно-никелевой ВТ-1 и Ж-3, концентрата никелевого КН-1, железомарганцевых корок GSMC-1, GSMC-2, CDO-4, CDO-5, а также образцы Международной программы тестирования геоаналитических лабораторий GeoPT (перидотит ОРУ-1, гарцбургит HARZ-01, железомарганцевая конкреция FeMn-1). Методики применены для анализа пород океанического ложа (железомарганцевых конкреций и корок, абиссальных перидотитов срединно-океанических хребтов), малосульфидных руд (Норильский регион), метеоритного вещества (Челябинский и др. метеориты) и других природных объектов.

**ОТОБРАЖЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛЮИДА В ЗЕМНОЙ КОРЕ  
ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ**

**Кузин А.М. (ИПНГ РАН)**

[amkouzin@ya.ru](mailto:amkouzin@ya.ru) тел. 89169075314

Сейсмический метод позволяет получать качественную и количественную информацию о упругих свойствах и их распределении в среде, этим обусловлена его ведущая роль в исследовании глубинного строения. С позиции сейсмического метода геологическая среда состоит из «мягких» и «жестких» неоднородностей. Неоднородности могут быть распределены: организовано; частично или квазиорганизовано; хаотично. Флюид существенно влияет на упругие свойства и соответственно меняет сейсмический образ геоструктур. Отражения от них могут быть динамически интенсивными - содержащими флюид преимущественно в жидкой фазе или слабоинтенсивными – содержащими газ. Помимо динамических параметров и характеристик под воздействием флюида изменяются скорости сейсмических волн. На основании этих сейсмических эффектов в консолидированной коре выделена вертикальная и горизонтальная флюидная зональность. Флюидная зональность в консолидированной коре проиллюстрирована на данных полевых наблюдений МОВ-ГСЗ. Верхняя часть консолидированной коры содержит флюид преимущественно в газовой фазе, нижняя часть преимущественно в жидкой фазе.

**О ВЗАИМОСВЯЗИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛЮИДА В ЗЕМНОЙ КОРЕ С ГЕОПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

**Кузин А.М. (ИПНГ РАН)**

[amkouzin@ya.ru](mailto:amkouzin@ya.ru) тел. 89169075314

Содержание флюида в различном агрегатном состоянии существенно влияет на упругие свойства этого распределения и соответственно меняет сейсмический образ геоструктур. Отражения от них могут быть динамически интенсивными - содержащими флюид преимущественно в жидкой фазе. Образование динамически интенсивных отражений в различных геологических средах связано со значительным уменьшением эффекта рассеяния жидкостью. Образование в нижней части консолидированной коры областей интенсивной сейсмической записи (зона рефлексивности) может быть объяснена только за счет присутствия флюида в жидкой фазе. Флюидная зональность позволяет объяснить распределение очагов землетрясений в земной коре на основе дилатансионно-диффузной модели очага. В очаговой зоне увеличение содержания газовой фазы эквивалентно росту напряжений. Флюидная зональность подтверждает взаимосвязь месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса с глубинным строением. Под месторождениями в консолидированной коре фиксируются области слабоинтенсивной записи

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕСЧАНО-ГЕЛЕВОГО МАТЕРИАЛА  
КАК ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА ДЛЯ КАДМИЯ

**Кулешова М.Л. (геол. ф-т МГУ), Данченко Н.Н. (Почвенный институт  
им. В.В. Докучаева)**

rita5715@mail.ru тел.: 8 916 684 73 83; nataly\_danch@mail.ru тел. 8 905 702 28 85

Вертикальные и горизонтальные песчано-гелевые экраны, сооружаемые путем инъекции алюмосиликатного золя в грунт, могут служить не только недорогим противofильтрационным, но и противомиграционным барьером на пути техногенных загрязнителей. Целесообразность их использования на тех или иных объектах, являющихся источниками загрязнения, определяется в первую очередь иммобилизующей способностью песчано-гелевого материала в отношении основных загрязнителей, сопряженных с объектом. Проведены лабораторные исследования поглощающей способности (N) различных видов песчано-гелевого материала (ненарушенной и нарушенной структуры, с просушкой и без) в динамическом режиме в отношении одного из самых опасных загрязнителей - кадмия.

Получены «выходные кривые» и рассчитаны величины поглощающей способности для различных видов песчано-гелевого материала (ПГМ), дана их сравнительная оценка. Дана оценка вкладов осаждения гидроксида и собственно адсорбции в общий процесс иммобилизации кадмия для каждого вида ПГМ. Оценены влияния скорости фильтрации раствора и исходной концентрации кадмия на величину поглощающей способности. Проведенные исследования показали перспективность использования ПГМ в качестве геохимического барьера по отношению к кадмию.

РАСТВОРИМОСТЬ И ФОРМЫ РАСТВОРЕНИЯ N–C–H–O ЛЕТУЧИХ В FeO–Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> РАСПЛАВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕТУЧЕСТИ ВОДОРОДА ПРИ 1.5 ГПа и 1400°C.

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

[Kurum46@mail.ru](mailto:Kurum46@mail.ru) тел.: 8 (495) 939 70 05

*Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-05-00713*

Проведены эксперименты по исследованию равновесий N–C–H–O летучих компонентов с расплавами модельного состава FeO–Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при 1.5 ГПа и 1400° С в условиях контролируемой летучести водорода ( $f_{H_2}$ ) с целью определения влияния  $f_{H_2}$  на содержание и формы нахождения N–C–H–O летучих в силикатных расплавах указанного состава. Данная работа проводится в дополнение к более ранним исследованиям авторов в ферробазальтовой системе при аналогичных  $t$ – $P$ – $f_{H_2}$ -условиях экспериментов.

Эксперименты выполнены на установке типа цилиндр–поршень. Для регулирования  $f_{H_2}$  использованы двухкамерные Pt капсулы с исследуемым образцом и графитовым диском в верхней камере и кислородным буфером с добавкой воды в нижней камере. В качестве буферных систем использовались Fe–FeO, W–WO<sub>2</sub>, Co–CoO и Ni–NiO.

Продукты экспериментов, представляющие собой прозрачные темнокоричневые стекла с включениями глобулей сплава металла, анализировались методами электронного микронного анализа и Фурье–ИК спектроскопии.



**МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНЕЗЕМНОГО ВЕЩЕСТВА ПО  
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

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

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

*Работа частично поддержана Программой № 28 Президиума РАН*

По результатам термолюминесцентных исследований метеоритов и образцов-находок неизвестного генезиса разработана методика, позволяющая установить земное или космическое происхождение изучаемого объекта.

В минеральных компонентах метеоритов под действием космического излучения накапливаются следы радиационных нарушений, которые при нагреве вещества обуславливают термолюминесцентное свечение. Сравнение термолюминесцентных характеристик находки (интенсивность свечения, положение максимума и характерные особенности кривой высвечивания) с таковыми для метеоритов разных химических классов использованы для установления возможности внеземного происхождения найденного объекта. Для метеоритов нами определена область с положительной корреляционной зависимостью естественной термолюминесценции и наведенной в лабораторных условиях рентгеновским излучением. Таким образом, для исследуемого образца необходимо провести измерения естественной и наведенной рентгеновским излучением термолюминесценции и по их соотношению определить принадлежность к области метеоритов.

В данной работе представлены термолюминесцентные исследования для большой группы метеоритов и образцов-находок неизвестного происхождения.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА В ТЯЖЕЛЫХ И ЛЕГКИХ ФРАКЦИЯХ ИЗ ЭНСТАТИТОВОГО ХОНДРИТА Adhi Kot EN4.

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

[lavza@mail.ru](mailto:lavza@mail.ru) тел. 8-496-52-2-19-88

Методом ИНАА определены содержания микроэлементов в разделенных по плотности минеральных фракциях из неравновесного энстатитового хондрита Adhi Kot EN4. Анализ данных по распределению микроэлементов в тяжелых фракциях ( $\rho > 4.18 \text{ г см}^{-3}$ ) выделенных из энстатитового хондрита Adhi Kot EN4 показал, что фракции обеднены летучими литофильными элементами Na, K и тугоплавким элементом Sc, но обогащены Cr. Большая часть тонкозернистых фракций обеднена La и Sm, но сильно обогащена Eu, что свидетельствует о положительных Eu – аномалиях в этих фракциях. Возможно, положительные Eu аномалии ассоциируют с одним из сульфидов.

Тонкозернистые немагнитные фракции с меньшей плотностью ( $\rho < 4.18 \text{ г см}^{-3}$ ) обогащены Na, легкими редкоземельными элементами La, Sm и Eu и обеднены тугоплавким Sc. Во всех фракциях с  $\rho < 4.18 \text{ г см}^{-3}$  наблюдается обеднение сидерофильными элементами Fe, Ni и Co. Предполагается, что такое распределение литофильных и сидерофильных элементов в немагнитных фракциях неравновесного хондрита Adhi Kot EN4 связано с небулярным фракционированием металл – силикат и последующим термальным метаморфизмом и частичным ударным переплавлением (потеря Sc и Cr).

Во фракциях с одинаковой плотностью ( $2.9 < \rho < 3.0 \text{ г см}^{-3}$ ), но с разными размерами зерен, наблюдается явно противоположное распределение микроэлементов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЗОЛОТА В ПИРИТЕ ПРИ УЧАСТИИ СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНО-УГЛЕКИСЛОТНЫХ ФЛЮИДОВ

**Лаптев Ю.В. (ИГМ СО РАН)**

[laptev@igm.nsc.ru](mailto:laptev@igm.nsc.ru) тел.: 8 (903) 904 6345

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

Хорошо известна и активно обсуждается проблема влияния углекислоты в качестве фактора контролирующего перенос и осаждение золота на многих природных объектах гидротермального типа. Впервые проведено сравнительное экспериментальное изучение растворения и распределения золота между пиритом и сульфатно-хлоридным флюидом с углекислотой и без нее при температуре 340°C и P = 400 – 440 бар. Состав водного раствора: 22 мас. % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 2,2 мас. % NaCl. В системе с углекислотой мольная доля CO<sub>2</sub> составила величину X<sub>CO<sub>2</sub></sub> = 0,22. Пирит присутствовал в качестве новообразованной фазы при ее синтезе из исходно загруженных Fe(мет) и S(эл). Опыты проведены по автоклавной методике на установке УВД – 2000, разработанной и созданной совместно с Институтом экспериментальной минералогии РАН. В отсутствии справочных данных по P-V-T зависимостям смешанных флюидов взятого состава загрузка водного раствора и жидкой CO<sub>2</sub> соответствовала построенным нами специально зависимостям в P-T координатах. Обнаруженная высокая растворимость Au в гидротермальной сульфатно-хлоридной системе с пиритом в присутствии углекислоты и без нее (на уровне 10 – 14 ppm) соответствует действию потенциалопределяющего сульфатно-сульфидного равновесия. При совместном растворении золота и синтеза пирита создаются условия для интенсивного концентрирования Au в новообразованной сульфидной фазе с коэффициентом распределения  $K_{Au} = C_{Au(solid)}/C_{Au(solution)}$  равным 62 в системе без углекислоты и который повышается до 327 в гидротермальных системах в ее присутствии. Впервые предпринятое исследование состава газовой фазы из автоклавных опытов методом масс-хроматографии показало присутствие совместно с CO<sub>2</sub> целого спектра дополнительных форм: H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, COS, CH<sub>4</sub>S, CS<sub>4</sub>.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДЫ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ**

**Лебедев Е.Б. (ГЕОХИ РАН).**

leb@geokhi.ru ; тел.: 8 (495) 939 78 40

Один из геохимических подходов к изучению природы сейсмической неоднородности литосферы связан с выявлением роли летучих компонентов в изменении ее вещественного состава, фазового и физического состояния пород. Как показали экспериментальные исследования, структурные изменения пород должны оказывать существенное влияние на их геофизические свойства.

В настоящей работе (под давлением воды до 5 кбар и температурах до 1000 С) исследованы растворимость, электропроводность, вязкость, поверхностное натяжение, скорости упругих волн в следующих образцах пород: амфиболит, обсидиан, гранит, базальт, пироксенит, дунит, серпентинит.

Опыты проводили в газовом аппарате с внутренним нагревом, описанном в книге Кадик А.А., Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И. Вода в магматических расплавах. М.: Наука. 1971.

В результате экспериментальных и теоретических исследований показано, что водные флюиды могут существенно влиять на физическое состояние глубинных пород и проявляться в их структурном изменении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГРОССУЛЯР-ПИРОП-ЭНСТАТИТ + H<sub>2</sub>O-KCl ПРИ 3 И 5 ГПА.

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

[limanov.ev@iem.ac.ru](mailto:limanov.ev@iem.ac.ru) тел.: 8 (985) 619-65-32

Поддержка: НИР АААА-А18-118020590148-3

В работе представлены результаты экспериментального исследования реакции образования флогопита в системе гроссуляр-пироп-энстатит + H<sub>2</sub>O-KCl при 3 ГПа и 850°C, а также при 5 ГПа и 1000°C. Установлено, что с увеличением количества соли во флюиде происходит разложение Al-содержащих минералов, таких как энстатит и гранат, а также образование флогопита и диопсида. С ростом X<sub>KCl</sub> во флюиде количество алюминия в энстатите снижается, а количество хлора во флогопите увеличивается. Замечено, что в экспериментах при X<sub>KCl</sub> = 0.05, 0.1 T = 1000°C, а также в экспериментах при X<sub>KCl</sub> = 0.1 T = 850 °C, X<sub>Grs</sub> в гранате возрастает, что объясняется реакцией  $Di + 0.8CaTs + 0.3KCl + 0.2H_2O = 0.6Grs + 0.2Phl + 0.2Cl-Phl$ . При X<sub>KCl</sub> = 0.2 и 0.4 X<sub>Grs</sub> в гранате уменьшается, что объясняется реакцией  $0.3Grs + 1.3Prp + 1.3KCl + 0.7H_2O = CaTs + 0.7Phl + 0.7Cl-Phl$ . Установленные эффекты являются хорошими показателями активности KCl во флюиде в ходе процесса модального мантийного метасоматоза.

МИКРО- И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ Fe-Ni-P-S АГРЕГАТЫ В ЖЕЛЕЗНОМ МЕТЕОРИТЕ ЭЛЬГА: СВИДЕТЕЛЬСТВА ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ СВЫШЕ 20 ГПа

Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН), Теплякова С.Н. (ГЕОХИ РАН), Шацкий А.Ф.,  
Подгорных Н.М. (ИГМ СО РАН)

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

*Работа выполнена при поддержке РФФ (№17-17-01177)*

Приводятся результаты исследования уникальных микро- и нанокристаллических Fe-Ni-P-S агрегатов, найденных в железном метеорите группы ПЕ Эльга, которые могли образовываться только при высоких давлениях и температурах в соответствии с экспериментальными фазовыми диаграммами. Валовый состав агрегатов и однородных зернистых образований соответствует твердому раствору  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ - $(\text{Fe,Ni})_3\text{S}$ . С увеличением давления содержание S в  $\text{Fe}_3(\text{P,S})$  возрастает, и в чистом виде фаза  $\text{Fe}_3\text{S}$ , изоструктурная шрейберзиту, стабильна при 20 ГПа (Gu et al., 2016). В установленных агрегатах состав меняется в интервале от  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}_{0.8}\text{S}_{0.2}$  до  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}_{0.4}\text{S}_{0.6}$ . Таким образом, Fe-Ni-P-S агрегаты из метеорита Эльга соответствуют давлениям не менее 10-20 ГПа. Структура нанокристаллических агрегатов и однородных кристаллов соответствует шрейберзиту согласно данным дифрактометрии отраженных электронов. Некоторые другие агрегаты соответствуют составам  $\text{Fe}_2\text{S}$ - $\text{Fe}_2\text{P}$ , которые также должны образовываться при высоких давлениях и температурах. Результаты работы имеют прямое отношение к интерпретации данных по уреилитам, где во включениях в алмазе установлены микровключения подобного  $(\text{Fe,Ni})_3(\text{S,P})$  состава (Nabiei et al., 2018).

## ПОЛИМОРФНЫЕ МОДИФИКАЦИИ МЕРРИЛЛИТА И Na-ФОСФАТОВ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Литасов К.Д., Арефьев А.В., Шацкий А.Ф. (ИГМ СО РАН), Грю С., Ирифунэ Т. (Университет Эхиме, Япония)

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

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№17-05-00851)

Проведены эксперименты по высокобарической трансформации фосфатов при давлениях 6, 15 и 20 ГПа с использованием многопуансонной техники. При 6 ГПа были исследованы составы, соответствующие мерриллиту и ферромерриллиту. Однако синтез при 1200-1400 °С не приводил к образованию мерриллита. Были синтезированы ортофосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , по структуре близкий к апатиту, брианит и панетит. Рамановская спектроскопия полученных фаз отвечала аналогам при атмосферном давлении.

