

## ХРОНИКА ВСЕРОССИЙСКОГО ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ 2021 ГОДА

© 2022 г. Е. В. Жаркова\*

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: zharkova@geokhi.ru

Поступила в редакцию 14.09.2021 г.

После доработки 27.09.2021 г.

Принята к публикации 28.09.2021 г.

25–26 мая 2021 г. в Москве после годичного перерыва, связанного с всемирной пандемией, прошел в очной форме очередной Всероссийский ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии, организованный Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского и Институтом экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН. На семинаре были представлены новейшие результаты экспериментальных исследований по основным направлениям: фазовые равновесия при высоких  $T$ - $P$  параметрах; образование и дифференциация магм; взаимодействие в системах флюид–расплав–кристалл; гидротермальные равновесия и рудообразование; синтез минералов; термодинамические свойства минералов, расплавов и флюидов; планетология, метеоритика и космохимия; физико-химические свойства геоматериалов; экспериментальная геоэкология; методика и техника эксперимента. В работе семинара приняло участие 280 специалистов из 45 российских и 9 зарубежных научных организаций, представлено более 140 докладов.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, образование и дифференциация магм, фазовые равновесия, высокие  $T$ - $P$  параметры, флюид–расплав–кристалл, гидротермальные равновесия, синтез минералов, термодинамические свойства, планетология, космохимия, физико-химические свойства, геоэкология

DOI: 10.31857/S0016752522030098

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

На пленарном заседании было заслушано два научных доклада: *Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Сокол А.Г., Баталева Ю.В., Куприянов И.Н., Реутский В.Н., Соболев Н.В. (ИГМ СО РАН), Виденбек М. (Центр наук о Земле, Потсдам, Германия)* рассмотрели электрохимические процессы в глубинных зонах Земли, которые связали с вариациями магнитного поля и редокс гетерогенностью мантии. Для экспериментального изучения минералообразующих процессов под действием электрического поля разработали специальные ячейки высокого давления. Впервые предложили и экспериментально обосновали модель образования алмаза в условиях мантии Земли при воздействии электрического поля на карбонатные и карбонатно-силикатные расплавы, соответствующие по составу природным алмазообразующим средам. Эксперименты провели при давлениях 6.3 и 7.5 ГПа в интервале температур 1300–1600°C. Установили, что за счет разности потенциалов (0.4–1 вольт) происходит экстракция углерода из карбонатов и кристаллизация алмаза на катоде в ассоциации с мантийными минералами.

Показали, что в изученном процессе карбонаты являются главными компонентами среды кристаллизации алмаза и единственным источником углерода. При кристаллизации алмаза и графита под действием электрического поля происходит фракционирование изотопов углерода, существенно превышающее термодинамически равновесное. Полученные результаты доказали, что электрические поля могут значимо влиять на мантийные минералообразующие процессы, изотопное фракционирование углерода и глобальный углеродный цикл.

*Сидкина Е.С., Мироненко М.В. (ГЕОХИ РАН)* представили работу по термодинамическому моделированию преобразования осадочной породы, содержащей кероген, в интервале температур 50–400°C при постепенно повышающемся давлении от 300 до 2200 бар. Расчеты авторов воспроизвели химическую направленность трансформации керогена и метаморфизма минеральной составляющей породы. В качестве исходного вещества взяли кероген состава  $C_{292}H_{288}O_{12}$ , который преобразуется в менее высокомолекулярный и более окисленный кероген  $C_{128}H_{68}O_7$ , уже начи-

ная с температуры 50°C. По результатам расчетов видно, что жидкая углеводородная фаза (нефть) появлялась при более высоких температурах, чем в природе по геологическим данным, и примерно при тех же температурах, что в экспериментальных работах по получению синтетической нефти. При этом кероген и нефть существовали вместе только в узком интервале температур ~300–350°C. Полученная в расчете нефть на 92% состояла из алкановых углеводородов. При дальнейшем повышении температуры кероген полностью разрушался, а в нефти возрастала доля ароматических углеводородов до 49–77%. Отметим, что метаново-углекислая газовая фаза присутствовала в системе во всем рассматриваемом интервале температур и давлений.

### ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ ПРИ ВЫСОКИХ РТ ПАРАМЕТРАХ

*Пальянов Ю.Н., Баталева Ю.В., Борздов Ю.М., Куприянов И.Н. (ИГМ СО РАН)* для моделирования процессов генезиса алмаза исследовали влияние содержания серы в системе Fe<sub>9</sub>Ni<sub>1</sub>-C на процессы роста, морфологию и дефектно-приемный состав алмаза при 6 ГПа и 1400°C. Установили, что сульфиды оказывают сильное ингибирующее действие на кристаллизацию алмаза, показали, что образование алмаза в процессе сульфидизации металл-углеродных расплавов является одним из потенциальных механизмов генезиса алмаза в восстановленных доменах мантии Земли. *Жимулев Е.И., Карпович З.А., Чепуров А.И. (ИГМ СО РАН)* изучили нарастание кубического алмаза на фрагментах импактных алмазов Попигайской астроблемы в системе Fe-Ni-C. Новообразованный кубический алмаз по основным своим свойствам (КР-спектры, морфология, окраска и др.) соответствует синтетическим алмазам, выращенным в железоникелевой системе. Показали, что отличительной особенностью кристаллов алмаза, выращенных на фрагментах попигайских алмазов, является многоглавый рост и двойникование. Вероятно, это связано с блочным строением импактных алмазов. Нарастание лондейлита на затравки при параметрах экспериментов не зафиксировано. *Баталева Ю.В., Борздов Ю.М., Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН)* экспериментальные исследования, направленные на оценку влияния восстановленных преимущественно серных флюидов на процессы алмазообразования в условиях субдукции, провели в системах карбид-карбонат-сера и железо-карбонат-сера на аппаратуре БАРС (6.3 ГПа, интервал 900–1600°C, 18–60 ч). Установили, что при 900 и 1000°C в системе карбид-карбонат-сера происходит экстракция углерода из когенита за счет взаимодействия с восстановленным серным флюидом, а также реализуются углерод-продуцирующие окисли-

тельно-восстановительные реакции карбида с карбонатом. Продемонстрировали, что участие серных флюидов в процессах алмазообразования в условиях субдукции приводит к повышению температуры кристаллизации алмаза, снижению скорости роста алмаза, а также к резкому снижению температуры частичного плавления (~300°C). *Сокол А.Г. (ИГМ СО РАН), Заикин П.А. (НИОХ СО РАН), Заикина О.О. (ИК СО РАН), Сокол И.А. (ИГМ СО РАН)* в первом приближении реконструировали химические процессы, связанные с образованием углеводородов при *P-T-fO<sub>2</sub>* параметрах, близких к условиям в мантиях планет земного типа. Имеющиеся данные однозначно подтвердили образование углеводородов путем гидрирования различных источников углерода в условиях с различной фугитивностью кислорода. Карбонаты, диоксид углерода, элементарный углерод в форме алмаза, графита или аморфного углерода и, наконец, карбиды металлов могут выступать в качестве источников для образования углеводородов. *Сокол А.Г., Крук А.Н., Кораблин А.А. (ИГМ СО РАН)* рассмотрели фазы системы Fe-Fe<sub>3</sub>C-Fe<sub>3</sub>N при 7.8 ГПа и 1150°C как потенциальные концентраторы углерода и азота в мантийном самородном железе и впервые экспериментально показали, что карбонитрид железа, обнаруженный ранее в глубинных алмазах, может быть важной фазой-концентратором С и N в самородном железе. *Шацкий А.Ф., Арефьев А.В., Подбородников И.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)* изучали образование калиевых карбонатных и алюмосиликатных расплавов в системе модельный пелит-CO<sub>2</sub> при *P-T* параметрах алмазообразования. Показали, что составы этих жидкостей близки к составам ультракалиевых карбонатитовых и алюмосиликатных расплавов из включений в природных алмазах. Этот факт обосновывает возможность их образования в результате частичного плавления карбонатизированного материала континентальной коры, субдуцированного на глубину 200 км. *Бенделиани А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Бинди Л. (ун-т Флоренции), Ирифуне Т. (ун-т Эхиме)* впервые провели эксперименты, моделирующие корово-мантийное взаимодействие на глубинах, соответствующих переходной зоне и нижней мантии Земли. В ходе моделирования определили минеральные ассоциации, указывающие на возможность образования водосодержащих высокоглиноземистых фаз, при участии корового субстрата при давлениях 18, 24 ГПа. Предложили принципиально новые реакции образования водосодержащих фаз, обсуждаемые в рамках детального анализа межфазового распределения главных и примесных элементов в экспериментах по корово-мантийному взаимодействию. *Никитина М.А. (ИТПЗ РАН), Родкин М.В. (ИТПЗ РАН; ИМГиГ*