После этого мы синтезировали мерриллит  $\text{Ca}_9\text{NaMg}(\text{PO}_4)_7$  из смеси фосфатов в эксперименте при 1 атм и 1450°С в течение 3 часов. Этот мерриллит а также смесь фосфатов с добавлением карбонатного флюса исследовалась при давлениях 15 и 20 ГПа и 1600°С. Изучение полученных образцов с помощью рамановской спектроскопии показало, что при 15 и 20 ГПа мерриллит имеет спектр, аналогичный туиту, что согласуется с наблюдениями в хондритовых и железных метеоритах (Xie et al., 2002; Litasov, Podgornykh, 2017). Скорее всего, эти фазы являются изоструктурными, а Mg и Na играют роль примесей в туите  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . К сожалению, в этих опытах не удалось получить крупных кристаллов высокобарической фазы мерриллита. Дополнительной фазой в опытах был фосфат с составом бухвальдита  $\text{Na}(\text{Ca}_{0.75}\text{Mg}_{0.25})\text{PO}_4$ . Рамановский спектр этого фосфата отличается от спектра бухвальдита при 1 атм. В образцах смеси фосфатов и карбонатного флюса при 15 и 20 ГПа мерриллит не кристаллизовался. Продуктами опытов были туит и Na-фосфат, по составу соответствующий брианиту  $\text{Na}_2\text{MgCa}(\text{PO}_4)_2$ . Рамановский спектр этой фазы не соответствовал брианиту при 1 атм, что свидетельствует о его трансформации в высокобарическую фазу. Растворителя в виде щелочно-карбонатитового расплава не образовывалось, так как все щелочи связывались в фосфаты. Карбонатная фаза была представлена магнезитом.

В результате проведенных опытов было установлено, что Na-карбонатный расплав не является флюсом при кристаллизации высокобарических фосфатов, так как Na связывается в фосфаты. Возможно, хорошим растворителем является карбонат калия, который и планируется использовать в последующих опытах. Вторым важным выводом является общий для всех исследованных фосфатов характер превращения в высокобарически фазы. При 15 ГПа все фосфаты (апатит, мерриллит, брианит, бухвальдит) имеют высокобарическую модификацию, которая сохраняется и при 20 ГПа. Апатит и мерриллит, по-видимому, действительно превращаются в изоструктурную фазу – туит, что было предположено на основании исследований фосфатов из ударно-расплавных жил в метеоритах.

U-Pb И Pb-Pb ДАТИРОВАНИЕ АПАТИТА ИЗ ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТОВ ГРУППЫ IAB  
МЕТОДОМ ВТОРИЧНО-ИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ (NanoSIMS)

**Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН), Сано Ю., Такахата Н., Мики Ц. (Токийский университет, Япония), Теплякова С.Н., Скрипник А.Я. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (№17-17-01177)*

Проведено исследование U-Pb возрастов фосфатов из железных метеоритов группы IAB методом нано-ВИМС (вторично-ионной масс-спектрометрии).  $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ - и  $^{207}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}$ -датировки были получены на приборе NanoSIMS 50 в Токийском Университете. В качестве стандарта использовали апатит из щелочных пород провинции Онтарио (Канада) возрастом  $1155 \pm 5$  млн. лет. Были измерены соотношения изотопов свинца в метеоритах Copiapo (IAB-MG, основная группа), NWA 6369 (sLL – низкие содержания Au и Ni), Udei Station, Woodbine, Маслянино (подгруппа промежуточная между sLL и sLM – низкие содержания Au и средние Ni) и аномального метеорита Sombrerete. Для всех метеоритов исследованы от 3 до 10 зерен апатита или раскристаллизованного фосфатного расплава (Sombrerete). Все исследованные апатиты имеют достаточно низкие концентрации  $\text{U} = 0.5\text{-}2.0$  ppm. Это затрудняло получение данных с минимальной ошибкой измерений. Полученные данные для всех метеоритов довольно плотно ложатся на изохрону возрастом  $4563 \pm 29$  млн лет. Однако без учета нескольких точек, которые отклоняются от основного тренда возраст составляет  $4532 \pm 24$  млн лет. Сравнение с данными Hf-W датировок для металла железных метеоритов группы IAB (Worsham et al., 2017) показывает, что формирование силикатов вероятно не было разорвано во времени с формированием металла. Большинство данных пересекаются в районе 3-6 млн. лет после формирования Ca-Al включений (CAI – наиболее раннего вещества Солнечной системы). Полученные данные согласуются с другими оценками дифференциации металлической и силикатной части метеоритов группы IAB (Hunt et al., 2018).



ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ХЛОРИДОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ СЕРПЕНТИНА ПРИ P-T УСЛОВИЯХ МЕТАМОРФИЗМА В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ: ДИФРАКЦИОННЫЕ И КР-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ IN SITU

**Лихачева А.Ю. (ИГМ СО РАН, ИЯФ СО РАН), Горяйнов С.В. (ИГМ СО РАН), Ращенко С.В. (ИГМ СО РАН, геол. ф-т НГУ, ИЯФ СО РАН), Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ), Анчаров А.И. (ИЯФ СО РАН)**

[alih@igm.nsc.ru](mailto:alih@igm.nsc.ru) тел.: 8 (383) 373 05 26

*Работа выполнена в рамках государственного задания (проект 0330-2016-0004), поддержана РФФИ (грант 18-05-00312).*

Дегидратация серпентина рассматривается как ключевой этап метаморфического преобразования гидратированных ультраосновных пород в зонах субдукции, вызывающий плавление пород мантийного клина и островодужный магматизм. В условиях низкой активности  $H_2O$ , обусловленной присутствием щелочных хлоридов в водном флюиде, температура дегидратации может снижаться до нескольких сотен градусов. Методами in situ рентгеновской дифракции и КР-спектроскопии исследовано поведение природного хризотила в присутствии NaCl при 100-400 °C и 10-40 кбар в нагреваемой алмазной ячейке. Температура начала разложения снижается более чем на 200 °C по сравнению с системой, не содержащей соль (400 °C), при этом в качестве продуктов реакции образуются только безводные фазы (форстерит, энстатит). Наблюдаемый температурный сдвиг может быть поводом для пересмотра тепловых градиентов внутри субдуцирующей литосферной плиты и локализации зон дегидратации.

Дифракционные измерения выполнены при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ.

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОВ ЗОЛОТА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗ РТУТНЫХ АМАЛЬГАМ НА ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПОДЛОЖКИ**

**Лобастов Б.М., Сильянов С.А. (ИГДГиГ СФУ)**

Lbm02@ya.ru тел.: 8 (923) 27 27 137

Роль ртути при добыче россыпного золота долгое время оставалась высокой. Часть техногенной ртути неизбежно попадала в окружающую среду, участвуя в различных процессах, приводящих, в том числе, к образованию новых минеральных фаз.

Для изучения подобных процессов был проведён ряд экспериментальных работ. Путём частичного растворения золота в ртути с последующим растворением образовавшейся амальгамы в кислотах были получены кристаллы золота и амальгам на естественных подложках.

При электронно-микроскопическом исследовании новообразований были установлены морфологические особенности кристаллов золота и золотых амальгам, а также определен химический состав побочных фаз, образовавшихся в ходе эксперимента.

В результате проведённых экспериментов собран материал, который планируется использовать для дальнейшего исследования и сопоставления с природными образованиями системы Au-Ag-Hg.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СИДЕРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ МЕТАЛЛОМ И  
ТОНКОЗЕРНИСТОЙ ФРАКЦИЕЙ ЭНСТАТИТОВЫХ МЕТЕОРИТОВ

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

[ajull@mal.ru](mailto:ajull@mal.ru) тел.: 8 (496)52 -219 88

Энстатитовые метеориты, представленные хондритами и дифференцированными ахондритами, сильно различаются по содержанию в них металла. С целью поиска признаков генетической взаимосвязи между этими группами метеоритов, рассмотрены данные по содержанию сидерофильных элементов в тонкозернистой и металлической фракциях хондритов EN4 и EL6 типов, а также ахондрита Norton County. Общей характеристикой состава этих фракций энстатитовых метеоритов является их обогащение золотом относительно других, более труднолетучих, элементов. Содержание сидерофильных элементов в тонкозернистой фракции энстатитового ахондрита значительно ниже их содержания в аналогичной фракции хондритов, что обусловлено общим низким содержанием металла в этой группе метеоритов. Также можно отметить гомогенность состава металла хондритов и отсутствие признаков заметного межэлементного фракционирования элементов в их тонкозернистых фракциях, тогда как в составе фракций ахондрита прослеживаются признаки магматической дифференциации вещества метеорита в период его образования. Подобие трендов фракционирования сидерофильных элементов в рассматриваемых фракциях энстатитовых метеоритов предполагает их образования из вещества близкого по составу и, возможно, на разной глубине единого родительского тела.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗОТОПОВ АРГОНА.

**Макаров В.П.** (геол. ф-т, РГГРУ, г. Москва)

[litology-kaf@mgpi-rggru.ru](mailto:litology-kaf@mgpi-rggru.ru). (495) 433- 56-77, доб. 11-78

Весь комплекс геологических наблюдений о поведении РГИИ (Радиогенные Изотопы и Изобары) в термоградиентных полях свидетельствует о возможности фракционирования их в природных условиях. Не последнее место среди них занимает и вопросы аргоновой диагностики. Проанализированы натурные и экспериментальные особенности распределений изотопов в триаде ( $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ), преимущественно в биотите, при высоких  $T$ . Распределение  $^{40(39)}\text{Ar}-T$  описывается параболическим уравнением, полный квадрат из которой имеет вид  $\ln(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}) \approx -A(1/T - 1/T_0)^2 + B$ . Здесь  $RTA = \Delta H_0$  – энтальпия возгона (растворения) изотопов  $\text{Ar}$ , т.е. теплота растворения примеси ( $\text{Ar}$ ) в минерале при температуре  $T^\circ\text{K}$ , соответствующая температуре кристаллизации минерала в природных условиях. Они связаны уравнением  $\Delta H_0 = 22,51T_0 - 10545$ .  $B = \ln(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0$ . Установлено, что в парах ( $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) и ( $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) отмечается линейная зависимость  $\ln(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}) = A \ln(^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}) + B$ , угловой коэффициент  $A \approx 1$  и не связан с «изохроной». Она является комбинацией уравнений-  $\ln(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}) \approx -A(1/T - 1/T_{01})^2 + B$  и  $\ln(^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}) \approx -C(1/T - 1/T_{02})^2 + D$ .

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

**Мальков Б. А. (СГУ, Сыктывкар), Куратов В. В. (Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар),  
Холопова А. Л. (ПИН РАН, Москва)**  
[malkov36@mail.ru](mailto:malkov36@mail.ru)

Периодическая система земных и лунных импактных событий представляет, по сути, их строгое космическое расписание от момента первых импактов в ранней солнечной системе и импактного рождения Луны ~ 4515 млн лет назад и продолжающихся в ослабленном виде поныне. Вся история импактных событий распадается на 21 галактический период длительностью по ~215 млн лет, в каждом из которых присутствует по 10 значимых импактов с интервалами между ними около  $20 \pm 2$  млн лет. Эти импакты образуют отдельные звенья гомологических цепочек (гомологических рядов). Вакансии в таких гомологических цепочках (рядах) позволяют прогнозировать новые астроблемы и диагностировать проблематичные импактные структуры.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ

**Мартынов К.В., Жаркова В.О., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН)**  
mark0s@mail.ru тел.: 8 (985) 777 59 43

Компрессионные характеристики глинистых барьерных материалов являются важными параметрами для обоснования безопасности объектов захоронения РАО, так как влияют не только на устойчивость конструкции объекта, но и на фильтрационные параметры барьеров. При насыщении глиняного барьера водой наиболее критичным компрессионным свойством будет набухаемость, возникающая из-за присутствия в барьерных материалах смектитовых минералов (монтмориллонита). Набухаемость под нагрузкой проявляется как упругая деформация, в отличие от пластичной деформации, свойственной для материалов, состоящих из ненабухающих глинистых минералов группы кандитов (каолинита). Набухаемость под нагрузкой или в ограниченном объеме численно выражается через давление набухания. Предложен новый метод для определения давления набухания. Приводятся результаты, полученные для разных бентонитов. Рассматриваются физические основы процесса и его влияние на деформацию и фильтрационные параметры глинистых барьерных материалов.

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОСФАТНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ РАО В УСЛОВИЯХ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ

**Мартынов К.В., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН), Некрасов А.Н., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Орлова В.А. (ФГУП "ПО"Маяк")**

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

Модельные эксперименты по медленному охлаждению фосфатного расплава, аналогичного по составу остеклованным РАО ПО «Маяк», подтвердили высокую вероятность его частичной кристаллизации с образованием стеклокристаллической матрицы. Главная кристаллическая фаза, образующаяся из модельного расплава, имела состав близкий к  $\text{Na}_3\text{Al}_2\text{P}_3\text{O}_{12}$ . Выщелачивание этой стеклокристаллической матрицы, содержащей имитаторы РАО, в статических условиях, характерных для глубинного захоронения, в присутствии бентонита (потенциального барьерного материала) при температурах 25 и 120°C показало, что предельные концентрации при выщелачивании главных компонентов и имитаторов РАО близки к тем, которые характерны для выщелачивания гомогенного стекла того же состава в аналогичных условиях. Сделан вывод, что фазовое состояние фосфатной матрицы не влияет на содержание компонентов в выщелатах в условиях глубинного захоронения.

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СИСТЕМЕ  $MgAl_2O_4 - MgCr_2O_4$  ПРИ ДАВЛЕНИИ 10–24 ГПа И ТЕМПЕРАТУРЕ 1600°C

Матросова 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](mailto:ekaterina.a.sirotkina@gmail.com)

Эксперименты по исследованию системы  $MgAl_2O_4 - MgCr_2O_4$  были проведены в Университете Эхиме (Мацуяма, Япония) на многопуансонном аппарате высокого давления. Главной целью экспериментов является установление условий и механизма образования, выявление структурных особенностей и эволюции состава постшпинелевых фаз в широком диапазоне давлений (10–24 ГПа) при постоянной температуре (1600°C) в модельной системе  $MgO-Al_2O_3-Cr_2O_3$ .

При 10–24 ГПа и 1600°C был изучен полный диапазон стартовых составов в ряду  $MgAl_2O_4$  (Sp)– $MgCr_2O_4$  (MChr) с шагом 2-3 ГПа, что позволило синтезировать постшпинелевые фазы широкого разнообразия составов. В зависимости от P-T условий основными фазами, полученными в опытах, являются  $Mg(Al,Cr)_2O_4$  со структурой шпинели, фаза  $Mg_2Cr_2O_5$  с модифицированной структурой людвигита (mLd),  $(Cr,Al)_2O_3$  эсколаит/корунд, постшпинелевые фазы  $Mg(Cr,Al)_2O_4$  со структурой типа титаната кальция (Ct) и  $Mg(Al,Cr)_2O_4$  со структурой феррита кальция (Cf), периклаз.

Фазовые ассоциации, полученные в опытах при 10-15 ГПа включают  $Mg(Al,Cr)_2O_4$  шпинель. Увеличение давления до 15 ГПа приводит к образованию ассоциации  $Mg_2(Al,Cr)_2O_5$  (mLd) и корунда. При давлении 18 ГПа в узком диапазоне стартовых составов (40–60 мол. % MChr) в равновесии с постшпинелевой фазой  $Mg(Cr,Al)_2O_4$  (Ct) присутствуют mLd и Cor. Уменьшение содержания хрома в стартовом составе (0–40 мол. % MChr) приводит к образованию фаз mLd+Cor+periclase (Per) по реакции:  $MgO$  (Per)+ $(Al,Cr)_2O_3$ (Cor)= $Mg(Al,Cr)_2O_4$ (Sp). В области системы богатой хромом при давлении более 17 ГПа образуется монофазное поле  $Mg(Cr,Al)_2O_4$  (Ct). Интересно, что образование постшпинелевой фазы  $Mg(Al,Cr)_2O_4$  со структурой феррита кальция происходит при более высоком давлении (> 23 ГПа).



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЛЮИДНОГО РЕЖИМА НА ПРОЦЕССЫ АРГИЛЛИЗАЦИИ

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

[liva@crust.irk.ru](mailto:liva@crust.irk.ru); тел.:8(3952)427191

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

Исходными образцами для экспериментального исследования процессов аргиллизации флюидно-силикатных систем послужили: лейкократовые двуполевошпатовые граниты одной из жильных фаз гранитов Мункусардыкского комплекса складчатого обрамления Сибирской платформы и посткинematические серые двуполевошпатовые гранодиориты Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирской платформы. Проведены эксперименты, моделирующие различные типы аргиллизации при  $T=(180-200) \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=1000 \text{ атм}$ , различной длительности с флюидными составляющими (растворами) следующих составов:  $\text{H}_2\text{O}+(2,5-5) \text{ \% HCl}$ ;  $\text{H}_2\text{O}+10 \text{ \% HCl}$ ;  $\text{H}_2\text{O}+5 \text{ \% H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $(\text{NH}_4\text{OH}+20 \text{ \% HCl})$ . В результате моделирования аргиллизации галоидного типа по двуполевошпатовым гранитам получены зоны смектитов; по гранодиоритам – зоны монтмориллонитов, хлоритов, гидрослюд. В обеих системах отмечены процессы пелитизации и серицитизации полевых шпатов. Рассмотрено влияние длительности экспериментов на процессы пелитизации, каолинизации биотита и заполнению межзернового пространства окислами и гидроокислами железа. Приводятся данные по моделированию сульфатного и других типов аргиллизации.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГРАФИТА РОССИИ ОТ ПРИМЕСЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПИРО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ.**

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

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

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

Выполнено экспериментальное изучение графитов месторождений юга Дальнего Востока России. Как известно, он относится к числу наиболее востребованных современными технологиями видов твердых полезных ископаемых. В частности, малозольный графит может быть использован в качестве конструкционного материала в атомной энергетике, теплотехнике и т.д., а также как исходное сырье для получения коллоидного графита, оксида графита (соединение углерода, водорода и кислорода в различных соотношениях, которое образуется при обработке графита сильными окислителями) и расширенного графита. Разработана принципиальная технологическая схема очистки природного графитового концентрата и отработаны лабораторные режимы для получения продуктов обогащения с содержанием углерода не менее 99,5 %. Схема включает стадии фторирования высокозольного графитового концентрата бифторидом аммония и выщелачивания примесей растворимых фторидов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ МЕДИ ПРИРОДНЫМИ ТОРФАМИ В ЕСТЕСТВЕННОМ И МОДИФИЦИРОВАННОМ ВИДЕ

**Наймушина О.С., Гаськова О.Л., Скрипкина Т.С., Зубакова Е.А., Богуславский А.Е., Саева О.П., Кабанник В.Г., Похорукова А.И., Кравченко А.А. (ИГМ СО РАН)**

[naumushinaos@igm.nsc.ru](mailto:naumushinaos@igm.nsc.ru) тел.: 8 (383) 373-05-26 доб. 772

*Работа выполнена при поддержке РФФ 18-77-10029*

Показано, что адсорбирующие свойства торфов (верхового и переходного) обусловлены количеством и соотношением в их составе связанных с матрицей функциональных групп (карбоксильные, фенольные и т.д.) и высокомолекулярных соединений типа гумусовых кислот. Групповой состав определялся методом обратного потенциометрического титрования. Адсорбционные свойства торфов при т:ж = 1:50 изучались в широком диапазоне параметров:  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  10÷150 мг/л, рН 3÷5, время 15 мин ÷ 12 часов с магнитным перемешиванием. Результаты интерпретировались в терминах %,R (процент удаления),  $K_d$  (коэффициент распределения). Изотермы сорбции хорошо описываются уравнением Фрейндлиха, для которого  $k = 1.4176$  и  $1.4946$ ,  $1/n = 0.2956$  и  $0.2621$  (верховой и переходный торф, соответственно). Для всех исследованных концентраций меди время оказалось самым незначимым параметром, поскольку равновесие достигается за 30 мин; однако  $K_d$  уменьшается на порядок при росте исходных концентраций иона металла и/или снижении рН до 3 ед. Найдены условия, при которых общий процент удаленных ионов меди достигает максимума и торф может успешно использоваться для очистки сточных вод от загрязнений.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ (Ga, Ge)-СОДЕРЖАЩЕГО СТРУКТУРНОГО АНАЛОГА  
ТУРМАЛИНА

**Нестерова В.А. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), Пушаровский Д.Ю. (геол. ф-т МГУ), Балицкий В.С. (ИЭМ РАН), Квас П.С. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**

[v\\_nest.243@mail.ru](mailto:v_nest.243@mail.ru), тел. 8 (496) 522 58 47

Синтез Ga- и Ge замещенных турмалинов представляет особый интерес, поскольку указанные замещающие элементы по кристаллохимическим характеристикам близки к Al и Si соответственно, но при этом имеют большие размеры ионных радиусов. В связи с этим логично предположить возникновение в галлий-германиевых турмалинах структурных деформаций и, как следствие этого, более ярко выраженных пиро- и пьезоэлектрических свойств.

Первые подобные кристаллы были выращены нами гидротермальным методом температурного перепада при 600–650°C и давлении 100 МПа в растворах борной кислоты на эльбаитовые затравки. Новообразованный нарост (Ga, Ge)-содержащего турмалина в направлении пинакоида достигал толщины 50–100 мкм; содержания в нем Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и GeO<sub>2</sub> составляли около 20 и 2 мас. % соответственно. Распределение примеси галлия и германия в наросте имеет равномерный характер. Дальнейшие исследования необходимо сосредоточить на увеличении толщины наростевого слоя и доли примеси галлия и германия в выращенных кристаллах.

**НЕОДНОРОДНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ ПОД МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ**

**Никитин С.М. (ЛП ООО «ЛС-КАМ), Горбацевич Ф.Ф. (ГИ КНЦ РАН), Скрипник А.Я. (ГЕОХИ РАН), Коротченкова О.Ю. (ГИ УрО РАН), Морозов И.А. (ГИ УрО РАН), Румачик М.А (ООО «Мелитек»), Вахаев П.В. (ООО «Мелитек») [archont@mail.ru](mailto:archont@mail.ru).**

При статической деформации образцов полуправильной (SAU-001), правильной (Царев) и неправильной формы (Челябинск) рассматриваются особенности проявлений неоднородности дезинтеграции метеоритов в условиях одноосного сжатия, Показаны формы локализации и условия развития трещин при дроблении образцов в свободном и стесненном состоянии. Методами ультразвуковой поляриметрии количественно оценивается нарушенность обломков разных фракций, причем степень анизотропии акустической прозрачности материала отражает преимущественные направления роста магистральных трещин. Дискретный характер прочности и особенности неоднородного деформирования образцов, устойчиво фиксирующиеся в разных диапазонах статического нагружения, а также проявления динамического взрывоподобного разрушения при переходе в стадию сдвигового катакластического течения, представляются в качестве основы моделирования процесса дробления Челябинского болида.

ВЛИЯНИЕ ПЕТРОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСПЛАВА НА РАСТВОРИМОСТЬ ХРОМШПИНЕЛИДА В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ ГЕНЕЗИСА ХРОМИТИТОВ

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

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

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 16-17-10129)*

Используя новую модель равновесия шпинелид – расплав SPINMELT-2.0, проведен анализ влияния вариаций *fo-*, *fa-*, *en-*, *fs-*, *di-*, *an-* и *ab-*компонентов в высоко-Mg базальтовом расплаве на топологию ликвидуса шпинелида. Установлено, что обогащение расплава пироксеновыми компонентами приводит к повышению, а плагиоклазовыми и оливиновыми – к понижению растворимости хромита. Этот эффект может иметь важное значение в условиях гравитационной усадки кумулатов, сопровождающейся отжимом интеркумулусного расплава и его направленной вверх инфильтрацией. При этом можно ожидать последовательное переуравновешивание инфильтрирующегося расплава с различными по составу кумулятивными толщами. Это позволяет предполагать возможность переноса и нового концентрирования хромшпинелида на посткумулусном этапе затвердевания расслоенных интрузивов. Природа концентрирования заключается в экстракции хромшпинелида в расплав, обогащенный пироксеновыми компонентами с последующим его сбросом при реакции этого расплава с полевошпатовой матрицей протоанортозитовых прослоев или горизонтов, обогащенных оливином, часть из которых, может быть материалом дополнительных инъекций более примитивной магмы. О реалистичности предложенного механизма свидетельствует хорошо известная пространственная связь хромититовых прослоев с анортозитами и дунит-гарцбургитами Бушвельдского комплекса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

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

niko-geo@mail.ru тел. 8(495)9391239

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-05-00257)*

Фосфорная кислота относится к труднолетучим соединениям, однако в газовой фазе термальных источников Камчатки постоянно определяются заметные концентрации фосфора, что дает коэффициент распределения жидкость/газ близкий к 100. Такая летучесть не может быть объяснена распределением фосфора (V) и можно предположить формы с низкими валентностями. Экспериментальное изучение переноса фосфора в газовой фазе проводилось при 150°C и давлении насыщенного пара воды. Для этого в титановые автоклавы с фторопластовыми вкладышами объемом 180 мл помещался фторопластовый стакан с концентрированной фосфорной кислотой. В объем автоклава добавлялась бидистиллированная вода для обеспечения давления насыщенного пара при температуре опыта. Непосредственно перед закрытием автоклава в фосфорную кислоту добавлялись навески различных металлов (Zn, Co, Fe, Mg, Ti). Содержание фосфора в смывных растворах определялось колориметрическим методом. В конденсатах в объеме пенала обнаружено 0,1-30 мг/л фосфора, при этом концентрация увеличивается с ростом электроотрицательности добавленного металла, за исключением магния. Проведены термодинамические расчеты, которые показали, что вероятной формой переноса является PO<sub>2</sub> (gas).

## ТЕРМОДИНАМИКА МОНТИЧЕЛЛИТА

**Огородова Л.П., Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф., Бычков А.Ю., Ксенофонтов Д.А., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)**  
logor@geol.msu.ru тел.: 8 (495) 939 13 49

Изучен природный ортосиликат кальция и магния — монтичеллит из щелочно-ультраосновных интрузивных пород горного массива Кондёр (платиновое месторождение Кондёр, Хабаровский край, Россия). Комплексная диагностика минерала методами рентгеноспектрального анализа, порошковой рентгенографии, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния подтвердила, что изученный образец является монтичеллитом состава  $(\text{Ca}_{1.00}\text{Mg}_{0.95}\text{Fe}^{2+}_{0.05})[\text{SiO}_4]$ . Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения на микрокалориметре Тиана-Кальве определена энтальпия образования изученного монтичеллита из элементов  $\Delta_f H^\circ_{\text{el}}(298.15 \text{ K}) = -2238.4 \pm 4.5$  кДж/моль. Рассчитаны энтальпия и энергия Гиббса образования монтичеллита теоретического состава  $\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$ . На основании полученных данных с помощью программного обеспечения HCh (Shvarov, 2008) были рассчитаны P-T условия равновесия реакции образования монтичеллита из диопсида, форстерита и кальцита; было показано, что образование монтичеллита характерно для наиболее высокотемпературных магнезиальных скарнов и скарноподобных пород (кальциевых метасоматитов) среди щелочно-ультраосновных массивов с карбонатитами.



## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Ti-СОДЕРЖАЩЕГО ГРАНАТА

**Огородова Л.П., Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ),  
Русаков В.С. (физ. ф-т МГУ), Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ)**  
[logor@geol.msu.ru](mailto:logor@geol.msu.ru) тел.: (495) 939 13 49

Ti-содержащие гранаты широко распространены во многих скарновых, метаморфических и карбонатитовых месторождениях, в некоторых из них являются главными породообразующими минералами. Исследования выполнены на образце граната из ультраосновного щелочного карбонатитового массива Одихинча (Красноярский край, Россия). На основании данных химического и термогравиметрического анализов и результатов Мёсбауэровской спектроскопии кристаллохимическая формула изученного граната имеет вид:  $(\text{Ca}_{2.90}\text{Na}_{0.04}\text{Fe}^{2+}_{0.03}\text{Mn}_{0.02}\text{Mg}_{0.01})(\text{Fe}^{3+}_{0.97}\text{Ti}_{0.71}\text{Mg}_{0.13}\text{Zr}_{0.08}\text{Fe}^{2+}_{0.05})[\text{Si}_{2.33}\text{Fe}^{3+}_{0.32}\text{Ti}_{0.24}\text{Al}_{0.07}\text{O}_{11.84}(\text{OH})_{0.16}]$ . Методом высокотемпературной калориметрии растворения в расплаве состава  $2\text{PbO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$  при температуре 973 К определена его энтальпия образования из элементов:  $\Delta_f H^\circ_{\text{el}}(298.15 \text{ К}) = - 5946 \pm 10$  кДж/моль. На основании экспериментальных данных по растворению природного образца рассчитана энтальпия образования близкого к изученному минералу по составу крайнего члена ряда андрадит – шорломит – шорломита  $\text{Ca}_3\text{Ti}_2[\text{SiFe}^{3+}_2\text{O}_{12}]$ . Оценены значения стандартной энтропии и энергии Гиббса образования природного граната и шорломита. Рассчитаны поля их устойчивости.

## ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ БОБЬЕРИТА И КОВДОРСКИТА

Огородова Л.П., Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)  
[logor@geol.msu.ru](mailto:logor@geol.msu.ru) тел.: 8 (495) 939 13 49

Проведено физико-химическое изучение двух природных водных ортофосфатов магния – бобьерита и ковдорскита из Ковдорского карбонатитового массива (Кольский полуостров, Россия) методами рентгеноспектрального анализа, порошковой рентгенографии, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, термического анализа. Химические формулы, рассчитанные на 3 катиона для ковдорскита и 5 катионов для бобьерита, имеют вид:  $Mg_{1.97}Mn_{0.01}[PO_4]_{1.02}(OH)_{0.90} \cdot 2.96H_2O$  и  $Mg_{2.97}Fe_{0.02}Mn_{0.01}[PO_4]_{2.00} \cdot 8.20H_2O$  соответственно. Полученные формулы близки к теоретическим  $Mg_3[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$  (бобьерит) и  $Mg_2(PO_4)(OH) \cdot 3H_2O$  (ковдорскит). На высокотемпературном теплопроводящем микрокалориметре Тиана-Кальве «Сетарам» методом расплавной калориметрии растворения определены энтальпии образования из элементов бобьерита ( $-6167 \pm 16$  кДж/моль) и ковдорскита ( $-3251 \pm 10$  кДж/моль). Оценены величины их стандартных энтропий ( $535.6$  Дж/(моль·К) и  $263.6$  Дж/(моль·К)) и энергий Гиббса образования ( $-5472 \pm 16$  кДж/моль и  $-2917 \pm 10$  кДж/моль) соответственно. Значение энергии Гиббса бобьерита близко к единственным литературным данным, полученным при изучении обменных реакций в работе (Duff, 1971) и приведенным без погрешности ( $-5450.5$  кДж/моль).

СИНТЕЗ ФАЗЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ  $\text{AgTe}_3$

**Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)**

[euo@iem.ac.ru](mailto:euo@iem.ac.ru)

Теллурид серебра  $\text{AgTe}_3$  был синтезирован из элементов, в сосуде высокого газового давления (Ar) методом отжига при температуре 473К, давлении 6500 бар и экспозиции 20 суток. Гомогенная смесь тонких порошков элементов, взятых в стехиометрическом соотношении, общей массой 0.5 г, прессовалась в таблетку диаметром 6 мм и высотой 2 мм. Таблетка помещалась в открытую ампулу из кварцевого стекла и отжигалась в печи сосуда высокого газового давления. Структурные параметры  $\text{AgTe}_3$  были определены методом полнопрофильного анализа (метод Ритвельда):  $a=8.6528\text{\AA}$ ,  $c=5.2783\text{\AA}$ ,  $V=342.240\text{\AA}^3$ . Пространственная группа  $R\bar{3}m(H)$ , структурный тип  $\alpha\text{-Po}$ .