ДВО РАН), Шмаков И.Г. (ИТПЗ РАН) изучали распределение сейсмичности и связь с фронтами метаморфических превращений внутри субдуцирующей плиты. Авторы провели статистическую обработку данных по землетрясениям в следующих зонах субдукции, соответствующих поверхностным структурам: разлома Хикуранги (Сев. о-в Новой Зеландии), Алеутского желоба (Аляска), разлома Нанкай (юго-западная Япония), Японского желоба (северо-восточная Япония). Наличие подробных сейсмотомографических данных позволяет построить трехмерную модель верхней поверхности океанической плиты с помощью уравнения поверхности Кунса и рассматривать гипоцентры землетрясений в координатах глубина-расстояние до верхней границы погружающейся плиты. Бурова А.И. (МГУ), Черткова Н.В., Спивак А.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН) исследовали фазовые отношения в системе ильменит-оливин- $\text{H}_2\text{O}$  при 6 ГПа. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при построении моделей кристаллизации, роста и захвата алмазом  $\text{H}_2\text{O}$ -содержащих включений в условиях высоких давлений и температур. Искрина А.В. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Кузьмин А.В. (ИФТТ РАН), Чаритон С. (Центр передовых источников излучения, Университет Чикаго), Федотенко Т. (Институт физики материалов при экстремальных условиях, г. Байройт), Дубровинский Л.С. (Баварский Геоинститут, г. Байройт) экспериментально изучали постшпинелевые фазы в системах  $\text{Ca-Al-O}$  и  $\text{Mg-Al-Cr-O}$  в условиях переходной зоны и нижней мантии Земли. Получили данные, подтверждающие возможность существования исследуемых фаз при высоких давлениях и предполагающие их активную роль в качестве фаз-концентраторов элементов на больших глубинах. Ращенко С.В., Шацкий А.Ф. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) представили последние данные по кристаллохимии многочисленных высокобарических щелочно-кальциевых карбонатов, синтезированных в последние годы, и, рассмотрели их возможные роли в транспорте углерода и других элементов в мантии Земли. Арефьев А.В., Шацкий А.Ф., Степанов К.М., Подбородников И.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) исследовали образование жидкостной несмешиваемости в щелочных карбонат-алюмосиликатных системах при  $P$ - $T$  параметрах (6 ГПа и 900–1500°C) природного алмазобразования. Показали, что увеличение Na в системе  $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CO}_2$  поглощает  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  из силикатного расплава с образованием клинопироксена, что смещает поле сосуществования карбонатной и силикатной жидкостей в область более высоких температур или полностью прекращает появление несмешиваемости между алюмосиликатным и карбонатным

расплавом. Арефьев А.В., Шацкий А.Ф., Подбородников И.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) изучали фазовые взаимоотношения в системе  $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-MgCO}_3$  при  $P$ - $T$  параметрах литосферной мантии. Сопоставление минимальных температур плавления с континентальными геотермами указало на то, что  $\text{K-Ca-Mg}$  карбонатные расплавы, содержащие 40–53 мол. %  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , устойчивы при  $P$ - $T$  параметрах континентальной литосферы на глубинах 100–200 км. Подбородников И.В., Шацкий А.Ф., Арефьев А.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) исследовали влияние Na и K на реакцию клинопироксена с магнезиальным карбонатом при 3 и 6 ГПа применительно к плавлению системы перидотит- $\text{CO}_2$ . Определили, что при 4.5–6 ГПа присутствие натрия в клинопироксене не оказывает сильного влияния на плавление карбонатизированного перидотита. Бехтенова А.Е., Шацкий А.Ф., Подбородников И.В., Арефьев А.В., Рагозин А.Л. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) рассмотрели взаимодействие карбонатитовых расплавов с природным перидотитом и эклогитом при давлении 6 ГПа и температурах 1100–1200°C. В результате исследования установили составы силикатных фаз и составы щелочных карбонатитовых расплавов, которые могут находиться в равновесии с верлитами, лерцолитами, гарцбургитами и эклогитами. Бехтенова А.Е., Шацкий А.Ф., Подбородников И.В., Арефьев А.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) экспериментально изучал системы Na-карбонатит и K-карбонатит при 3 и 6.5 ГПа в интервале 750–1200°C. Уточнили составы карбонатных расплавов и субсолидусных ассоциаций, а также минимальные температуры плавления систем. Установили, что фазовый состав карбонатов и составы расплавов из сложных систем полностью согласуются с тройными Na-Ca-Mg и K-Ca-Mg карбонатными диаграммами при 3 и 6 ГПа. Федорова А.С., Шацкий А.Ф. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН) исследовали фазовые взаимоотношения в системе  $\text{CaCO}_3\text{-CaSiO}_3$  при 6 ГПа и 1300–1750°C. Установили, что  $T$ - $X$  диаграмма данной системы имеет эвтектический вид. Выявили, что совместная кристаллизация алмаза и валстромита из раствора углерода в кальциевом карбонат-силикатном расплаве возможна при температурах не ниже 1400°C, что согласуется с гипотезой о сублитосферном генезисе подобных алмазов. Бутвина В.Г., Косова С.А. (ИЭМ РАН), Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ) изучали системы хромит-рутил/ильменит- $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$  при 2.0 ГПа: приложение к мантийному метасоматозу. Эксперименты при 2 ГПа и 1000–1200°C показали наименьшую кристаллизационную способность калиевых титанатов. При данном давлении происходило образование титана-