**ВЛИЯНИЕ H<sub>2</sub>O НА ВСТРЕЧНУЮ ХИМИЧЕСКУЮ ДИФФУЗИЮ ПЕТРОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, CaO, MgO, FeO, TiO<sub>2</sub>) В РАСПЛАВАХ СИСТЕМЫ АНДЕЗИТ – БАЗАЛЬТ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ).**

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

[persikov@iem.ac.ru](mailto:persikov@iem.ac.ru) тел. :(49652) 49 687

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы 19 Президиума РАН*

Исследования химической встречной диффузии петрогенных компонентов при взаимодействии магматических расплавов крайне ограничены [Watson and Baker, 1991; Watson, 1994; Yoder, 1973; Baker, 1991]. В настоящей работе представлены результаты экспериментально-теоретических исследований влияния воды, растворенной в расплавах, на химическую встречную диффузии петрогенных компонентов (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, CaO, MgO, FeO, TiO<sub>2</sub>) в процессе взаимодействия модельных расплавов системы андезит-базальт. Исследования проведены с помощью оригинальной установки высокого газового давления при давлениях воды до 160 МПа, давлениях аргона до 160 МПа и температуре T = 1300°C, с использованием метода диффузионных пар. Установлены новые особенности механизма встречной химической диффузии петрогенных компонентов в андезитовых и базальтовых расплавах в широком диапазоне концентрации воды в них (до ~ 6.0 мас. %). Теоретический анализ полученных данных по диффузии петрогенных компонентов в расплавах в ряду андезит-базальт и их вязкости, позволил установить закономерную взаимосвязь двух важнейших транспортных свойств магм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-MgCO}_3$  ПРИ 3 ГПа И 700-1285 °С

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

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

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

Петрологически важная тройная карбонатная система  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-MgCO}_3$  исследована при 3 ГПа и 700-1285°С с использованием многопуансонной техники. При 700 °С система имеет пять промежуточных соединений: доломит, Mg-содержащий  $\text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{CO}_3)_5$  бурбанкит,  $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ ,  $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3$ , и  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$  эйтелит. При 800 °С,  $\text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{CO}_3)_5$  бурбанкит исчезает, что приводит к появлению дополнительных промежуточных соединений: Са-доломит и Mg-шортит,  $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$ . С увеличением температуры до 850 °С,  $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3$  разлагается на  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  ниеререит, который плавится инконгруэнтно при  $875\pm 25$  °С, с образованием  $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$  и расплава. Эйтелит, разлагается при  $925\pm 25$  °С на магнезит и расплав. Mg-шортит плавится инконгруэнтно при  $950\pm 50$  °С с образованием  $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_3$  и жидкости.  $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_3$  разлагается при 1000 °С на  $\text{CaCO}_3$  и расплав. Система имеет одну эвтектическую точку при  $825 \pm 25$  °С. Эвтектика контролируется реакцией, при которой охлаждение расплава приводит к образованию шортита,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и эйтилита. Эвтектический расплав имеет следующий состав:  $52\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 48(\text{Ca}_{0.62}\text{Mg}_{0.38})\text{CO}_3$ . Система имеет семь субсолидусных соединений: магнезит, твердый раствор кальцит-доломит,  $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ , Mg-шортит, ниеререит, эйтелит и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Наличие только одной эвтектики, указывает на возможность фракционной кристаллизации низкощелочного доломитового расплава в сторону натродоломитового расплава.

ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИСЛОРОДА И УГЛЕРОДА В КОНТАКТОВОЙ ЗОНЕ ИЙОЛИТОВ ЧИКСКОГО МАССИВА (РЕСП. ТЫВА).

**Поляков Н.А., Никифоров А.В. (ИГЕМ РАН)**

[nik4pol@yandex.ru](mailto:nik4pol@yandex.ru) тел. 8 977 821 72 44

Чикский щелочной массив ийолит-уртитов размером 1000x250 м залегает в толще мраморов и мраморизованных известняков. Он является одним из типичных представителей щелочных массивов Сангиленского нагорья (респ. Тыва). Северо-западная часть массива состоит из шлирово-полосчатого комплекса перемежающихся субвертикальных полос ийолит-уртитов. На юго-востоке массива обнажаются разнообразные по минеральному составу кальцитсодержащие породы, сложенные нефелином, клинопироксеном, Тi-андрадитом и, соответственно, кальцитом.

Для определения роли вмещающих карбонатных толщ при формировании этих силикатно-карбонатных пород и ийолитов массива в целом, произведено изучение изотопного состава кислорода и углерода в ийолитах, породах зоны контакта и вмещающих известняках и мраморах.

Отбор проб в зоне контакта производился по трем профилям вкрест простирания зоны. Из каждой пробы выделены монофракции кальцита и для ряда проб – нефелина, клинопироксена и граната.

Анализ изотопного состава кислорода и углерода этих минералов производился в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН.

Результаты исследования показывают значительное участие вмещающих карбонатных пород в генезисе ийолитов Чикского массива.

ПРОБЛЕМА КРЕМНИЙ-НЕДОСЫЩЕННЫХ ОСТРОВДУЖНЫХ РАСПЛАВОВ И ЕЕ ПАРАДОКСАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

**Портнягин М.В., Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН), Бочарников Р.Е. (Uni Mainz),**

**Гуренко А.А. (CRPG, Nancy), Альмеев Р.Р. (Uni Hannover),**

**Люфт К. (Uni Mainz), Хольц Ф. (Uni Hannover)**

[portnyagin@geokhi.ru](mailto:portnyagin@geokhi.ru) тел.: 8 (919) 995 27 15

*Работа выполнена при поддержке РФФИ 19-05-00934*

Многочисленные данные изучения расплавных включений в магнезиальном оливине из островодужных пород (1166 включений в оливине  $Fo > 88$ ) свидетельствуют о том, что более 70% этих включений имеют нефелин-нормативный состав, хотя среди магнезиальных пород количество таких составов не превышает 25%. Яркий пример резкого различия составов примитивных пород и расплавных включений - Ключевской вулкан, где это наблюдение было сделано авторами этого доклада около 15 лет назад, но так и не нашло удовлетворительного объяснения. В этом докладе мы покажем новые оригинальные данные по высокобарическим экспериментам с нефелин-нормативными включениями в оливине из пород Ключевского вулкана. Результаты этих экспериментов показывают, что экзотический состав расплавных включений Ключевского вулкана и большое число недосыщенных  $SiO_2$  расплавных включений в островодужных породах в целом на самом деле является следствием дегидратации этих включений в малоглубинных условиях или при остывании после извержения. В докладе будут обсуждаться физико-химические основы этого нетривиального процесса и петрологические следствия.

СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ СУЛЬФИДНЫХ  
ФАЗ ИЗ ПРИДОННОЙ ЧАСТИ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА (СЕВЕРНОЕ  
ПРИБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

**Пшеницын И.В.** (*геол. ф-т МГУ*), **Арискин А.А.** (*геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН*),  
**Корост Д. В., Хомяк А. Н.** (*геол. ф-т МГУ*), **Николаев Г.С.,**  
**Кубракова И.В., Тютюнник О.А.** (*ГЕОХИ РАН*)  
[lotecsi@gmail.com](mailto:lotecsi@gmail.com) тел. 89169765141  
*грант РФФ 16-17-10129*

Было проведено комплексное изучение сульфидизированных мафит-ультрамафитовых пород из нижней части Йоко-Довыренского массива. Эти породы слагают силлы и апофизы ниже основного контакта интрузива с вмещающими породами. В данных породах записаны условия ранней стадии эволюции сульфидно-силикатных систем, которые в дальнейшем привели к формированию промышленно значимых руд. Мы полагаем, что в них имеет место и “структурная запись” процессов аккумуляции сульфидов, которые следуют за стадией силикатно-сульфидной несмесимости. Их изучение может дать ключ к пониманию процессов, происходящих на ранней стадии эволюции сульфидно-силикатных систем. В данной работе, помимо петрографических и минералогических исследований, для расшифровки условий формирования пород был применен как геохимический, так и петроструктурный анализ. Первый заключался в расчете среднего сульфида различными методами и интерпретации отношений халькогенов и PGE породах. Петроструктурный анализ заключался в обработке и интерпретации данных компьютерной томографии. Как результат этой работы нами была выявлена их многоступенчатая генетическая связь бедно-вкрапленных руд Центрального участка, относящегося к Байкальскому месторождению с промышленными сидеронитовыми рудами.



НЕСМЕСИМОСТЬ КАРБОНАТНЫХ РАСПЛАВОВ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ.

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

[rass@igem.ru](mailto:rass@igem.ru) тел.: 8 (499) 230 84 22

Известен действующий вулкан Олдоиньо-Ленгаи, производящий щелочные карбонатиты. В магнетите карбонатитов Ока (Канада) установлены магматические щелочно-карбонатные включения. Многократно экспериментально воспроизведена несмесимость щелочно-силикатного и карбонатного расплавов. Вопрос об эволюции Na-карбонатного расплава не изучался. Возникла необходимость экспериментальных исследований в бессиликатной Na-фосфатно-карбонатной системе при повышенных параметрах. Опыты проводились при 500 МПа в 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  $\text{NaPO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$ , с отношением  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}(\text{CO}_2) = 0.25-0.40$  с добавлением в каждую смесь 55 мг NaF, 2 мг  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , 5 мг воды и 6 мг смеси окислов редких элементов. Катионный обмен  $2\text{Na} \leftrightarrow \text{Ca}$  между фосфатом и Ca-карбонатом приводит к образованию щелочного карбонатного расплава. Продукты опытов состоят из несмесимых Na-карбонатного и Ca-карбонатно-фосфатного расплавов. В образцах из всех ампул присутствуют пустоты, указывающие на наличие свободного  $\text{CO}_2$ . Na-карбонатный расплав концентрирует  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , а Ca-карбонатно-фосфатный расплав содержит повышенные концентрации REE.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СОЕДИНЕНИЯХ СОСТАВА  $\text{Ca}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Sb}_2\text{O}_7$ ,  
ПОЛУЧЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ СИНТЕЗОМ

**Реутова О.В. (геол. ф-т МГУ), Редькин А.Ф. (ИЭМ РАН)**

[redkin@iem.ac.ru](mailto:redkin@iem.ac.ru) тел.: 8 (496) 522 5852

ФНИ ГАН: АААА-А18-118020590150-6

Изучено влияние соотношения  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  в системе  $\text{Ca}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Sb}_2\text{O}_7$  на структуру продуктов синтеза при 800°C, 2 кбар, в воде. Показано, что введение значительного количества  $\text{Ca}^{2+}$  в систему вызывает структурные превращения *Fm3m* (куб. синг.)  $\rightarrow$  *Imma* (орторомбическая синг.). Рассмотрено влияние мольной доли  $\text{Ca}^{2+}$  на параметр элементарной ячейки пирохлора (ромеита).

**ОТ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА НЕФТЕЙ К ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Родкин М.В. (ИТПЗ РАН, ИПНГ РАН), Пунанова С.А. (ИПНГ РАН)**  
[rodkin@mitp.ru](mailto:rodkin@mitp.ru); тел.: 8 (926) 3249575

Анализируются данные по микроэлементному (МЭ) составу нефтей различных нефтегазоносных бассейнов (НГБ). Сравнивается МЭ состав нефтей с химическим составом иных каустобиолитов, органического вещества и средним составом верхней, средней и нижней континентальной коры. Сравнение проводится на основе расчета коэффициентов корреляции логарифмов концентрации МЭ. МЭ состав углей и сланцев тесно коррелирует с составом органического вещества и верхней континентальной коры. Корреляции для нефтей существенно ниже, и лучшая корреляция наблюдается с составом нижней коры. Исключением являются нефти осадочных бассейнов Камчатки и кальдеры вулкана Узон, где более тесная связь выявляется с составом верхней коры. Для всех нефтей наблюдается связь с составом органического вещества, но в большинстве случаев коэффициент корреляции меньше, чем с составом нижней коры. Дается интерпретация полученных результатов в плане различий в онтогенезе УВ скоплений, обусловленных характером тектогенеза.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ НА ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИТТРИЯ, СКАНДИЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ SI-AL-NA-K-LI-F-O-H

Русак А.А., Щекина Т.И., Граменицкий Е.Н. (МГУ), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Алферьева Я.О. (МГУ), Зиновьева Н.Г., Бычков А.Ю., Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН) [aleks7975@yandex.ru](mailto:aleks7975@yandex.ru), [t-shchekina@mail.ru](mailto:t-shchekina@mail.ru), тел.: +7 (495) 939-20-40

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

Экспериментально изучено распределение редкоземельных элементов, Y и Sc между алюмосиликатным (L) и алюмофторидным (LF) расплавами в гранитной системе с предельными концентрациями фтора при температуре 600, 700 и 800°C, давлении 1 и 2 кбар, содержанием воды от 0 до 50 мас.%. Показано, что, начиная с 700°C, 1 кбар, в системе изменяются фазовые отношения. В глобулах из фторидного расплава, насыщенного редкими элементами, выделяются кристаллы KNa-алюмофторидов, а при уменьшении температуры до 600°C из силикатного расплава начинает кристаллизоваться кварц, что доказывает приближение к солидусу системы при сохранении обоих несмесимых расплавов. Впервые показано, что распределение REE, Y, Sc между сосуществующими алюмофторидным (солевым) и алюмосиликатным расплавами зависит от давления.

ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ КАРБИДОВ ЖЕЛЕЗА  $Fe_2C$ ,  $Fe_3C$  И  $Fe_7C_3$  ПРИ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ ЯДРА ЗЕМЛИ

**Сагатов Н.Е., Гаврюшкин П.Н., Инербаев Т.М., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН)**

[sagatovnye@igm.nsc.ru](mailto:sagatovnye@igm.nsc.ru) тел.: 8 (383) 333 26 00

*Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 17-17-01177)*

На основе *ab initio* расчетов в рамках теории функционала плотности и алгоритмов предсказания структур определены фазы карбидов железа устойчивые при P-T параметрах ядра Земли. В ходе предсказания выявлены две новых структуры,  $Fe_3C$ -C2/m-II и  $Fe_7C_3$ -C2/m. Первая структура становится более энергетически выгодной, чем известные структуры цементита,  $Fe_3C$ -I-4 и  $Fe_3C$ -C2/m-I при давлениях выше 302 ГПа. Вторая структура стабилизируется относительно ранее известной h- $Fe_7C_3$  выше 366 ГПа. В рамках квазигармонического приближения показано, что карбид железа  $Fe_7C_3$  разлагается на смесь карбидов  $Fe_2C$  и  $Fe_3C$  при давлениях выше 280 ГПа и, таким образом, не стабилен во всем интервале давлений и температур внутреннего ядра Земли. Установлено, что температура стабилизирует  $Fe_3C$  относительно  $Fe_2C$ +hcp-Fe во всем интервале давлений, в результате чего смесь карбидов  $Fe_3C$ + $Fe_2C$  оказывается стабильной при P-T параметрах ядра Земли.

СИСТЕМА Fe-N ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ

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

[d.sagatova1729@gmail.com](mailto:d.sagatova1729@gmail.com) тел.: 8 (383) 333 26 00

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 17-17-01177)

В рамках исследования термодинамических свойств соединений железа при параметрах внутреннего ядра Земли проведены предсказания промежуточных стехиометрий в системе Fe-N на основе первопринципных расчетов в рамках теории функционала плотности. При давлениях 300-400 ГПа обнаружены три новых структуры, обогащённые железом,  $Fe_3N$ ,  $Fe_2N$  и  $FeN$ .  $FeN$  при давлении выше 363 ГПа переходит от ромбической модификации ( $Pnma$ ) к кубической ( $P2_13$ ).  $Fe_2N$  изоструктурен карбиду  $Fe_2C$ - $Pnma$ .  $Fe_3N$  стабилен в форме структуры, не имеющей аналогов среди карбидов,  $Fe_3N$ - $C2/m$ . При давлениях до 306 ГПа также стабилен нитрид  $Fe_4N_3$ , который выше указанного давления распадается на смесь  $Fe_2N+FeN$ . Также при давлениях и температурах внутреннего ядра Земли возможна стабилизация метастабильных при 0 К структур,  $Fe_4N$ ,  $Fe_5N_2$  и  $Fe_7N_3$ , незначительно отличающиеся по энергии от механической смеси стабильных нитридов  $Fe_3N$ ,  $Fe_2N$  и  $FeN$ .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
СУБДУКЦИОННОГО ОСАДКА (GLOSS) И ЛЕРЦОЛИТА ПРИ P-T УСЛОВИЯХ ГОРЯЧЕЙ  
СУБДУКЦИИ

**Сердюк А.А. (ИЭМ РАН), Перчук А.Л. (МГУ, ИЭМ РАН), Зиновьева Н.Г. (МГУ)**

[almor@iem.ac.ru](mailto:almor@iem.ac.ru), 8(496) 522-5853

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

Являясь важнейшим источником углерода в субдуцирующих плитах, субдукционные осадки, наряду с измененными базальтами и перидотитами верхней мантии, привлекают внимание в связи с вопросами рециклинга углерода. В работе приводятся результаты экспериментов, моделирующих преобразование фертильной мантии под действием флюидов и расплавов, выделившихся из субдукционного осадка.

Эксперименты выполнялись на установке цилиндр-поршень в диапазоне температур 750-900°C при давлении 2.9ГПа. В качестве исходных материалов использовались модельный субдукционный осадок и минеральные фракции природного лерцолита.

Миграция флюидов и вещества создает в осадочном слое по три горизонтальные зоны, парагенезисы которых изменяются от зоны к зоне. В основании лерцолитового слоя исчезает клинопироксен, оливин частично замещается ортопироксеном ( $\pm$ магнезит). Начиная с 850°C, в этой зоне появляются прожилки расплава, а при 750°C широко развит тальк. В верхней зоне лерцолитового слоя преобразования затрагивают лишь границы зерен – образуются прожилки ортопироксена с магнезитом.

Результаты экспериментов показывают, что, потоки жидкостей из субдукционного осадка не способны обеспечить вынос значимых количеств углерода из метаосадочного слоя в породы мантии.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КЕРОГЕНА В ПРОЦЕССЕ КАТАГЕНЕЗА. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

**Сидкина Е.С., Мироненко М.В. (ГЕОХИ РАН)**

[sigkinaes@yandex.ru](mailto:sigkinaes@yandex.ru) тел.(7)4991375040

База термодинамических данных GEOSHEQ (Мироненко и др., 2000) была дополнена данными (Helgeson et al., 1998; Richard and Helgeson, 1998; Helgeson et al., 2009) для расчета термодинамических свойств для повышенных температур и давлений пяти видов керогена и углеводородов, являющихся компонентами сырой нефти и природного газа.

Расчеты равновесий в системе кероген-вода выполнены для интервала температур 200-300°C при возрастающем давлении (300-1000 бар) при различных соотношениях масс керогена и воды. Каждый из пяти видов керогена рассматривался как твердая фаза фиксированного химического состава, углеводороды, в первом приближении, - как компоненты идеального жидкого раствора (нефть), газовая фаза - как многокомпонентный газовый раствор, неидеальность которого описывается уравнением Пенга-Робинсона, водный раствор как существенно водная фаза.

Моделирование показало, что при определенных соотношениях масс керогена и воды при увеличении температуры и давления происходят фазовые превращения в керогене, приводящие к образованию менее высокомолекулярных и более окисленных его типов, сопровождаемые появлением раствора углеводородов (нефть) и газовой, существенно метановой и углекислой фазы. Расчеты согласуются с диаграммой Ван Кривелена (Тиссо и Вельте, 1981).



**Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Салова Т.П. (ИЭМ РАН), Борисова А.Ю. (GET CNRS, Toulouse), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)**

[simakin@iem.ac.ru](mailto:simakin@iem.ac.ru) тел.: 8 (496) 52 49687

*Грант РФФИ №18-05-00597А*

Интерметаллиды платины и железа являются типичными платиновыми фазами в альпинотипных гипербазитах, в кольцевых ультрабазит-щелочных комплексах Кондерского типа, а также преобладающей формой PGE в некоторых месторождениях Бушвельда. Наши новые экспериментальные данные указывают на возможную роль малосернистых СО-СО<sub>2</sub> флюидов в формировании интерметаллидов Pt и Fe в природе. Эти фазы обнаружены в наших экспериментах по растворимости платины во флюиде СО-СО<sub>2</sub> при P=100-300 МПа и T=950°C. В некоторых случаях, содержания железа и платины во флюиде достигали насыщения тетраферроплатины (FePt) и изо-ферроплатины (Pt<sub>3</sub>Fe). Летучесть кислорода в экспериментах (около буфера ССО) была существенно выше буфера IW и, согласно термодинамическим расчетам, карбонил железа Fe(CO)<sub>5</sub> неустойчив в этих условиях. Перенос железа и образование интерметаллидов железа и платины может быть связано с образованием полядерных комплексов. Такая возможность открывается в связи с вероятным взаимодействием во флюиде платины в форме полядерных анионов Pt<sub>3</sub>(CO)<sub>6</sub><sup>2-</sup> с катионами железа.

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСТВОРИМОСТИ PGE ВО ФЛЮИДЕ СОСТАВА CO-CO<sub>2</sub>

**Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Салова Т.П. (ИЭМ РАН), Тютюнник О.А. (ГЕОХИ РАН), Покровский Г.С., Борисова А.Ю. (GET CNRS, Toulouse)**

[simakin@iem.ac.ru](mailto:simakin@iem.ac.ru)

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-00597А*

Получены новые экспериментальные данные по растворимости платины во флюиде CO-CO<sub>2</sub> методом двойных ампул при P=100-300 МПа и T=950оС. Определение растворимости платины осложняется тем, что в течение всего эксперимента происходит синтез карбонильного олигомерного комплекса платины и СО в процессе реакции флюида и ампулы. Наличие трех форм платины (конденсированной платиновой фазы, частично растворенной фазы во флюиде, и механически отделенных частиц платины) затрудняет применение валовых методов анализа пористой матрицы-ловушки флюида после эксперимента. Применение метода LA-ICP-MS с повышенной мощностью (фемто-секундный UV лазер, 0.11 mJ, 3.34 J/cm<sup>2</sup>, 48%), обеспечивающей диаметр кратера ~80 мкм, усредняет неоднородности содержания металла, возникающие в процессе закалки. При этом, удается избежать вклада редких и крупных (3-15 мкм) частиц связанных с плотной Pt фазой и механической контаминацией. Использование валового анализа ловушек методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической активацией дает содержания, в среднем, в 2.5 раза большие, чем метод LA-ICP-MS.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОРТОФЕРРОСИЛИТА  $\text{FeSiO}_3$

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

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

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

Термодинамическое описание ортоферросилита важно в рамках изучения группы  $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ -пироксенов, распространенных минералов земной коры и верхней мантии. В области низких давлений до 10 ГПа фазовая диаграмма системы  $\text{FeSiO}_3$  аналогична системе  $\text{MgSiO}_3$ . Однако известные переходы клиноферросилита низкого давления ( $P_{21/c}$ ) в клиноферросилит высокого давления ( $C_{2/c}$ ) и в ортоферросилит ( $Pbca$ ) происходят при более низком давлении и высокой температуре, соответственно [Woodland, Angel, 1997; Kung, Li, 2014; и др.]. Тройная точка равновесия фаз определена при  $T \sim 1100$  К и  $P = 4.9$  ГПа [Lindsley, 1965]. На основе модифицированного формализма из свободной энергии Гельмгольца построено уравнения состояния ортоферросилита и рассчитаны его термодинамические свойства при соответствующих  $P$ - $T$  параметрах. Уравнение состояния включает в себя магнитный вклад по аналогии с нашими работами ранее [Dorogokupets et al., 2016, 2017]. Рассчитанные параметры уравнения состояния получены путем оптимизации известных экспериментальных измерений для  $\text{FeSiO}_3$  [Sueno et al., 1976; Hugh-Jones, 1997; Yang, Ghose, 1994; Cemic, Dachs, 2006; и др.].

МАНТИЙНЫЙ МЕТАСОМАТОЗ И КОРОВАЯ КОНТАМИНАЦИЯ  
ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ (УИТКОМСТ, ЮАР)

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

[solovova@igem.ru](mailto:solovova@igem.ru)

*Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ 18-05-00291*

Изученные включения в кумулюсном оливине ультрамафитов массива Уиткомст (Бушвельдская Магматическая Провинция) представлены первичными расплавленными, поздними флюидными и поликристаллическими агрегатами. Установлено, что сухая (до 30 ppm H<sub>2</sub>O) *высокомагнезиальная родоначальная магма* (16.8-20% MgO) выплавлялась при температуре и давлении  $\geq 1520^{\circ}\text{C}$  и 1.8 ГПа. Расплавы характеризуются LREE>HREE и отсутствием на спайдерграмме Eu аномалии. Для *низкомагнезиальных* расплавов (до 14% MgO) характерны повышенные содержания флюидо-мобильных элементов (Na, K, Sr, Ba), до 2300 ppm H<sub>2</sub>O и минимум Eu на спайдерграмме. Ксеногенные полиминеральные агрегаты состоят из Mg, Ca, K, Na, Cl и H<sub>2</sub>O-содержащих фаз и часто природно-декрепитированы. Крупные флюидные включения обнаружены в оливине, пронизанном субпараллельными цепочками флюидных включений. Флюид содержит CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и графит. Выводы. Положительная корреляция парных отношений Th/Zr–Nb/Zr предполагает взаимодействие мантийных магм с глубинными метасоматизирующими флюидами на ранних этапах эволюции. Отношения (La/Nb)<sub>N</sub>–(Th/Ta)<sub>N</sub> свидетельствуют о контаминации поздне-магматических дифференциатов коровым веществом (полифазные агрегаты) с высоким содержанием летучих компонентов.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОМЕТЕОРИТНОГО УДАРА НА ЛУНЕ (НОВЫЕ ДАННЫЕ)**

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

В докладе будут рассмотрены результаты имитации микрометеоритного ударного процесса с помощью миллисекундного лазера. Мишенью в эксперименте служили образец базальта, сходного по составу с базальтами морских районов Луны и базальтовое стекло, полученное из этого же базальта, плавлением. Анализы показали, что стёкла, полученные от кристаллического базальта, по большей части, были гетерогенны, и их состав варьировал в широких пределах. Они представляли собой в различных пропорциях смешанные составы исходных минералов базальта. Анализы продуктов «удара» по базальтовому стеклу - шарики расплава и конденсации показали, что большая часть из них претерпела испарительную дифференциацию. Наблюдалось обеднение стёкол легколетучими компонентами ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO}$  и т.д.). Наиболее дифференцированные стёкла соответствовали обнаруженным на Луне высокоглинозёмистым стёклам HASP ( $\text{Al}_2\text{O}_3 > 34$  вес.%,  $\text{SiO}_2 < 32$  вес.%). Наблюдалась существенная разница между продуктами экспериментов с кристаллическим базальтом и базальтовым стеклом. В первом случае выход высокодифференцированных шариков расплава составил ~25%, во втором случае – ~90%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОМЕТЕОРИТНОГО УДАРА НА ЛУНЕ (НОВЫЕ ДАННЫЕ)

**Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН), Герасимов М.В., Зайцев М.А. (ИКИ РАН), Щербаков В.Д. (МГУ им. Ломоносова), Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН), Быстров И.Г. (ФГБУ «ВИМС»), Яковлев О.И., Слюта Е.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. Кроме того, этот образец был расплавлен и закалён, тем самым произошла его гомогенизация. После лазерного «удара» продукты выброса из кратера и сам кратер анализировались различными методами. Были проанализированы шарики расплава и конденсационные шарики. В работе проводится сравнение между экспериментом с кристаллическим базальтом и базальтовым стеклом. Показано, что часть шариков имеет следы испарительной дифференциации, а также соответствуют обнаруженным на Луне высокоглинозёмистым стёклам HASP ( $Al_2O_3 > 34$  вес.%,  $SiO_2 < 32$ %), при этом в опыте с кристаллическим базальтом процент продуктов претерпевших испарительную дифференциацию низок (около 25%), а в случае со стеклянным базальтом - большая часть (85%). Важным заключением в работе является широкая гетерогенность составов расплавных стёкол в случае с кристаллическим базальтом и небольшая степень для стеклянного базальта. При этом гетерогенные образования представляют собой смешанные в различных пропорциях составы исходных минералов для кристаллического базальта. Генезис при ударе таких стёкол показан на частично расплавленных зёрнах минералов в кратере. Наблюдается обеднение легколетучими и смещение среднего химического состава в тугоплавкую область.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВЫХ ОТНОШЕНИЙ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ  
МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ АЛМАЗООБРАЗУЮЩЕЙ ОКСИД-СИЛИКАТ-  
КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ 15 ГПА

**Спивак А.В., Литвин Ю.А., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)**

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

*Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН I.08.П, и соответствует теме исследований АААА-А18-118020590140-7 НИР ИЭМ РАН.*

Проведено предварительное экспериментальное изучение при 15 ГПа фазовых отношений при плавлении многокомпонентной системы  $MgO-FeO-SiO_2-Na_2O-CaO-K_2O-CO_2$  определено, что для вещества переходной зоны (на глубинах  $\approx 450$  км) определяющее значение в процессах плавления-кристаллизации имеет эвтектическая реакция вадслеита. Данный эвтектический механизм сохраняет вадслеит в магматической и алмазообразующей системах переходной зоны вплоть до полного завершения кристаллизации ультрабазитовых расплавов в неинвариантной эвтектической точке, т.е. их переход к базитовым составам не может происходить даже в режиме фракционной кристаллизации.

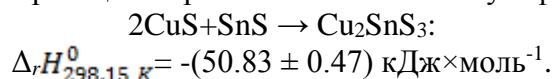
КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ ЭНТАЛЬПИИ  
ОБРАЗОВАНИЯ МОХИТА  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$ 

Столярова Т.А., Бричкина Е.А., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН),  
Баранов А.В. (МГУ, ИЭМ РАН)  
[schuchkina@mail.ru](mailto:schuchkina@mail.ru)

В литературе известны только рассчитанные теоретически (DFT - с помощью теории функционала плотности, и DFT-D2 - основанные на Вандерваальсовых силах молекулярного (атомного) взаимодействия) данные по энтальпии образования мохита (Shigemi, Wada, 2018):

$$\Delta H_f^{DFT} = -241.4 \text{ кДж} \times \text{моль}^{-1},$$
$$\Delta H_f^{DFT-D2} = -338.8 \text{ кДж} \times \text{моль}^{-1}.$$

В данной работе серия из 10 опытов проводилась в высокотемпературном вакуумно-блочном калориметре. Энтальпия реакции образования мохита из сульфидов, согласно реакции



Используя литературные данные по энтальпиям образования сульфидов, получена величина энтальпии образования мохита из элементов:

$$\Delta_f H_{298.15 \text{ K}}^0(\text{Cu}_2\text{SnS}_3, \text{cr}) = -(270.47 \pm 2.28) \text{ кДж} \times \text{моль}^{-1}.$$



ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ РАСТВОРИМОСТИ ОЛОВА В ПАРОВОЙ ФАЗЕ В СИСТЕМЕ H<sub>2</sub>O-SnO<sub>2</sub>.

**Суворова В.А. (ИЭМ РАН).**

[lera@iem.ac.ru](mailto:lera@iem.ac.ru); тел.: (496) 522 2554

Проведено исследование растворимости олова в паровой фазе на кривой кипения в бинарной системе H<sub>2</sub>O-SnO<sub>2</sub> при 330 ÷ 360°C. Опыты выполнялись на оригинальной установке с внутренней ампулой, позволяющей отбирать пробу пара in situ. Результаты представлены в таблице.

Т 0С	330	330	350	350	350	360	360	360
Sn, ppb	1376	1648	4784	4008	3810	5001	5865	5906

Исследована также растворимость SnO<sub>2</sub> при 400°C и давлении 250 ÷ 450 атм. Установка выдерживалась при заданной температуре в течение 2-3 суток для выхода на равновесие, после чего внутренняя ампула открывалась на 5-7 минут, чтобы вошёл пар. Затем ампула закрывалась, и автоклав закаливался холодной водой. Для извлечения конденсата из ампулы, её заполняли царской водкой по 10-13 мл и нагревали. Анализ закалочных растворов, отобранных в ходе опытов, выполняли методом ICP-MS.