тов размером менее 10 мкм и только представитель магнетоплюмбитовой группы. *Бутвина В.Г. (ИЭМ РАН), Сафонов О.Г. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ), Воробей С.С. (геол. ф-т МГУ), Ван К.В. (ИЭМ РАН)* привели данные серии экспериментов по реакции разложения высокохромистого пиропового граната при его взаимодействии с калиевым флюидом в присутствии титанистых фаз (ильменита и рутила) при 3.5 и 5 ГПа. Определили, что в результате разложения граната происходит образование большого количества хромистой шпинели и флогопита. *Гаврюшкин П.Н., Сагатова Д., Сагатов Н. (ИГМ СО РАН), Литасов К.Д. (ИФВД)* изучали образование Mg-ортокарбоната по реакции  $MgCO_3 + MgO = Mg_2CO_4$  при  $P$ - $T$  параметрах нижней мантии Земли. На основе расчетов по предсказанию структур в рамках теории функционала плотности показали стабильность ортокарбонатов щелочноземельных элементов (Mg, Ca, Sr, Ba) с углеродом в тетраэдрической координации и структурами, аналогичными структурам силикатов. *Гирнис А.В. (ИГЕМ РАН), Булатов В.К. (ГЕОХИ РАН), Вудланд А., Брай Г.П., Хофер Н. (Университет им. И.-В. Гете, Франкфурт на Майне, Германия)* основываясь на результатах экспериментов, пришли к заключению, что включения брайита в природных алмазах могли образоваться в верхней мантии из ассоциации арагонит-коэсит или карбонатного расплава при 6–8 ГПа в результате его восстановления при высокой активности воды. *Горбачев Н.С., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Некрасов А.Н., Султанов Д.М. (ИЭМ РАН)* изучали фазовые соотношения и распределение сидерофильных элементов (СЭ) в системе Fe–S–C с избытком углерода при  $P = 4.0$  ГПа,  $T = 1500^\circ\text{C}$ . Наблюдалось фракционирование сидерофильных элементов при распределении между Fm и Fs. *Костюк А.В., Горбачев Н.С., Некрасов А.Н., Султанов Д.М. (ИЭМ РАН)* провели плавление гранат-содержащего карбонатита каледонского покрова Балтийского щита (район г. Тромсе, Норвегия) в сухой и  $H_2O + CO_2$ -содержащей системе при  $T = 950\text{--}1400^\circ\text{C}$ ,  $P = 4.0$  ГПа. Полученные данные свидетельствуют о том, что формирование гранат-содержащих карбонатитов района Тромсе может быть связано с карбонатизацией и плавлением вещества верхней мантии при высоких давлениях с последующим внедрением и кристаллизацией силикатно-карбонатных магм. *Кузюра А.В., Литвин Ю.А. (ИЭМ РАН)* рассмотрели перитектическую реакцию оливина в системе оливин–жадеит–диопсид–гранат  $\pm (C-O-H)$  как ключевой механизм ультрабазит-базитовой эволюции верхне-мантийного магматизма (эксперимент при 6 ГПа). *Лиманов Е.В., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Ван К.В., Воробей С.С. (ИЭМ РАН)* изучили образование К-рихтерита в присутствии флюида  $K_2CO_3-Na_2CO_3-CO_2-H_2O$  при давлении 3 ГПа. *Матросова Е.А. (ГЕОХИ РАН), Бобров А.В.*

*(ГЕОХИ РАН, геол. ф-т МГУ), Бинди Л. (ун-т Флоренции), Ирифуне Т. (ун-т Эхиме)* провели эксперименты по изучению системы  $MgAl_2O_4-MgCr_2O_4$  на многопуансонном аппарате высокого давления. Главной целью опытов являлось определение условий и механизма образования, выявления структурных особенностей постшпинелевых фаз в модельной системе  $MgO-Al_2O_3-Cr_2O_3$ . *Подбородников И.В., Шацкий А.Ф., Арефьев А.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)* исследовали систему  $Na_2CO_3-CaCO_3-MgCO_3$  при 3 и 6 ГПа. Определили, что система имеет одну эвтектическую точку, расположенную при  $850^\circ\text{C}$  и  $52Na_2CO_3 \cdot 48(Ca_{0.62}Mg_{0.38})CO_3$ , которая контролируется реакцией, при которой охлаждение расплава приводит к образованию шортита,  $Na_2CO_3$  и зйтелита, кроме того, система имеет пять тройных перитектических точек. *Сагатова Д.Н., Шацкий А.Ф. (НГУ, ИГМ СО РАН), Сагатов Н.Е. (ИГМ СО РАН), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)* на основе теории функционала плотности с помощью метода решеточной динамики в квазигармоническом приближении впервые комплексно исследовали фазовые взаимоотношения в одной из ключевых петрологических систем,  $CaSiO_3$ , в интервале давлений 0–100 ГПа и температур 0–2500 К. *Сагатова Д.Н., Шацкий А.Ф., Гаврюшкин П.Н. (НГУ, ИГМ СО РАН), Сагатов Н.Е. (ИГМ СО РАН), Литасов К.Д. (ИФВД РАН)* исследовали термодинамическую стабильность  $Ca_2CO_4$  относительно  $MgSiO_3$  (бриджманит),  $MgO$  (периклаз) и  $SiO_2$  (кремнезем) в диапазоне давлений 20–100 ГПа и температур 500–2000 К на основе теории функционала плотности с помощью метода решеточной динамики в рамках квазигармонического приближения. Согласно полученным результатам, во всем исследованном  $P$ ,  $T$ -диапазоне  $Ca_2CO_4$  находился в термодинамическом равновесии с периклазом, тогда как его сосуществование с бриджманитом не выгодно и приводило к образованию магнетита, Са-перовскита и периклаза. *Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Боровикова Е.Ю. (МГУ), Сеткова Т.В., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)* для синтетического бруногайерита провели КР-спектроскопическое исследование при давлениях до 30 ГПа с использованием аппарата с алмазными наковальнями. Экспериментальные и расчетные данные показали возможный фазовый переход при  $\sim 1.5$  ГПа. *Спивак А.В., Литвин Ю.А., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН)* изучали формирование и стабильность аренсита  $\gamma\text{-Fe}_2SiO_4$  при 15–20 ГПа. Получили данные по условиям формирования и стабильности аренсита, а также по фазовым реакциям в алмазообразующей системе, обогащенной железистым компонентом  $Fe_2SiO_4$ . *Фурман О.В. (ИГМ СО РАН, НГУ), Баталева Ю.В., Борздов Ю.М., Пальянов Ю.Н. (ИГМ СО РАН)* исследовали влияние концентрации серы на сульфидизацию оливина

при высоких  $P, T$ -параметрах. Экспериментально продемонстрировали, что восстановительные агенты серного метасоматоза даже в минимальных концентрациях способны растворять и транспортировать мантийные силикаты и сульфиды, а также играть одну из ключевых ролей в рудообразующих процессах с участием мантийных серных флюидов.

### ОБРАЗОВАНИЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАГМ

*Николаев Г.С. (ГЕОХИ РАН)* на основе анализа данных по содержанию меди в породах расслоенного Бураковско-Аганозерского плутона (более 10000 проб из 160 скважин) установил два типа геохимической структуры малосульфидной минерализации. Первый тип характеризуется минерализацией всей мощности нижней пачки двупироксеновых кумулатов и практически отсутствием сульфидов в вышележащих толщах. Второй тип – медная минерализация приурочена к верхней части нижней пачки двупироксеновых кумулатов, а выше по разрезу среди пород зоны двупироксен-плаггиоклазовых кумулатов наблюдаются интенсивно минерализованные интервалы. Предложил модель формирования малосульфидной минерализации плутона: появление на ликвидусе клинопироксена привело к сульфидной ликвации и формированию разрезов первого типа; процессы инфильтрации интеркумулятивного расплава при компактизации кумулятивных толщ привели к растворению и переносу на сотни метров вверх сульфидного вещества, с формированием разрезов второго типа. *Криволицкая Н.А., Коньшев А.А. (ГЕОХИ РАН), Гонгальский Б.И. (ИГЕМ РАН), Штокало Р.В., Крашенинников С.П., Демидова С.И. (ГЕОХИ РАН)* впервые измерили концентрации летучих компонентов в расплавах включениях в пироксенах и оливинах габбро-долеритов Талнахского и Масловского месторождений, гомогенизированные при температуре 1200–1170°C в печи с регулируемой фугитивностью кислорода (ГЕОХИ РАН). Изученные породы характеризовали главный – трапповый – этап развития магматизма Сибирской провинции. Полученные результаты не подтвердили гипотезу образования траппов в условиях субдукции, выдвинутую рядом исследователей. *Русак А.А. (ГЕОХИ РАН), Шекина Т.И., Зиновьева Н.Г. (геол. ф-т МГУ), Хвостиков В.А. (ИПТМ РАН)* исследовали особенности субсолидусной кристаллизации в высокофтористой модельной гранитной системе. *Русак А.А., Луканин О.А., Кононкова Н.Н., Каргальцев А.А. (ГЕОХИ РАН)* провели первые эксперименты в системе  $\text{SiO}_2\text{--MgO--FeO}$  в присутствии кальциевой и графитовой фаз при температуре 1500–1600°C и давлениях 2.5–3.5 ГПа. *Шекина Т.И. (геол. ф-т МГУ), Русак А.А. (ГЕОХИ РАН), Алфе-*

*рьева Я.О., Зиновьева Н.Г. (геол. ф-т МГУ), Хвостиков В.А. (ИПТМ РАН)* изучили поведение редкоземельных элементов (REE), Y, Sc в модельной гранитной системе  $\text{Si--Al--Na--K--Li--F--O--H}$  с предельным содержанием фтора при температурах от 1250 до 400°C, давлении 1 кбар. Показали, что при высоких температурах 1250–1000°C алюмосиликатный расплав L является гомогенным, лишь при закалке в нем образуются мелкие выделения  $\text{Li--K--Na}$  алюмофторидов различного состава, в которых наблюдаются повышенные содержания REE. Существенное накопление REE в остаточных солевых расплавах, богатых летучими компонентами ( $\text{H}_2\text{O}$  и F), указывает на возможный механизм концентрации REE, Y и Sc в гранитных массивах на последних стадиях их дифференциации и в пегматитах. *Жаркова Е.В., Луканин О.А. (ГЕОХИ РАН)* определили собственную летучесть кислорода ( $f\text{O}_2$ ) минералов (оливинов, пироксенов и шпинелей) шпинелевых лерцолитов из различных регионов. Результаты измерений показали, что самой низкой летучестью кислорода, которая лежит в области буферных равновесий QFI и IW при низких температурах (800–900°C) и немного выше (на 1–1.5 lg ед.  $f\text{O}_2$ ) при  $\geq 1100^\circ\text{C}$ , обладают минералы Тянь-Шаня.  $f\text{O}_2$  шпинелевых лерцолитов вулкана Шаварын-Царам располагается посередине области буферных равновесий WM-IW. Самой высокой  $f\text{O}_2$  обладают минералы шпинелевых лерцолитов Байкальской рифтовой зоны, располагающиеся в области IW-WM при низких температурах (800–900°C) и WM, и выше при 1100°C. *Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН)* провела опыты в сухих условиях, которые позволили построить диаграмму фазового равновесия мелилитового нефелинита в координатах температура-давление. Эксперименты показали, что мелилитовый нефелинит характеризуется весьма широкими полями кристаллизации мелилита, клинопироксена и оливина, который является ликвидусной фазой вплоть до 30 кбар, что значительно превышает по давлению поле стабильности оливина в толеитовых и щелочных базальтах той же магнезиальности. Очень интересной особенностью состава кристаллизующихся оливинов явилась высокая концентрация в них кальция – вплоть до 3.5%. В природе высококальциевые оливины встречаются очень редко, по-видимому, в связи с распадом твердых растворов и выделением монтичеллита при более низких температурах.

### ВЗИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМАХ ФЛЮИД–РАСПЛАВ–КРИСТАЛЛ

*Воропаев С.А. (ГЕОХИ РАН), Малик Н.А. (ИВУС ДВО РАН), Севастьянов В.С., Душенко Н.В. (ГЕОХИ РАН)* для понимания природы гидротермальных систем, выяснения вклада мантийной

компоненты провели определение изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C VPDB}$ ) фузарольных газов и лавы в пределах юго-восточной и центральной Камчатки. *Новоселов И.Д., Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М. (ИГМ СО РАН)* исследовали взаимодействие  $\text{CO}_2$ - и  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ -флюидов с мантийными гранатами в опытах с буферированной ячейкой (буфер гематит-магнетит) при давлении 6.3 ГПа в интервале температур 950–1250°C длительноостью 60–100 ч. *Расс И.Т. (ИГЕМ РАН), Шмулович К.И. (ИЭМ РАН)* определяли распределение редких элементов в фосфатно-карбонатной системе с фтором. Провели две серии опытов при 500 МПа и 1000°C. Первая серия с переменным отношением  $\text{NaPO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  и постоянным количеством NaF. Вторую серию сделали при тех же параметрах из смеси с отношением  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}(\text{CO}_2) = 0.34$ , с переменным количеством NaF от 0 до 25 мол. %. *Чевычелов В.Ю., Плюснина О.Е., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН)* исследовали растворимость фторидов во флюидонасыщенном расплаве природного калиевого сиенита (тингуайта) из золоторудного месторождения Таборное (северо-запад Алданского щита) при 900–600°C, 250–150 МПа. Эксперименты были поставлены с целью подтверждения предположения о достаточно высокой растворимости фтора в расплаве ультракалийевых сиенитов, что могло способствовать формированию внедрившихся в виде силлов специфических и маловязких расплавов. *Чевычелов В.Ю., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Перетяжко И.С. (ИГХ СО РАН), Вирюс А.А., Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Савина Е.А. (ИГХ СО РАН)* представили результаты низкобарических высокотемпературных экспериментов по плавлению мергелистого известняка из пирометаморфического комплекса Хамарин-Хурал-Хид (Монголия) при 1300°C, 10–12 МПа. Задачей экспериментальных исследований являлось определение условий образования мелилит-нефелиновой паралавы и карбонатного расплава, формирующихся в результате инконгруэнтного плавления мергелистого известняка, содержащего около 40 мас. % пелитового материала. *Алферьева Я.О., Новикова А.С., Граменицкий Е.Н. (геол. ф-т МГУ)* рассмотрели взаимодействие фторсодержащего гранитного расплава и кальцита как возможную причину образования высококальциевых онгонитов. В проведенной серии опытов моделировали контактное диффузионное взаимодействие кальцита и фторсодержащего гранитного расплава при 750°C, 100 МПа и содержании воды 10% от массы навески. Исходный состав гранитного расплава по содержанию Si, Al, F и щелочей соответствовал онгонитам центральной фации массива Ары-Булак. В полученных образцах отмечалось хорошо выраженное изменение состава как в карбонатной, так и в силикатной части. *Безмен Н.И., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН)* представили серию экспериментов по изучению си-