Р, атм.	260,8	248,3	262,1	283,8	462,8	448,4	449,5
Sn, ppb	23	23,4	45,0	62,51	18,8	26,4	37,2
Кол-во SnO <sub>2</sub> , мкг	299	304,2	585	812,63	244,4	343,2	483,6

МЕЖФАЗОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В СИЛИКАТНО-ФОСФАТНЫХ СИСТЕМАХ

Сук Н.И. (ИЭМ РАН)

[sukni@iem.ac.ru](mailto:sukni@iem.ac.ru); тел. +7(496)52-25865

Представлены результаты экспериментального исследования жидкостной несмесимости, возникающей в щелочных силикатно-фосфатных системах при  $T=1250^{\circ}\text{C}$  и  $P=2$  кбар под давлением воды. Опыты проводились на установке высокого газового давления. Составы модельных систем задавались смесями природных минералов (нефелина, альбита, диопсида, калиевого полевого шпата) и  $\text{NaPO}_3$ . Изучено распределение петрогенных и рудных элементов между силикатным и фосфатным расплавами. Наблюдается закономерное изменение составов сосуществующих расплавов: чем больше солевого компонента содержит система, тем более кислый состав имеет отщепляемая силикатная фаза. В результате происходит разделение элементов между фазами, при этом Ca, Mg, Na концентрируются в фосфатном расплаве. В нефелин- или альбитсодержащих системах с  $\text{NaPO}_3$  фосфатный расплав обогащается глиноземом (отношение  $\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{ф}}/\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{с}} > 1$ ), в то время как добавление в систему Ca, Mg и Ti способствует перераспределению Al в силикатную жидкость (отношение  $\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{ф}}/\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{с}} < 1$ ). Выявлена высокая эффективность фосфатной экстракции в отношении REE, Ti, Nb, Ta, W, Sn. Характер разделения Zr между расслоенными фазами зависит от исходного состава системы так, что концентрации Zr могут возрастать в фосфатном или силикатном расплавах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФТОРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГАФНИЯ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

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

[mashatarnopolskaya@yandex.ru](mailto:mashatarnopolskaya@yandex.ru) тел. 8(495)9391239

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-35-00075)*

В литературе имеется несколько работ по устойчивости фторидных комплексов гафния при 20°C, при более высоких температурах данных нет. Поэтому в нашей работе проводилось экспериментальное изучение фторидных комплексов гафния при 100-240°C и давлении насыщенного пара воды. Изучение осуществлялось на основе измерения растворимости флюорита в кислых растворах с добавлением различного количества Hf. Растворимость флюорита определялась методом потери массы в стальных пеналах с фторопластовыми вкладышами. Результаты экспериментов показали, что при увеличении концентрации гафния растворимость флюорита возрастает. Обработка результатов проводилась при помощи программы OptimA. Схема комплексообразования гафния была принята аналогично ранее исследованному цирконию, как его геохимического аналога: образование  $\text{Hf}(\text{OH})_3\text{F}(\text{aq})$ ,  $\text{Hf}(\text{OH})_2\text{F}_2(\text{aq})$  и  $\text{HfF}_6^{2-}$ . Расчеты при помощи программы Hch показали, что в условиях экспериментов преобладает комплекс  $\text{HfF}_6^{2-}$ . Определена константа устойчивости комплекса  $\text{HfF}_6^{2-}$  при 100, 150, 205 и 240°C и давлении насыщенного пара воды,  $\lg\beta=32.53\pm 0.12$ ,  $33.70\pm 0.030$ ,  $40.40\pm 0.016$ ,  $41.7\pm 0.022$  соответственно.

СОКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИМЕСЕЙ В СФАЛЕРИТЕ ПО ДАННЫМ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Таусон В.Л., Смагунов Н.В., Липко С.В., Бабкин Д.Н., Белозерова О.Ю. (ИГХ СО РАН), [vltauson@igc.irk.ru](mailto:vltauson@igc.irk.ru) тел (3952)429967

Грант РФФИ № 18-05-00077, Проект ФНИ ИХ.125.3, № 0350-2016-0025.

Определены коэффициенты распределения  $K_{Me}^{s/aq}$  и коэффициенты сокристаллизации  $D_{Me/Zn}$  ряда элементов-примесей в сфалерите при 450°C и давлении 1 кбар. Варьировали концентрацию раствора-минерализатора, в узких пределах – рН и  $fS_2$ . Наиболее постоянны в отношении D и K элементы Fe, Co, Mn и Cd. Никель мало входит в сфалерит, возможно, находится в растворе в форме  $Ni^{3+}$ , хотя по константам распределения очень близок к железу. Серебро обнаруживает относительно устойчивое поведение, что может объясняться его вхождением в структуру сфалерита в изученной области концентраций 340 – 2200 ppm. Из всех изученных элементов только Mn является некогерентным в сфалерите, высоко когерентными являются Co, Cd, Ag и Hg, слабо когерентными - Fe и Ni. Сравнение с известными из литературы данными показывает, что  $D_{Mn/Fe}$  в сфалерите проявляет высокую стабильность и практически не зависит от химических условий в системе и температуры (400-500°C).

**УСЛОВИЯ ПЛАВЛЕНИЯ МАНТИИ ПОД КУМРОЧСКОМ ВУЛКАНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ (КАМЧАТКА)**

**Тобелко Д.П., Портнягин М.В., Крашененников С.П., Краснова Е.А. (ГЕОХИ РАН)**  
nazarovadariap@gmail.com, +7(903)1865530

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-35-00529.*

В большинстве субдукционных зон область между глубоководным желобом и вулканическим фронтом амагматична вследствие низкой температуры мантийного клина. Редким исключением из этого правила является Кумрочский вулканический комплекс на Восточной Камчатке, расположенный на аномально близком расстоянии от субдуцирующей Тихоокеанской плиты (50-70 км).

Полученные нами данные позволяют оценить состав источника и температуры кристаллизации магм Кумрочского вулканического комплекса. Температуры кристаллизации магм не превышают 1150 °С для оливина Fo>89 и свидетельствуют о низкотемпературном типе мантийного источника. Максимальное содержание Ni в оливине не превышает 5400 г/т. Данные по составу оливина ( Ni/(Mg/Fe) и Mn/Fe отношения ) предполагают образование серии магнезиальных пород хребта Кумроч в результате плавления мантийного источника, представляющего собой смесь перидотита и пироксенита. Данные, полученные по расплавленным включениям, находятся в обработке и будут представлены в докладе.

**ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ Hg В СИНТЕТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ СФАЛЕРИТ-МЕТАЦИНАБАРИТОВОГО РЯДА ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПОГЛОЩЕНИЯ**

**Тонкачев Д.Е. (ИГЕМ РАН)**

[tonkacheev@igem.ru](mailto:tonkacheev@igem.ru) тел.: 8 (499) 230-82-54

Необходимость изучения Hg-сфалерита-метациннабарита оправдана тем, что они являются довольно распространенными фазами на некоторых месторождениях, сформировавшихся с участием мантийного источника вещества. Методом синтеза в эвтектическом расплаве солей CsCl/NaCl/KCl при 670/611°C было выращено 8 образцов со сфалеритовой структурой в диапазоне составов от 1.89 до 81.7 мол.% HgS. Наиболее полные и информативные данные о структурном положении конкретного элемента можно получить, воспользовавшись методом рентгеновской спектроскопии поглощения. Образцы были изучены на линии "Структурное Материаловедение" Курчатовского Источника Синхротронного Излучения в Москве (аналитик Тригуб А.Л.). Анализировалась как EXAFS, так и XANES область спектра. Полученные результаты показали, что Hg присутствует лишь в изоморфной форме, замещая Zn в кристаллической структуре сфалерита. По сравнению с чистым сфалеритом, из-за большего ионного радиуса Hg по сравнению с Zn, увеличивается и расстояние Hg-S и Hg-Hg/Zn в его структуре.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУЛЬФИДОВ ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ

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

**Чареев Д.А. (ИЭМ РАН), Хорошилов А.В. (ИОНХ РАН)**

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

Работа посвящена определению стандартных термодинамических функций синтетических аналогов природных сульфидных минералов палладия и платины. Получение новых термодинамических данных для фаз систем S-Pd и S-Pt необходимо для проведения физико-химического моделирования условий образования месторождений благородных металлов.

Порошки сульфидов Pt(IV) и Pd(II) были синтезированы из простых веществ в вакуумированных кварцевых ампулах, полученные образцы изучены с помощью рентгенофазового и рентгеноспектрального анализа.

Методами адиабатической и дифференциальной сканирующей калориметрии измерены теплоемкости кристаллических PtS<sub>2</sub> и PdS. На основании экспериментальных данных в широком интервале температур рассчитаны теплоемкость, энтропия, изменение энтальпии и приведенная энергия Гиббса.

**ИСП-МС ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ ЭПГ И ЗОЛОТА В  
УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОДАХ ПОСЛЕ ДВУХСТАДИЙНОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ**

**Тютюнник О.А., Набиуллина С.Н., Аносова М.О., Кубракова И.В.(ГЕОХИ РАН)**  
NMlab@geokhi.ru, тел. (499) 137-75-26

Разработана методика определения следов Ru, Pd, Ir, Pt, Rh (ЭПГ) и Au в ультраосновных породах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Химическая подготовка проб включала кислотное разложение, отделение основных матричных компонентов на катионите AG-X8, а Zr, Hf, Ta - на комплексообразующем сорбенте LN-Rezin. Пределы обнаружения для Ir, Pt, Pd, Rh, Ru, Au составили соответственно: 0.003; 0.4; 0.2; 0.1; 0.06; 0.2 ppb.

Правильность результатов, полученных по предложенной методике, подтверждена их сопоставлением с опубликованными данными для образцов гарцбургита HARZ01 и ультраосновной породы ОРУ-1(международная программа GeoPT). Полученные данные по содержаниям платиноидов хорошо согласуются с опубликованными результатами.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСМИЯ В ОБРАЗЦЕ ГАРЦБУРГИТА HARZ01 (GeoPT 38A) МЕТОДОМ ИСП-МС С ИЗОТОПНЫМ РАЗБАВЛЕНИЕМ ПОСЛЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ В ДИФФУЗИОННОЙ ЯЧЕЙКЕ

**Тютюнник О.А., Набиуллина С.Н., Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН)**

NMlab@geokhi.ru, (499) 137-75-26

Модифицированный гарцбургит HARZ01 – глубинная ультраосновная порода, сильно обедненная многими компонентами. Определение осмия в ней проведено методом диффузионного концентрирования с последующим ИСП-МС определением на масс-спектрометре высокого разрешения с двойной фокусировкой Element 2 (Finnigan MAT, Германия) и с использованием изотопного разбавления. Образец растворяли в микроволновой системе MARS Xpress в герметично закрываемых сосудах Xpress1500 в «царской водке» с добавлением плавиковой кислоты. Получившийся раствор количественно переносили во внешнюю камеру диффузионной ячейки и добавляли окислитель  $\text{KJ}\text{O}_4$  в серной кислоте (1:1). В восстановительную камеру диффузионной ячейки вносили 0,1М  $\text{HCl}$ . Используемый трассер, обогащенный изотопами  $^{185}\text{Re}$  и  $^{190}\text{Os}$ , был добавлен к пробе до начала разложения. Установлено, что рений в данных условиях не отделяется от матричных компонентов и полностью остается в окислительной камере, осмий же окисляется до летучего  $\text{OsO}_4$  и поглощается 0,1М  $\text{HCl}$ . Предел обнаружения составил 0.03 нг/г.

**МЕЖДУНАРОДНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ГЕОАНАЛИТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ  
(ПРОГРАММА GeoPT). РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ПОРОД 2017-2018 г.**

**Тютюнник О.А., Кригман Л.В., Набиуллина С.Н., Аносова М.О.,  
Кубракова И.В.(ГЕОХИ)**

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

Международной геохимической ассоциацией ежегодно проводится тестирование аналитических лабораторий геохимического профиля (GeoPT) с использованием образцов пород, подготовленных Международной ассоциацией геохимиков (IAG). Тестирование позволяет оценить уровень аналитической работы лабораторий. Результаты и условия тестирования публикуются на сайте [www.geoanalyst.org](http://www.geoanalyst.org).

В 2017-2018 г. авторами проведен анализ вещественного состава образцов: илистого морского сланца ShWYO-1 (GeoPT40); известкового сланца, богатого органическими веществами ShTX-1 (GeoPT40A); андезита ORA-1 (GeoPT41); минерализованного речного осадка SSCO-1 (GeoPT41A) Куинстоновского сланца QS-1 (GeoPT42); долерита ADS-1 (GeoPT43); известкового сланца ShCX-1 (GeoPT44); карбонатной глинистой породы CM-1 (GeoPT44A). Определение макрокомпонентов (силикатный анализ) проводили спектрофотометрическими методами после сплавления проб, микро- и макрокомпонентов – методами АЭС-ИСП и ИСП-МС после кислотного разложения, РЗЭ – методом АЭС-ИСП после анионообменного отделения матричных компонентов и ИСП-МС, Ag, Se, Te, As, Sn, Pb - методом ЭТААС.

**ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ВО ВНУТРЕННЕЙ ГЕЛИОСФЕРЕ В ТЕЧЕНИЕ 11-ЛЕТНИХ ЦИКЛОВ ПО МЕТЕОРИТНЫМ ДАННЫМ**

**Устинова Г.К. (ГЕОХИ РАН)**

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

*Программа №28 Фундаментальных исследований Президиума РАН*

Анализ скоростей образования космогенных радионуклидов в 42 хондритах, последовательно выпадавших в 1957-2016 гг., свидетельствует о временных и пространственных вариациях магнитогиродинамической обстановки во внутренней гелиосфере, т.е. в межпланетном пространстве до 4-5 а.е. от Солнца, где лежат орбиты хондритов. Это обусловлено периодической генерацией и диссипацией в течение 11-летнего цикла слоя магнитных неоднородностей солнечного ветра, эффективно модулирующего галактические космические лучи, в ядерных реакциях которых с веществом хондритов рождались радионуклиды. Это позволяет нам выдвинуть проект метеоритной патрульной службы для непрерывного изучения и предсказания особенностей магнитогиродинамических процессов в этой части космического пространства, что чрезвычайно важно в преддверии предстоящих пилотируемых полетов. Успешному осуществлению проекта способствует неуклонное совершенствование высокопрецизионной техники измерений низких уровней радиоактивности (в частности в подземных лабораториях) и расширение мировой сети болидных наблюдений с фиксацией атмосферных траекторий падающих метеоритов и регистрацией их скорости, что позволяет точно рассчитать их орбиту. Быстрая доставка образцов свежесвыпавших хондритов в исследовательские лаборатории могла бы гарантировать измерение содержаний даже самых короткоживущих радионуклидов.

**ВЕСЭМПГ – 162**

***T-X* ДИАГРАММА СИСТЕМЫ  $\text{CaCO}_3\text{--CaSiO}_3$  ПРИ 6 ГПа**

**Федораева А.С., Шацкий А.Ф., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН, НГУ)**

[fedoraeva@igm.nsc.ru](mailto:fedoraeva@igm.nsc.ru) тел.: 89513739067

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

Находки алмазов с включениями Са-силикатов, обычно  $\text{CaSiO}_3$  валстромита, а также  $\text{CaCO}_3$  привели к предположению об их кристаллизации из мантийного субстрата, отличного от эклогитового и перидотитового. Минимальные оценки давления при которых образовывались эти включения составляют 5.7 ГПа. Вместе с тем, критерии для оценки температуры их образования отсутствуют. В этой связи нами изучены фазовые взаимоотношения в системе  $\text{CaCO}_3\text{--CaSiO}_3$  при 6 ГПа и 1300–1750 °С. Установлено, что *T-X* диаграмма системы относится к эвтектическому типу. Субсолидусная ассоциация представлена валстромитом и арагонитом. Эвтектика расположена при 1400 °С и 57 мол%  $\text{CaSiO}_3$ . До 1600 °С кристаллы  $\text{CaCO}_3$  закаливаются в арагонит, а при 1650 °С в кальцит.  $\text{CaCO}_3$  плавится конгруэнтно при 1660 °С. Валстромит плавится инконгруэнтно при 1750 °С с образованием ларнита и расплава. Таким образом, совместная кристаллизация алмаза и валстромита из раствора углерода в кальциевом карбонатно-силикатном расплаве могла происходить при температурах не ниже 1400 °С, что согласуется с гипотезой о сублитосферном генезисе этих алмазов.

ИНИЦИАЦИЯ СУБДУКЦИИ МАКСЮТОВСКОГО ЭКЛОГИТ-  
ГЛАУКОФАНСЛАНЦЕВОГО КОМПЛЕКСА

**Федькин В.В. (ИЭМ РАН)**

[vfedkin@iem.ac.ru](mailto:vfedkin@iem.ac.ru), тел.: 8(496)524-44-25

Новая геодинамическая концепция «Правило инициации субдукции» связывает процессы образования коллизионных зон сочленения литосферных плит с формированием офиолитовых комплексов, преддуговыми бассейнами и процессами инициацией субдукции (ИС). Максютровский эклогит-глаукофансланцевый комплекс высокого давления на Южном Урале (МК) представляет собой уникальный объект для изучения явления инициации субдукции. Главная причина связана с тем, что наряду с диагностической магматической хемотратиграфической последовательностью ИС и офиолитами, здесь также был обнаружен восстановленный канал НР-УНР субдукции, коим является МК. Для понимания геодинамики процесса ИС это имеет первостепенное значение, поскольку время НР-УНР метаморфизма МК совпадает с появлением Магнитогорской внутриокеанической островной дуги в раннем девоне. В данной работе на основе прецизионных XRF и ICP MS анализов валового состава представительных образцов гранат-содержащих мафитовых пород МК предпринята попытка выявить временные, тектонические и геохимические особенности (индикаторы) процесса ИС и оценить их роль в геодинамическом развитии комплекса. Рассматриваются вопросы химического состава и генезиса протолитов комплекса, геодинамическая обстановка их источника, вопросы участия в субдукционном процессе мантийно-плюмового механизма и коровой контаминации, а также роль и значение бонинитовых офиолитов при инициации субдукции.

СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕСИ Pt В ПИРРОТИНЕ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ

**Филимонова О.Н., Абрамова В.Д. (ИГЕМ РАН), Квашнина К. О. (ESRF),**

**Ковальчук Е.В., Никольский М.С. (ИГЕМ РАН),**

**Тригуб А.Л. (НИЦ Курчатовский институт),**

**Чареев Д.А. (ИЭМ РАН), Тагиров Б.Р. (ИГЕМ РАН)**

[oliel@list.ru](mailto:oliel@list.ru) тел.: 8 499 230 82 54

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-05-00938 (синтез кристаллов) и РНФ №17-17-01220 (изучение форм нахождения металлов).*

Пирротин ( $Fe_{1-x}S$ ), является типичным рудным минералом многих типов месторождений, включая магматический, метаморфический, гидротермальный. Природные образцы пирротина часто содержат высокие содержания ЭПГ, в частности Pt. Однако структурно-химическое состояние (степень окисления и локальное атомное окружение) примеси Pt в сульфидных минералах является предметом дискуссий.

Для изучения структурно-химического состояния примеси Pt в пирротине были синтезированы кристаллы в расплаве хлоридов щелочных металлов в градиентных условиях при температурах 650-720°C. СЭМ-изображения и ЛА-ИСП-МС профили продемонстрировали гомогенное распределение Pt в матрице пирротина, максимальная концентрация Pt составила порядка 0.5 мас. %.

Сравнение XANES областей спектров образцов и стандартов показало, что формальная степень окисления Pt в пирротине составляет +2. Согласно результатам предварительной обработки спектров EXAFS  $L_3$ -края, в первой координационной сфере атомы Pt находятся в окружении ~6 атомов S на расстоянии 2.36 - 2.39 Å. Эти факты могут указывать как на формирование твёрдого раствора ( $Fe \leftrightarrow Pt$ ), так и на присутствие субмикронных/наноразмерных частиц PtS или PtS<sub>2</sub> в пирротине.

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО  
СОРБЕНТА ПСТМ-3Т В ОТНОШЕНИИ РТУТИ

**Фяйзуллина Р.В., Кузнецов Е.В., Салаватова Д.С. (МГУ)**

fiaizullina@geol.msu.ru; тел.: 8 (495) 939 49 43

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

Изучена возможность применения синтетического кремнийорганического сорбента ПСТМ-3Т для адсорбционного удаления ртути из водного раствора. Исследована зависимость адсорбции ртути от pH раствора, количества адсорбента и продолжительности контакта раствора с адсорбентом. Было показано, что величина адсорбции тем выше, чем выше кислотность раствора. Это обусловлено абсолютным доминированием катионной формы двухвалентной ртути  $Hg^{2+}$  и отрицательным зарядом поверхности сорбента. Установлено, что увеличение массы сорбента оказывает существенное влияние на смещение pH растворов в более щелочную область. Поэтому оптимальным соотношением сорбент – раствор следует считать соотношение 1:1000. Для интерпретации данных по равновесной адсорбции ртути была построена экспериментальная изотерма адсорбции, которая анализировалась с помощью уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха. В результате показано, что уравнение Фрейндлиха описывает процесс адсорбции значимо лучше, чем уравнение Ленгмюра.

ИОННО-ОБМЕННЫЕ РЕАКЦИИ В МИНЕРАЛАХ ГРУППЫ ЭПИДОТА

**Ханин Д.А., Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Калинин Г.М., Ханина Е.В. (ИЭМ РАН), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ)**

[mamontenok49@yandex.ru](mailto:mamontenok49@yandex.ru) [tatiana76@iem.ac.ru](mailto:tatiana76@iem.ac.ru) тел.: 8 (49652) 25857

С целью воссоздания механизма миграции элементов в водных растворах, как один из возможных механизмов образования алланитов, были проведены эксперименты по ионному обмену между эпидотом и растворами нитрата иттрия и нитрата церия с концентрациями 2М, 1М, 0,5М и 0,25М соответственно. В качестве исходного материала был выбран эпидот из месторождения Малый Кубайс (Магнитогорск). Синтез осуществлялся в гидротермальных условиях во фторопластовых автоклавах при широком диапазоне температур, которые не превышают 250 °С и давлении до 2 кбар. Кусочек эпидота размером 0,3\*0,3\*0,3 см<sup>3</sup> помещался в раствор и нагревался до температуры 100 °С, 150 °С, 200 °С и 230 °С. В наиболее концентрированных растворах происходило полное разложение эпидота, в растворах с концентрацией 1М наблюдался вынос железа и его переотложение в виде гидроокислов по трещинам в эпидоте.



**СИНТЕЗ ХРОМСОДЕРЖАЩЕГО АНГЛЕЗИТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Ханин Д.А. (ИЭМ РАН, ИВиС ДВО РАН), Чубаров В.М. (ИВиС ДВО РАН),**

**Ханина Е.В. (ИЭМ РАН)**

[mamontenok49@yandex.ru](mailto:mamontenok49@yandex.ru)

Находки гипергенных сульфатов на хроматных проявлениях на Урале со значительным (более 0.5 мас.%) содержанием  $\text{CrO}_3$  в литературе не описаны, хотя ванадаты, арсенаты и фосфаты, а также разнообразные двойные хромсодержащие оксосоли встречаются достаточно широко. Авторами был синтезирован один из самых распространенных гипергенных сульфатов – англезит со значительным содержанием  $\text{CrO}_3$  в нем (до 2.5 мас.%). Синтез осуществлялся в гидротермальных условиях во фторопластовых автоклавах при широком диапазоне температур, которые не превышают 250 °С и давлении до 2 кбар. Синтез осуществлялся в сернокислой и фосфорнокислой средах при участии хромата свинца, карбоната свинца и бихромата калия. Концентрации кислот не превышают 20%. Длительность опыта составляла 10 суток.

**КОРОВО-МАНТИЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ГРАНИЦЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ И НИЖНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ**

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

[garmr9@gmail.com](mailto:garmr9@gmail.com)

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 17-17-01169*

Единственной системой, отвечающей составу океанической коры, в ходе высокобарической эволюции которой могут образовываться водосодержащие фазы, является GLOSS (Global Ocean Subducting Sediment). Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение взаимодействия модельной системы GLOSS и перидотита ( $Ol_{60}Opx_{16}Cpx_{12}Grt_{12}$ ). Эксперименты проводились в институте Эхиме (Япония) с использованием многопуансонных прессов типа Kawai 2000-тонн при давлениях 18, 24 ГПа и температурах 1200-1600°C. Экспериментальные образцы характеризуются зональным строением: зоны перидотита, GLOSS (фазовые ассоциации представлены в основном фазами  $MgSiO_3$ ,  $CaSiO_3$ ) и зоной взаимодействия, в которой обнаруживаются высокоглиноземистые водосодержащие фазы. Концентрации алюминия в бриджманитах не превышают 8 мас.%  $Al_2O_3$ , и глинозем преимущественно накапливается в водосодержащих фазах. Были синтезированы высокоглиноземистая суперводная фаза  $B Mg_8Al_2Si_2O_{12}(OH)_6$  (до 18 мас.%  $Al_2O_3$ ), а также новый промежуточный член твердого раствора фазы Egg [ $AlSiO_3(OH)$ ] и нового соединения  $MgSiO_3(H_2O)$ , (до 57 мас.%  $Al_2O_3$ ). Таким образом, образование высокоглиноземистых водонасыщенных фаз в реакционной зоне, может привносить до 8 мас.%  $H_2O$  в мантию Земли, а вхождение алюминия стабилизирует их в область низких температур.

ОСОБЕННОСТИ ТЕКСТУРЫ И МИНЕРАЛОГИИ ОЛИВИН-СОДЕРЖАЩИХ КЛАСТЕРОВ В ПАЛЛАСИТЕ СЕЙМЧАН

**Хисина Н.Р., Сенин В.Г., Бадюков Д.Д., Рязанцев К. (ГЕОХИ РАН)**

Текстура и минералогия оливин-содержащих кластеров в метеорите Сеймчан (палласит) впервые изучена методами оптической микроскопии, SEM и EMPA. Оливиновые кластеры в металле, часто имеющие сфероидальную внешнюю форму, известны в ряде палласитов и представляют собой агрегацию более мелких оливиновых глобул. Механизм образования кластеров до сих пор дебатруется. В оливиновых кластерах метеорита Сеймчан впервые обнаружены области с необычной текстурой, которая образована гексагональной упаковкой одинаково ориентированных друг относительно друга гексагонально-призматических кристаллов оливина одинакового размера с расположением их в слое (100) по гексагональному закону. Узкие интерстициальные промежутки между параллельными гранями (001), (011) и (01-1) соседних кристаллов оливина заполнены фосфатом Са, троилитом, необычными срастаниями металлического никеля и троилита («петлеобразная» текстура), а также продуктами земного окисления камасита. Обсуждается возможность формирования наблюдаемой текстуры кластера в условиях повторного плавления с последующим медленным остыванием.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИОПСИДА С ФЛЮИДОМ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  В УСЛОВИЯХ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ ПРИ 750°C.

**Ходоревская Л.И. (ИЭМ РАН)**

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

Изложены результаты моделирования по переносу петрогенных компонентов при 750°C, 500 МПа в условиях градиента давления. Источником переносимых Si, Ca, Mg в опытах служил диопсид. Состав раствора был представлен 30 мас.%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . В качестве подложки, на которой осаждались вынесенные из диопсида элементы, использовался амфиболит. Во время экспериментов в градиентных условиях проходило частичное растворение диопсида с переносом и переотложением растворенных компонентов на подложке в виде амфибола  $Hbl_1$ . Нормирование  $Hbl_1$  и амфибола  $Hbl$ , образовавшегося на месте диопсида по инертному  $\text{SiO}_2$ , показало, что образование  $Hbl_1$  сопровождается выносом Ca, в то время, как в условиях взаимодействия флюидной фазы, представленной 25 мас.% NaCl, с диопсидом выносятся Fe и Mg.

О МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГАХ И РАЗНОГЛУБИННЫХ МАНТИЙНЫХ ИСТОЧНИКАХ  
БАЗАЛЬТОВ ПОД КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППОЙ ВУЛКАНОВ (КАМЧАТКА).

**Хубуня С.А., Гонтовая Л.И., Максимов А.П., Хубуня В.С. (ИВиС ДВО РАН)**  
[hubsa@kscnet.ru](mailto:hubsa@kscnet.ru)

Исследованы минералогические и геохимические особенности умереннокалиевых базальтов и К-трахиандезибазальтов Ключевской группы вулканов. Радиогенные изотопные отношения Sr, Nd и Pb в умереннокалиевых базальтах и К-трахиандезибазальтах указывают на их мантийный источник. Сравнительный анализ нормированного распределения некогерентных элементов К-трахиандезибазальтов с таковыми внутриплитных, рифтогенных и островодужных (надсубдукционных) умереннокалиевых базальтов и андезитобазальтов показал, что источник К-трахиандезибазальтов наиболее близок к источнику умереннокалиевых пород. Условия образования исходных умереннокалиевых магнезиальных расплавов оценены на основании их состава и предположении их равновесия с мантийным веществом лерцолит - гарцбургитового ряда. Полученные результаты позволяют предполагать отделение расплава от мантии при давлениях 15-20 кбар. Такая оценка проведена на основе диаграммы  $O1-P1-Q-Di$  с изобарами давлений, определенных по экспериментальным данным в присутствии  $H_2O$ . Условия образования исходных умереннокалиевых и К-трахиандезибазальтовых расплавов Ключевской группы вулканов свидетельствуют о разной глубине и разной степени плавления мантии при их образовании.

**Цельмович В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН), Максе Л.П. (ООО "Цедар")**

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

*Работа поддержана РФФИ, №16-05-00703, и ГЗ № АААА-А17-117040610183-6*

Изучена магнитная компонента вещества, выделенного из полиминеральной осадочной породы – трепела месторождения «Стальное», Могилевская обл., (Белоруссия). Трепел как природный композит включает группы минералов: смектиты (бейделлит, монтмориллонит), аморфный кремнезем (опал, опока), цеолиты (клиноптилолит, гейландит), микрокальцит (кокколитов), примеси терригенных минералов (кварц, полевой шпат, пириты) и тонкие пески-россыпи, содержащие редкоземельные элементы. При изучении магнитной компоненты трепела обнаружены Мт микросферы, предположительно это космическая пыль (КП).

Аналогичная КП было ранее обнаружена в голоценовых торфяных разрезах, отобранных в Прибайкалье, Кемеровской, Ярославской и Вологодской областях, в Кабардино-Балкарии [Цельмович и др., 2019]. Во всех этих точках была обнаружена фоновая КП.

КП непрерывно падает на Землю в количестве 40 тонн в год. С учетом того, что возраст хотимского трепела – десятки миллионов лет, а возраст торфов не превышает 12000 лет, мы сравнили КП, выделенную из торфа и трепела. Оказалось, что она имеет схожую морфологию и химический состав. Наиболее массовыми частицами КП являются Мт шарики абляционного происхождения и микрометеориты, чистое Fe и интерметаллиды FeCr, FeCrNi, FeCrAlNi. Этот факт – свидетельство единой природы разновозрастной КП, особенности которой будут изучены позднее.

## РАСТВОРИМОСТЬ ПИРОХЛОРА, МИКРОЛИТА И Nb/Ta ОТНОШЕНИЕ В ГРАНИТОИДНЫХ РАСПЛАВАХ С РАЗЛИЧНОЙ ЩЕЛОЧНОСТЬЮ - ГЛИНОЗЕМИСТОСТЬЮ

**Чевычелов В.Ю., Вирюс А.А. (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  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O})$  равными  $\approx 0.64$ ,  $\approx 1.10$  и  $\approx 1.70$ . 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  $\approx 1.7$  сут. (из них  $\approx 0.7$  сут. при 1350°C). Затем полученные стекла были насыщены 0.2 н водным раствором HF и в их состав были добавлены  $\approx 1$  мас.% LiF и  $\approx 0.5$  мас.% CaO. Эти опыты были проведены в присутствии буфера Ni-NiO на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (ИНРВ) при  $T = 900\text{-}1000^\circ\text{C}$ ,  $P = 100$  МПа и длительности  $\approx 6$  часов. Для экспериментов был использован пироклор из Вишневогорского ниобиевого месторождения следующего состава:  $(\text{Ca}_{1.1}\text{Na}_{0.8}\text{La}_{0.05}\text{Ce}_{0.05})(\text{Nb}_{1.8}\text{Ti}_{0.2})\text{O}_{5.9}\text{F}_{1.1}$ , а также ОН,Са-микролит из штата Минас-Жерайс, Бразилия, следующего состава:  $(\text{Ca}_{1.32}\text{Na}_{0.19}\text{Bi}_{0.03}\text{Mn}_{0.03}\text{Mg}_{0.02})(\text{Ta}_{1.68}\text{Nb}_{0.18}\text{Ti}_{0.08}\text{Fe}_{0.06})(\text{O,OH})_{5.67}\text{F}_{0.33}$ .

При подготовке экспериментов по определению растворимости пироклора и микролита в гранитоидных расплавах порошок модельного алюмосиликатного стекла засыпали в Pt ампулу, в центр помещали один достаточно крупный обломок зерна минерала, добавляли 2-3 мас.% р-ра HF и заваривали. Эксперименты были проведены на установке ИНРВ 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 и микролита в гранитоидных расплавах в данных условиях, а именно максимальные концентрации Nb (Ta) в расплавах непосредственно на границе с кристаллом. Полученные результаты сопоставлены с данными по растворимости колумбита и танталита в подобных условиях.