стемы  $\text{Fe-Ni-O-H}_2\text{O}$  и контролю летучести кислорода в многокомпонентной флюидной фазе при 1200°C, 200 МПа. *Бухтияров П.Г., Персиков Э.С. (ИЭМ РАН)* представили экспериментально-теоретические результаты по температурной и барической зависимостям вязкости альбитовых и андезитовых расплавов при давлениях водорода и аргона до 400 МПа в температурном диапазоне 1200–1400°C. Установили, что в пределах ошибки эксперимента вязкость альбитовых расплавов (без элементов переменной валентности) под давлением водорода в 400 МПа соизмерима с их вязкостью под давлением аргона во всем изученном диапазоне температур, тогда как вязкость андезитовых расплавов (с элементами переменной валентности, Fe, Ni, Co) под давлением водорода в 400 МПа снижается в значительно большей степени по сравнению с их вязкостью под давлением аргона. Впервые получили значения энергий активации вязкого течения альбитовых и андезитовых расплавов при высоких давлениях водорода и аргона. *Девятова В.Н., Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)* впервые для паргасита определили равновесные с амфиболом составы расплавов в области, отвечающей по Holloway (1973), собственной стабильности и разложения паргасита. Впервые было обнаружено резкое изменение в кинетике поведении паргасита в интервале температур 1087–1100°C. *Лебедев Е.Б. (ГЕОХИ РАН)* изучил влияние летучих компонентов на эволюцию биосферы. *Персиков Э.С. (ИЭМ РАН), Аранович Л.Я. (ИГЕМ РАН), Бухтияров П.Г., Некрасов А.Н., Бондаренко Г.В. (ИЭМ РАН)* продемонстрировали результаты опытов по взаимодействию цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$  с водородом при давлении 30–100 МПа, температуре 1300°C и длительностью опытов 1.0–4.5 ч. Результаты экспериментов сопоставили с расчетами состава C–H флюида, равновесного с металлической фазой с фиксированным содержанием углерода. Полученные результаты вскрыли некоторые принципиальные особенности взаимодействия водорода с углеродсодержащей металлической фазой. *Персиков Э.С., Бухтияров П.Г. (ИЭМ РАН)* в продолжение экспериментально – теоретических исследований процесса взаимодействия базальтовых магм с водородом провели изучение вязкости базальтовых расплавов, образующихся при таком взаимодействии. Установили, что в результате водородно-магматического взаимодействия, исходно гомогенные базальтовые расплавы становятся гетерогенными. *Ходоревская Л.И., Варламов Д.А. (ИЭМ РАН)* при  $T = 750^\circ\text{C}$ ,  $P = 700$  МПа провели изучение взаимодействия амфибола с растворами (K, Na) Cl–H<sub>2</sub>O при варьрующем содержании солей. Индикаторами высокой активности натрия является нефелин, калия – гранат *Grs-Andr* состава. Появление *Grs-Andr* подтверждает выводы о генезисе святоносителей при участии флюидов

с высокой активностью щелочей. Увеличение общей солености флюида привело к увеличению содержания калия в расплаве и уменьшению содержания в нем хлора.

### ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ РАВНОВЕСИЯ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

*Зайцев В.А., Сорохтина Н.В., Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН), Viladkar S., Ghatak A. (IISER Bhopal)* представили работу по условиям образования халькопирит-борнитовой и халькопирит-пирротиновой ассоциаций фоскорит-карбонатитовых комплексов. *Мартынов К.В., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН)* показали, что алюмофосфатная матрица РАО (АФС) при взаимодействии с подземной водой дает выщелаты с суммарным содержанием Na и P до 500 мг/л при комнатной температуре. Методом сквозной диффузии изучили взаимодействие элементов-имитаторов РАО (Mn, Co, Se, Br, Cs, U) с глинистой матрицей при поровой диффузии из модельного выщелата АФС через уплотненные образцы барьерных материалов. Определили диффузионно-сорбционные характеристики материалов: эффективные коэффициенты диффузии и коэффициенты сорбционного распределения элементов-имитаторов РАО для уплотненных образцов. *Берковский Е.М., Тарнопольская М.Е., Николаева И.Ю., Лубкова Т.Н., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)* проводили экспериментальное изучение фторидных комплексов титана при 300°C и давлении насыщенного пара воды в титановых автоклавах, в которые помещались порошок TiO<sub>2</sub>, буферные 0,1M растворы HF + NaF (исследование проводили в кислой области pH) и смеси растворов HF + HNO<sub>3</sub> с различными соотношениями компонентов. Результаты показали, что в условиях экспериментов растворимость титана не зависит от pH, следовательно, образуются незаряженные комплексы. *Бычков А.Ю., Тарнопольская М.Е., Николаева И.Ю., Лубкова Т.Н. (геол. ф-т МГУ)* экспериментально определили растворимость бадделеита в зависимости от концентрации NaF-HF при 200–350°C и давлении насыщенного пара воды и 400–450°C, 1 кбар. Зависимость растворимости бадделеита от pH показала, что преобладающей формой циркония в растворе является фторидный комплекс ZrF<sub>6</sub><sup>2-</sup>. *Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Дамдинов Б.Б. (ГИН СО РАН), Сук Н.И., Ахмеджанова Г.М., Ван К.В. (ИЭМ РАН)* моделировали процессы метаморфического преобразования вещества океанических базальтов и сульфидных руд черных курильщиков под воздействием гидротермальных флюидов сложного состава в градиентных условиях применительно к проблеме генезиса телетермальных месторождений. Опыты проводили при 500–680°C и давлении 1.5–5 кбар в концентрирован-

ных водно-солевых растворах в условиях температурного градиента. Показали, что при температуре 680–650°C происходит интенсивная перекристаллизация и осаждение сульфидных минералов (сфалерита, галенита, халькопирита, пирита) совместно с полевыми шпатами, слюдами и кварцем. Впервые получили данные о совместном образовании кварц-полевошпат-сульфидных ассоциаций. *Котельников А.Р., Сук Н.И., Ахмеджанова Г.М., Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН)* изучали катионообменные равновесия галлиевых полевых шпатов с раствором: NaGaSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> + KCl aq = KGaSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> + NaCl aq для получения данных о распределении натрия и калия между полевым шпатом и раствором. Показали существование области несмесимости твердого раствора, определили концентрационные зависимости коэффициентов распределения натрия и калия между полевым шпатом и флюидом. На основании экспериментальных данных провели расчет избыточных энергий смешения твердого раствора и рассчитали параметры модели Маргулеса; провели корреляцию избыточных интегрированных энергий и объемов смешения со структурными параметрами. *Котова Н.П. (ИЭМ РАН)* изучала влияние концентрации фторидов и давления флюида на растворимость оксида ниобия при T = 550°C и P = 50, 100, 200 и 500 МПа в растворах HF с концентрацией 0.1 и 1.0 m. Установила, что при повышении давления от 50 до 200 МПа содержание Nb в растворах 0.1 и 1.0 m HF уменьшается на порядок, при дальнейшем повышении давления до 500 МПа содержание ниобия практически не изменяется и остается в пределах 10<sup>-3.5</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O в растворах 0.1 m HF и 10<sup>-1.7</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O в растворах 1 m HF. *Семерикова А.И. (физ. ф-т НГУ, ИГМ СО РАН), Чанышев А.Д. (Bayerisches Geoinstitut Universitaet Bayreuth, Photon Science DESY), Глазырин К., Пахомова А. (Photon Science DESY), Kurnosov A. (Bayerisches Geoinstitut Universitaet Bayreuth), Лумасов К.Д. (ИФВД РАН), Добровинский Л. (Bayerisches Geoinstitut Universitaet Bayreuth), Ращенко С.В. (ИГМ СО РАН, НГУ)* продемонстрировали, что в условиях высоких давлений (20–100 ГПа) и температур (1500–2500 К) разложение метана в присутствии платины на самом деле связано с образованием гидридов PtH. Проведенные термодинамические оценки показали, что образование таких гидридов может снижать давление разложения метана на водород (связывающийся в гидрид) и алмаз на ~20 ГПа. *Чареев Д.А., Некрасов А.Н., Осадчий В.О. (ИЭМ РАН), Евстигнеева П.В. (ИГЕМ РАН)* показали возможность получения монокристаллов многих предельных селенидов и теллуридов переходных металлов с помощью испарения насыщенного халькогенового расплава и возможность получения некоторых сульфидов при испарении расплавов



селена или теллура. *Бубликова Т.М., Сеткова Т.В., Балицкий В.С., Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН)* теоретически, с использованием программного комплекса NCh, и экспериментально изучили условия стабильности и соотношения твердых фаз теонорита и малахита при взаимодействии с водой и водными растворами, содержащими аммиак. *Коплева И.В., Катасонова О.Н. (ГЕОХИ РАН), Собина Е.П. (ФГУП УНИИМ)* исследовали процесс выщелачивания водой и паром щелочно-алюмоборосиликатного стекла при повышенных  $P$  и  $T$  и получили, что распределение пор по размерам и пористость образованного стекломатериала определялась выбором выщелачивающего агента (воды или пара) и продолжительностью воздействия. *Лантев Ю.В. (ИГМ СО РАН)* по результатам расчетного моделирования показал, что при умеренных температурах переход от безоксидных ассоциаций с пиритом к его совместному присутствию с гематитом и магнетитом обеспечивает снижение миграционной активности золота примерно на 1.5 порядка (с 5.5 до 0.1 ppm при 300°C и 500 бар). *Новиков П.М., Некрасов А.Н., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН)* рассмотрели зональность куларита (ортофосфат редких земель Се-подгруппы) в массовом количестве найденного в Куларском кряже на Северо-Востоке Якутии. *Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Шапошникова О.Ю. (ИЭМ РАН), Тютюник О.А. (ГЕОХИ РАН)* в ходе экспериментальных исследований растворимости платины во флюиде CO–CO<sub>2</sub> (50–200 МПа, 950°C) в результате реакции флюида со стенками платиновой ампулы обнаружили образование карбонила платины. *Таусон В.Л., Липко С.В., Бычинский В.А., Смагунов Н.В. (ИГХ СО РАН)* при  $T = 450^\circ\text{C}$  и  $P = 100$  МПа, с использованием метода гидротермального синтеза с внутренним пробоотбором флюида, изучали распределение и сокристаллизацию благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd) в системах рудный минерал – гидротермальный раствор. Показали, что коэффициенты сокристаллизации более устойчивы к изменению физико-химических параметров по сравнению с коэффициентами распределения, что делает их предпочтительными при решении задачи определения содержаний БМ в рудообразующих флюидах. *Якименко А.А., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)* исследовали растворимость оксида молибдена (VI) в растворах HF при 25–230°C и давлении насыщенного пара воды, показали, что растворимость оксида молибдена(VI) возрастает в кислых растворах с концентрацией HF выше 0.01 М, что можно объяснить образованием комплекса  $\text{H}_3\text{MoO}_4\text{F}_{(\text{aq})}$ .

### СИНТЕЗ МИНЕРАЛОВ

*Аксенов С.М. (КНЦ РАН), Ямнова Н.А. (геол. ф-т МГУ), Кабанова Н.А. (КНЦ РАН), Волков А.С., Гурбанова О.А. (геол. ф-т МГУ), Дейнеко Д.В.*

*(хим.ф-т МГУ), Димитрова О.В. (геол. ф-т МГУ), Кривовичев С.В. (КНЦ РАН)* получили новый щелочной марганце никелевый гидрофосфат  $\text{NaMnNi}_2(\text{H}_{2/3}\text{PO}_4)_3$  методом гидротермального синтеза в многокомпонентной системе  $\text{MnCl}_2 : 2\text{NiCl}_2 : 2\text{Na}_3\text{PO}_4 : \text{H}_3\text{BO}_3 : 10\text{H}_2\text{O}$  при температуре 450–660 К и давлении 80 атм. *Балицкая Е.Д., Балицкий В.С. (ИЭМ РАН), Пиронот Ж. (Université de Lorraine), Баррес О. (Université de Lorraine), Плотников И.Н. (ИПИ АН РТ), Балицкая Л.В., Голунова М.А., Бубликова Т.М., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН)* экспериментально изучили превращение нефти в диапазоне температур 240–700°C и давлений 7–150 МПа в связи с выяснением ее фазового состава и состояний, максимальной глубиной существования и возможностью восполнения истощенных месторождений. *Евдокимов А.И., Гурбанова О.А. (геол. ф-т МГУ), Антипин А.М. (ФНИЦ “Кристаллография и фотоника”), Волков А.С., Димитрова О.В. (геол. ф-т МГУ)* сделали сравнительный кристаллохимический анализ с минералами-пирофосфатами и ортофосфатами, а также с другими синтетическими членами данного структурного семейства. *Ковальская Т.Н., Ермолаева В.Н., Варламов Д.А., Калинин Г.М. (ИЭМ РАН), Ковальский Г.А. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Чайчук К.Д. (ИЭМ РАН)* синтезировали цирконий- и ниобийсодержащие гранаты в условиях повышенной щелочности (предварительные данные). *Ковальская Т.Н., Калинин Г.М., Варламов Д.А., Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН), Ковальский Г.А. (ИЭМ РАН, геол. ф-т МГУ), Чайчук К.Д. (ИЭМ РАН)* провели синтез эвдиалитоподобных фаз в гидротермальных условиях. В продуктах опытов по синтезу эвдиалита были обнаружены ассоциации щелочных пегматитов – эгирин + эвдиалит + эльпидит, соответствующие пегматитам Ловозерского и Хибинского массивов. *Лин В.В., Чепуров А.А. (ИГМ СО РАН)* представили результаты экспериментального исследования по синтезу субкальциевых хромистых пироповых гранатов в модельной ультраосновной системе в присутствии флюида преимущественно водного состава, содержащего легкие редкоземельные элементы (РЗЭ) – Pr и Sm, получили данные, указывающие на возможность вхождения существенного количества легких РЗЭ в субкальциевый хромистый пироп, что хорошо согласуется с наблюдаемыми содержаниями РЗЭ в природных перидотитовых гранатах, ассоциирующих с алмазами. *Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН), Барков А.Ю. (ЧГУ)* провели синтез и рентгенофазовый анализ интерметаллида  $\text{Pt}(\text{Cu}_{0.67}\text{Sn}_{0.33})$ . *Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Куприянов И.Н., Хохряков А.Ф., Нечаев Д.В. (ИГМ СО РАН)* представили результаты экспериментальных исследований по кристаллизации алмаза в расплавах 15 редкоземельных металлов при давлении 7.8 ГПа в интервале температур 1800–2100°C. Определили граничные условия и оптимальные параметры



синтеза алмаза. Показали, что сочетание высоких скоростей роста и низких значений числа центров кристаллизации обеспечивает наилучшие условия для получения кристаллов алмаза в расплавах Sc, Ce, Tb, Dy, Ho, Er, Tm и Lu. В зависимости от состава редкоземельных металлов алмаз кристаллизовался в форме кубооктаэдров, октаэдров или образовывал кристаллы с габитусными гранями тетрагонтриоктаэдров и тригонтриоктаэдров. Установили, что в системах РЗМ-С возможно легирование алмаза с образованием оптически-активных центров SiV, GeV и SnV, перспективных для квантовых технологий. *Сеткова Т.В., Балицкий В.С., Спивак А.В. (ИЭМ РАН), Искрина А.В. (ИЭМ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова), Кузьмин А.В. (ИФТТ РАН), Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН), Хасанов С.С. (ИФТТ РАН)* экспериментально получили кристаллы бруногайерита размером до 500 мкм в автоклаве в результате взаимодействия раствора борной кислоты на металлическую железную проволоку в присутствии оксида германия (GeO<sub>2</sub>) при температуре 600°C и давлении 100 МПа. *Уланова А.С. (ИГЕМ РАН), Циркунова В.Д. (МГУ), Никольский М.С. (ИГЕМ РАН)* изучали фазовые отношения в системе NDO<sub>1,5</sub>-TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>, при сравнении результатов эксперимента с литературными данными пришли к заключению о необходимости уточнения строения фазовой диаграммы Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>.

#### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ И ФЛЮИДОВ

*Осадчий В.О. (ИЭМ РАН), Гуревич В.М. (ИОНХ РАН), Поляков В.Б. (ИЭМ РАН), Гавричев К.С. (ИОНХ РАН), Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)* на примере галенита показали, что результатов низкотемпературных адиабатических и высокотемпературных электрохимических измерений достаточно для полного согласованного описания термодинамических свойств соединения. *Осадчий В.О., Чареев Д.А., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН), Абрамова В.Д. (ИГЕМ РАН), Тарнопольская М.Е., Николаева И.Ю., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)* экспериментально изучили влияние температуры на распределение Cd, Mn и Se между сосуществующими ZnS и PbS. *Королева О.Н. (Институт минералогии УрО РАН), Бычинский В.А. (ИГХ СО РАН)* исследовали бинарные системы Li<sub>2</sub>O-GeO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O-GeO<sub>2</sub> и K<sub>2</sub>O-GeO<sub>2</sub> методом термодинамического моделирования на основе минимизации свободной энергии в области составов до 40 мол. % щелочного оксида, что позволило получить рабочие термодинамические модели, описывающие зависимость изменения структуры щелочно-германатных расплавов от состава и температуры. *Бричкина Е.А. (ИЭМ РАН), Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)* представили предварительные данные по определению энтальпии образования селенового мохита

(Cu<sub>2</sub>SnSe<sub>3</sub>) из бинарных селенидов CuSe и SnSe. *Вигасина М.Ф. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Мельчакова Л.В., Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ), Дедушенко С.К. (хим. ф-т МГУ), Паутов Л.А. (Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ)* стурманит из марганцевородного поля Калахари (Куруман, рудник Н'Чванинг 2, ЮАР) исследовали методами порошковой рентгенографии, мессбауэровской спектроскопии, ICP-OES и термического анализа и получили его химическую формулу. *Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф. (геол. ф-т МГУ), Дедушенко С.К. (хим. ф-т МГУ), Мельчакова Л.В., Ксенофонтов Д.А., Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ)* провели рентгенографические и спектроскопические исследования As-содержащего фосфосидерита из района Копьяпо (Атакама, Чили), содержащего до 9.1 мас. % As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и до 3.5 мас. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ), Русаков В.С. (физ. ф-т МГУ), Ксенофонтов Д.А., Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ)* изучили четыре граната, содержащие 4.05, 9.23, 10.3 и 15.01 мас. % TiO<sub>2</sub> (Одихинча, Маймеча-Котуйская щелочная провинция, Красноярский край), методами электронно-микронного анализа, порошковой рентгенографии, термического анализа, ИК, рамановской и мессбауэровской спектроскопий. Исследование методом мессбауэровской спектроскопии позволило определить содержание двухвалентного и трехвалентного железа в додекаэдрической (X), октаэдрической (Y) и тетраэдрической (Z) позициях в структуре исследованных образцов гранатов. *Корепанов Я.И., Бричкина Е.А., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)* на основании литературных и собственных данных по термодинамике фаз в системе Ag-Au-S с помощью программы TernAPI (хим. Фак. МГУ) смоделировали изотермические сечения тройной фазовой диаграммы Ag-Au-S при температурах 323, 373 и 423 К. Показали зависимость состава сплава Ag-Au (по атомному содержанию Ag в сплаве) от температуры. *Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ), Русаков В.С. (физ. ф-т МГУ), Ксенофонтов Д.А. (геол. ф-т МГУ)* методами микронного анализа, порошковой рентгенографии, ИК, рамановской и мессбауэровской спектроскопии, термического анализа исследовали титансодержащие гранаты (Одихинча, Маймеча-Котуйская щелочная провинция, Красноярский край, Россия), полученные термодинамические константы использовали для моделирования полей устойчивости этих минералов. *Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигасина М.Ф., Мельча-*

кова Л.В., Ксенофонов Д.А. (геол. ф-т МГУ) определили термодинамические свойства алунита  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$  и натроалунита  $NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$  из месторождения Заглик (Азербайджан). Полотнянко Н.А. (Гос. Универ. “Дубна”), Тюрин А.В. (ИОНХ РАН), Чареев Д.А. (ИЭМ РАН, Гос. Универ. “Дубна”) на основании собственных измерений изобарной теплоемкости методами адиабатической, релаксационной и дифференциальной сканирующей калориметрии определили значения стандартных термодинамических функций дихалькогенидов платины, синтетических аналогов природных минералов. Романенко А.В., Ращенко С.В., Корсаков А.В. (ИГМ СО РАН), Глазырин К.В. (РЕТРА III) вывели уравнение состояния и рассмотрели эволюцию структуры кокчетавита при высоком давлении по данным монокристалльной рентгеновской дифракции. Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Шапошникова О.Ю. (ИЭМ РАН) провели исследования, которые указывают на коровую природу ультрамафитовых ксенолитов вулканов Безымянный и Авача по данным минеральных геосенсоров. Соколова Т.С., Дорогокопцев П.И. (ИЗК СО РАН) предложили уравнения состояния кальцита и арагонита от 10 К до высоких температур. Шорников С.И., Иванова М.А. (ГЕОХИ РАН), Минаева М.С. (NVIDIA LTD) изучал термодинамические свойства расплавов в системе  $MgO-FeO-SiO_2$ .

## ПЛАНЕТОЛОГИЯ, МЕТЕОРИТИКА И КОСМОХИМИЯ

Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН), Генералова Е.А. (ГБНОУ СПбГДТЮ) рассмотрели вопрос о значении D/H в молекуле воды в объектах солнечной системы как индикатор динамических процессов в околосолнечной небуле. Инатов С.И. (ГЕОХИ РАН) провел расчеты миграции планетезималей в системе Проксима Центавра от внешней планеты  $c$ , расположенной за линией льдов, к небольшим внутренним планетам  $b$  и  $d$ , которые могут находиться в зоне обитаемости. Луканин О.А., Цехоня Т.И. (ГЕОХИ РАН), Колташев В.В. (ГЕОХИ РАН, НЦВО РАН), Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН) представили результаты экспериментального определения коэффициентов распределения металл/силикат ( $D(M)^{met/sil}$ ) для умеренно сидерофильных элементов Ni, Co, P в модельной системе силикатный расплав ( $FeO-Na_2O-Al_2O_3-NiO-CoO-P_2O_5$ )–металлический сплав ( $Fe-Ni-Co-P-C$ )–графит–летучие (C–O–H) при 4 ГПа, 1550°C и  $fO_2$  на 0.5–2.9 лог. ед. ниже буфера железо-вюстит (IW) и провели сравнение полученных данных с имеющимися данными для “сухих” систем, показали, что в восстановительной области (при  $fO_2 \leq IW-2$ ) значения  $D(Ni)^{met/sil}$  и  $D(P)^{met/sil}$  для равновесий металлической фазы с расплавами, со-