О РАСТВОРИМОСТИ ПРИРОДНОГО НЬ-СОДЕРЖАЩЕГО ЛОПАРИТА В КИСЛЫХ МОДЕЛЬНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ РАЗНОГО СОСТАВА

**Чевычелов В.Ю. (ИЭМ РАН)**

[chev@iem.ac.ru](mailto:chev@iem.ac.ru) тел.: 8(496)52-258-61

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

В экспериментах были использованы модельные гаплогранитные ( $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ ) расплавы с мол.  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}) \approx 0.64, \approx 1.10$  и  $\approx 1.70$ , приготовленные из гелевых смесей. Для экспериментов был использован Nb-содержащий лопарит из Ловозерского массива Кольского полуострова  $(\text{Na,Ce,La,Ca,Sr,Nd})(\text{Ti,Nb})\text{O}_3$ , содержащий  $\sim 21\text{-}25$  мас.%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Эксперименты по исследованию растворения лопарита в гранитоидных расплавах были проведены на установке высокого газового давления с внутренним нагревом (ИНРВ) при  $T = 750^\circ\text{C}$ ,  $P = 100$  МПа и длительности 5 суток. Получены количественные экспериментальные данные по растворимости Nb-содержащего лопарита в высокоглиноземистых, субглиноземистых и щелочных гранитоидных расплавах. Данные результаты позволяют количественно оценить влияние состава магматического расплава на содержания Nb в гранитоидных расплавах различного состава при растворении лопарита. Полученные результаты сопоставлены с данными по растворимости колумбита и танталита в подобных условиях.



ЗОНАЛЬНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕТРОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СУБКАЛЬЦИЕВЫХ ХРОМИСТЫХ ГРАНАТАХ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ

**Чепуров А.А., Лин В.В., Иштугин И.А. (ИГМ СО РАН)**

[acheurov@igm.nsc.ru](mailto:acheurov@igm.nsc.ru) тел.: (383) 333 2341

*Экспериментальные работы были выполнены при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-17-01154)*

В работе представлены результаты экспериментального исследования кристаллизации зональных субкальциевых хромистых гранатов в модельной ультраосновной системе при взаимодействии природного серпентина, хромита и корунда с Са-карбонатитом. Эксперименты выполнены на многопуансонном аппарате высокого давления “разрезная сфера” (БАРС) в Институте геологии и минералогии СО РАН. Эксперименты проводили при давлении 5 ГПа и температуре 1300 °С. После опытов состав фаз в образцах был близок к природным дунит-гарцбургитам: высокомагнезиальный оливин, ортопироксен и хром-шпинель. Гранат, кристаллизующийся в экспериментах, по составу близок к наиболее распространенным включениям хром-пиропов гарцбургитового парагенезиса в алмазах. Распределение MgO и FeO в гранате практически однородное. Концентрации хрома и алюминия очень хорошо обратно коррелируются. Ярче всего зональность проявлена по СаО – это демонстрирует привнос кальция флюидом в зону кристаллизации граната в ходе эксперимента. Полученные экспериментальные результаты показали важную роль карбонатита как источника СаО при кристаллизации пироповых гранатов, по составу типичных для включений гарцбургитового парагенезиса в природных алмазах.

СИСТЕМА ПЕЛИТ-СО<sub>2</sub> ПРИ 6 ГПа и 900-1500 °С

**Шацкий А.Ф., Арефьев А.В., Подбородников И.В., Литасов К.Д. (ИГМ СО; НГУ)**  
[shatskiy@igm.nsc.ru](mailto:shatskiy@igm.nsc.ru) тел.: 373-05-26 (доб.742)

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН*

Исследованы фазовые взаимоотношения в системе пелит-СО<sub>2</sub> при 6 ГПа и 900-1500 °С. Субсолидусная ассоциация представлена омфацитом, гранатом, кианитом, коэситом, доломитом, ортоклазом, рутилом и К<sub>2</sub>TiSi<sub>3</sub>O<sub>9</sub> вадеитом. При 1000 °С ортоклаз реагирует с доломитом с образованием граната, кианита, коэсита, молекулярного СО<sub>2</sub> и расплава с составом 40(K<sub>0.90</sub>Na<sub>0.10</sub>)<sub>2</sub>СО<sub>3</sub>·60Са<sub>0.55</sub>Mg<sub>0.24</sub>Fe<sub>0.21</sub>СО<sub>3</sub> + 1.9 SiO<sub>2</sub> + 0.7 TiO<sub>2</sub> + 1.4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При 1200 °С помимо карбонатной жидкости появляется алюмосиликатный расплав (мол.%): SiO<sub>2</sub> = 57.0, TiO<sub>2</sub> = 1.8, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 8.5, FeO = 1.4, MgO = 1.9, CaO = 3.8, Na<sub>2</sub>O = 3.1, K<sub>2</sub>O = 10.5, СО<sub>2</sub> = 12.0. Оба расплава остаются стабильными вплоть до 1500 °С, сосуществуя с СО<sub>2</sub> флюидом и минералами эклогитового парагенезиса. Полученные расплавы напоминают составы расплавных включений в кимберлитовых алмазах. Это позволяет предположить, что щелочные карбонатитовые и ультракалиевые алюмосиликатные расплавы, захваченные алмазами, могли образоваться в результате частичного плавления карбонатизированного материала континентальной коры, погруженного на глубину 200 км и нагретого до 1200-1500 °С.

СОСТАВЫ И УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТОЛЕИТОВЫХ МАГМ РАЙОНА ТРОЙНОГО СОЧЛЕНЕНИЯ БУВЕ (ЮЖНАЯ АТЛАНТИКА) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКАЛОЧНЫХ СТЕКОЛ И РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

**Шишкина Т.А., Портнягин М.В., Мигдисова Н.А., Сущевская Н.М. (ГЕОХИ РАН), Тихонова М.С. (геол. ф-т. МГУ), Крашенинников С.П. (ГЕОХИ РАН), Щербakov В.Д. (геол. ф-т. МГУ)**

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00990.*

Изучены образцы океанических толеитов из различных сегментов района тройного сочленения Буве (ТСБ) в Южной Атлантике: прилегающие сегменты Срединно-Атлантического (САХ) и Юго-Западного Индийского (ЮЗИХ) хребтов, хребет Шписс, остров Буве. Составы расплавов были определены по данным изучения закалочных стекол, природно-закаленных и экспериментально-гомогенизированных расплавных включений в оливине и плагиоклазе с использованием ряда аналитических методов (электронный микрозонд, ионный зонд, LA-ICP-MS, рамановская спектроскопия). Составы закалочных стекол варьируют от базальтов (9.4 мас.% MgO) до дацитов (1.5 мас.% MgO), тогда как расплавные включения представлены базальтовыми расплавами (49–53 мас.% SiO<sub>2</sub>; 5.5 – 10.0 мас.% MgO). Содержания главных петрогенных и летучих компонентов закономерно изменяются в ходе эволюции расплавов. Содержания воды увеличиваются от 0.25 мас.% H<sub>2</sub>O в наиболее примитивных расплавах до 1.2 мас.% H<sub>2</sub>O в расплавах, содержащих около 5 мас.% MgO. Температуры кристаллизации, оцененные разными методами, варьируют в диапазоне 1020-1140°C. Окислительно-восстановительные условия кристаллизации оцениваются на уровне от QFM+1.0 до QFM +1.5.

ТЕРМОДИНАМИКА ИСПАРЕНИЯ ПЕРОВСКИТА – МИНЕРАЛА БЕЛЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ  
ХОНДРИТОВ

**Шорников С. И. (ГЕОХИ РАН)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com), тел.: (812) 540-03-42

Высокотемпературным масс-спектрометрическим эффузионным методом Кнудсена изучено испарение перовскита  $\text{CaTiO}_3$  в области температур 1700–2200 К. В газовой фазе над перовскитом идентифицированы молекулярные компоненты типичные для простых оксидов и в незначительном количестве сложный газообразный оксид  $\text{CaTiO}_3$ . Впервые определенные значения парциальных давлений пара молекулярных компонентов, содержащихся в газовой фазе над перовскитом, сопоставлены с таковыми, соответствующими простым оксидам, показывая преимущественное влияние кальциевой составляющей перовскита на характер его испарения.

Полученные данные сопоставлены с таковыми для титаната магния  $\text{MgTiO}_3$ , титаната железа  $\text{FeTiO}_3$  и титаната алюминия  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-00801А).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ В СИСТЕМЕ CaO–FeO

**Шорников С. И. (ГЕОХИ), Шорникова М. С. (IPONWEB)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: 8 (812) 540 03 42

Физико-химические свойства системы CaO–FeO и ее соединений имеют важное значение как составляющей многокомпонентных систем, представляющих приоритетное научное и прикладное значение.

В системе CaO–FeO обнаружено единственное соединение – феррит кальция (CaFeO<sub>2</sub>), которое разлагается при температуре 1318±5 К. Термодинамические свойства расплавов в системе CaO–FeO в области температур 1300–2200 К были рассчитаны с помощью полуэмпирической модели (Шорников, 2009–2018). Исходными данными для расчетов являлись экспериментальные данные о стандартных энергиях Гиббса  $G^\circ(i)$  образования простых оксидов (FeO и CaO) и феррита кальция. В составе газовой фазы над кальциевоферритным расплавом учитывали наличие Fe, Fe<sub>2</sub>, FeO, FeO<sub>2</sub>, Ca, Ca<sub>2</sub>, CaO, O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>4</sub> и CaFeO<sub>2</sub>. Рассчитаны величины активностей оксидов и энергий смешения в расплавах системы CaO–FeO и сопоставлены с имеющимися в литературе данными, которым удовлетворительно соответствуют.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-00801А).

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

**Шорников С. И. (ГЕОХИ РАН)**

[sergey.shornikov@gmail.com](mailto:sergey.shornikov@gmail.com); тел.: 8 (812) 540 03 42

В системе MgO–TiO<sub>2</sub> образуется три соединения – кандилит (Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>), гейкилит (MgTiO<sub>3</sub>) и карроит (MgTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), представляющие интерес для петрологии и промышленных технологий (металлургия титана, производство радиокерамики).

В рамках разработанной полуэмпирической модели (Шорников, 2009–2018), рассчитаны величины активностей оксидов и энергий смешения в расплавах рассматриваемой системы в области температур 1700–2500 К. Исходными данными для термодинамических расчетов являлись экспериментальные данные о стандартных энергиях Гиббса  $G^\circ(i)$  образования простых оксидов (MgO и TiO<sub>2</sub>) и титанатов магния в кристаллическом и жидком состоянии; в составе газовой фазы рассматривались следующие компоненты: Mg, Mg<sub>2</sub>, MgO, Ti, TiO, TiO<sub>2</sub>, Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ti<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>4</sub> и MgTiO<sub>3</sub>.

Сопоставление результатов расчетов величин активностей оксидов и энергий смешения расплавов в системе MgO–TiO<sub>2</sub> с имеющимися в литературе данными показывает удовлетворительное соответствие.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-00801А).

РОЛЬ ЛИТИЯ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ГРАНИТНЫХ РАСПЛАВОВ С ПРЕДЕЛЬНЫМИ СОДЕРЖАНИЯМИ ФТОРА И РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДАВЛЕНИИ ОТ 1 ДО 5 КБАР

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

[t-shchekina@mail.ru](mailto:t-shchekina@mail.ru), [aleks7975@yandex.ru](mailto:aleks7975@yandex.ru), тел.: +7 (495) 939-20-40

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

Введение в модельную гранитную систему SI-AL-NA-K-F-O-H лития в количестве около 2 ат.% при 800°С и 1 кбар приводит к появлению широкой области несмесимости между алюмосиликатным и LiKNa-алюмофторидным (солевым) расплавами в системе (Граменицкий и др., 2005; Алферьева и др., 2011). Показано, что солевой расплав, обогащенный литием по сравнению с силикатным, устойчив при 800°С в интервале давлений от 1 до 5 кбар и вплоть до 600°С при 1 кбар. Редкоземельные элементы, иттрий и скандий, наряду с литием, накапливаются с высокими коэффициентами разделения  $\gg 1$  в солевом расплаве в интервале 800 - 600°С при 1 кбар. Они остаются в нем вплоть до его полной кристаллизации в виде комплексных соединений REE, Y и Sc, образующих при закалке фториды и LiKNa-фториды. Обнаружено, что повышение давления от 1 до 5 кбар приводит к сближению концентраций Li, REE, Y и Sc в силикатном и солевом расплавах и существенному понижению их коэффициентов разделения.

КАТАСТРОФНЫЕ СЛОИ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЛАДОЖСКОГО ИМПАКТА

**Юрковец В. П. (*The Academy of DNA Genealogy*)**  
[valery.yurkovets@gmail.com](mailto:valery.yurkovets@gmail.com) тел. 8 (921) 407 13 79

Наряду с шокowymi микроструктурами, образованными в зёрнах кварца специфическими ладожскими тектитами - муассанитом и магнитными микросферулами, в южном Приладожье обнаружены подобные формы макроскопического порядка. Они образованы высокоскоростными неупругими ударами капель импактного расплава, в основном, железа и щелочей, в гальку кембрийских песчаников. В этой же части разреза встречаются обильно ожелезнённые снаружи обломки пород, иногда со следами высокоскоростных ударных взаимодействий и аэродинамическим рисунком поверхности. На расстоянии около 150 километров от центра ладожского импакта, в Кирсинско-Шапкинских камах, мощность таких образований достигает десяти и более сантиметров. Состоят они, в основном, из пород мишени. В этом же горизонте ледниковых отложений встречены сильно магнитные образцы, имеющие аэродинамическую форму, корку плавления и обладающие единым петрологическим составом. Минералогическим маркером этой группы образцов является пижонит. Один такой образец был подвергнут оптическому, рентгено-структурному, микронзондовому и некоторым другим видам анализа, по результатам которых он был предварительно отнесён к метеоритам группы НED. Сейчас таких образцов разного размера найдено около десятка.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ОКСИДА МОЛИБДЕНА (VI) В РАСТВОРАХ HCl ПРИ 100-200°C И ДАВЛЕНИИ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ВОДЫ

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

yakimenko\_alice@mail.ru тел.: 8 (926) 670 04 70

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-35-00075)*

Растворимость оксида молибдена и молибденовой кислоты в соляной кислоте хорошо исследована при комнатной температуре. Показано, что в растворе HCl происходит образование комплекса  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2^{\circ}(\text{aq})$ , что увеличивает растворимость оксида молибдена. Целью данной работы является определение роли комплекса  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2^{\circ}(\text{aq})$  в переносе молибдена в условиях гидротермального процесса. Исследована растворимость оксида  $\text{MoO}_3$  в растворах HCl концентрацией до 5 моль/кг при температуре 100, 150, 200°C и давлении насыщенного пара воды. Для определения времени установления равновесия была проведена кинетическая серия. Результаты показали, что растворимость оксида молибдена (VI) возрастает в кислых растворах с концентрацией HCl выше 0,1 М и при повышении температуры в исследуемом диапазоне от 100 до 200°C. Это можно объяснить появлением комплекса  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2^{\circ}(\text{aq})$ .

ПРОБЛЕМА ОПИСАНИЯ ИЗОТОПНОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ В ТУГОПЛАВКИХ ВКЛЮЧЕНИЯХ ХОНДРИТОВ

**Яковлев О. И. (ГЕОХИ РАН)**

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

Изучение испарительных изменений состава в тугоплавких включениях хондритов свидетельствует о тесной взаимосвязи химического и изотопного фракционирования. Теоретическое описание связи осуществляется с помощью уравнений скорости испарения компонента расплава (уравнение Герца-Кнудсена) и изотопного фракционирования Рэлея. Принятая в зарубежной литературе форма уравнения Рэлея, выведенная из уравнения Герца-Кнудсена, сталкивается с трудностями при интерпретации экспериментальных данных. Несовпадение экспериментальных и модельных данных объясняется тем, что используемый в уравнении Рэлея «идеальный» фактор изотопного фракционирования не учитывает его зависимости от температуры и состава испаряющегося расплава. В докладе будут приведены новые выражения уравнения Рэлея и Герца-Кнудсена с учётом активности компонента расплава. Предложенное нами уравнение Герца-Кнудсена показывает принципиально новую зависимость скорости испарения компонента расплава, которая определяется не только давлением пара этого компонента, взятого в чистом виде, но также его концентрацией и коэффициентом активности в расплаве. Последний является важным параметром, определяющим характер химического и изотопного фракционирования, вследствие зависимости коэффициента от постоянно меняющейся в процессе испарения расплава химической среды. Применительно к веществу тугоплавких включений активности компонентов в их расплавах зависят показателя кислотности-основности, который оказывает заметное влияние на испарительное фракционирование изотопов магния и кремния.