держащими летучие компоненты (главным образом, в виде OH-групп,  $CH_4$  и  $H_2$ ), становятся ниже ожидаемых расчетных значений для “сухих” систем при аналогичных  $T$ ,  $P$  и  $fO_2$ . Дунаева А.Н., Кронрод В.А., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН) рассмотрели основные процессы постаккреционного перераспределения  $CO_2$  в Титане, такие как дегазация поверхностного океана и образование клатратов  $CO_2$  при эвтектическом замерзании ледяной коры спутника, рассмотрели основные характеристики клатратной  $CO_2$ -коры, произвели оценку приливных чисел Лява Титана и их сопоставление с экспериментальными данными, полученными аппаратом “Кассини”. Демидова С.И. (ГЕОХИ РАН) обсудила вопрос об условиях сохранения вещества ударника в лунном реголите. Яковлев О.И., Шорников С.И. (ГЕОХИ РАН) представили экспериментальные данные испарения щелочных компонентов из расплавов хондр. Эксперимент с хондрами провели методом испарения в ячейке Кнудсена, что позволило получить количественные параметры парциальных давлений и температур испарения щелочных компонентов. Сорочкин Е.М. (ГЕОХИ РАН), Герасимов М.В., Зайцев М.А. (ИКИ РАН), Щербakov В.Д. (геол. ф-т МГУ), Рязанцев К.М., Крашенинников С.П., Яковлев О.И., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН) построили экспериментальную модель образования нанофазного металлического железа в реголите Луны. Иванов А.А., Севастьянов В.С., Шныкин Б.А., Кривенко А.П., Долгоносков А.А. (ГЕОХИ РАН), Лауринвичус К.С. (ИБФМ РАН) разработали экспериментальную модель абиогенного синтеза высокомолекулярных органических соединений в условиях ранней Земли. Кронрод В.А., Кронрод Е.В., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН) представили результаты по численному моделированию нестационарных температурных режимов в железокаменных протоядрах ледяных спутников с учетом процесса кондуктивного, конвективного теплопереноса и фазового перехода гидросиликатов в силикаты, по результатам моделирования сделали вывод о незначительном присутствии вещества CI хондритов (<10 мас. %) в протоядре спутника. Кронрод Е.В., Кронрод В.А., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН) на основе высокоскоростной в нижней мантии сейсмической модели Weber et al. (2011) исследовали модели внутреннего строения дифференцированной в результате частичного плавления первоначально однородной Луны. Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН) обсудил механизм образования долго- и короткопериодических комет Солнечной системы галактическими кометами. Бадеха К.А. (ГЕОХИ РАН), Гроховский В.И. (УрФУ), Кругликов Н.А. (ИФМ УрО РАН) провели исследование спектра фронтального отражения света со шлифов высококоникелевых железных метеоритов на гиперчувствительной камере с матрицей высокого разрешения Spectrum IQ Гришакина Е.А., Миронов Д.Д.

(ГЕОХИ РАН), рассмотрели некоторые особенности верхней атмосферы Марса, используя климатические базы данных MSD и MAOAM для анализа условий поддержания жизни земного типа. *Жаркова Е.В., Луканин О.А., Цехоня Т.И., Сенин В.Г. (ГЕОХИ РАН)* представили результаты электрохимических измерений собственной летучести кислорода ( $fO_2$ ) для шести образцов импактитов из бомб различного размера из кратера Эльгыгыт-гын и трех образцов иргизитов из кратера Жаманшин в интервале температур от 800 до 1100°C и нормальном давлении, полученные данные сопоставили с оценками редокс состояния тектитовых стекол и различных типов метеоритов. *Кривенко А.П., Севастьянов В.С., Душенко Н.В. (ГЕОХИ РАН)* создали установку, которая позволила решить проблему изучения фракционирования изотопов водорода льда (снега) в лунных условиях. *Куюнко Н.С. (ГЕОХИ РАН)* измерила естественную и наведенную в лабораторных условиях от внешнего источника излучения термолюминесценцию обыкновенных хондритов различных ударных классов, обнаружила зависимость высоты пика свечения и интенсивности свечения от ударного класса метеоритов, рассчитала величину ударной нагрузки, которую претерпели хондриты при столкновении в космическом пространстве. *Лаврентьева З.А., Люль А.Ю. (ГЕОХИ РАН)* методом ИНАА определили содержание литофильных и сидерофильных микроэлементов в магнитных и немагнитных размерных фракциях из энстатитового хондрита Abee EH4. На основании особенностей распределения микроэлементов в размерных фракциях энстатитового хондрита Abee EH4 сделали предположение, что основное распределение микроэлементов происходило при небулярном фракционировании, процессы метаморфизма и частичное переплавление также сыграли существенную роль в перераспределении элементов. *Люль А.Ю., Лаврентьева З.А. (ГЕОХИ РАН)* для оценки степени влияния термального метаморфизма на состав основных компонентов обыкновенных хондритов разных химических групп рассмотрели данные по содержанию сидерофильных элементов в хондрах, тонкозернистой фракции и металле L-хондритов различных петрологических типов, установили, что содержание сидерофильных элементов в хондрах практически не зависит от петрологического типа хондритов, отметили, что с возрастанием степени метаморфизма хондритов наблюдается гомогенизация содержания данных элементов в хондрах метеоритов. *Миронов Д.Д., Гришакина Е.А. (ГЕОХИ РАН)* изучали устойчивости лишайников вида *Xanthoria Parietina*, *Nurogymnia Physodes* и *Parmelia sulcata* к суточным перепадам температуры на поверхности Марса. *Никитин С.М. ЛП ООО "ЛС-КАМ) Коротченкова О.Ю. (ГИ УрО РАН), Скрипник А.Я. (ГЕОХИ РАН), Бельтюков Н.А., Мо-*

*розов И.А. (ГИ УрО РАН)* провели работу по реконструкции процессов разрушения образцов обыкновенных хондритов по минералого-петрографическим данным. *Павлова Т.А. (ГЕОХИ РАН)* применила данные о термической стабильности треков  $vn$  ядер космических лучей в силикатном веществе из метеоритов для изучения радиационно-термической истории палласитов. *Фисенко А.В., Семенова Л.Ф. (ГЕОХИ РАН)* провели анализ кинетики выделения при пиролизе наноалмазов метеоритов Orgueil и Indarch вычисленных компонентов Xe-P3, Xe-S, Xe-prHL и Xe-prP6эх, основные результаты анализа заключались в том, что максимумы выделения компонентов ксенона различны, что указывало на их нахождение в индивидуальных популяциях зерен алмаза с разной термоокислительной стабильностью. *Хусина Н.Р., Сенин В.Г., Бурмистров А.А., Бадюков Д.Д. (ГЕОХИ РАН)* обнаружили модифицированную FeS–Ni–NiS эвтектику в ударном прожилке палласита Сеймчан. *Цельмович В.А. (ГО "Борок" ИФЗ РАН), Максе Л.П. (БГУТ, Беларусь)* провели сравнительный анализ микроструктуры и состава частиц космического происхождения из трепела и песка пустыни, основным результатом исследования явилось (более чем вероятно) демонстрация того, что первичный источник металлических магнитных микросфер, обнаруживаемых в трепеле и песке пустыни, имеет космическую природу.

#### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОМАТЕРИАЛОВ

*Кузин А.М. (ИПНГ РАН)* рассмотрел вопрос о механизме преобразования упругой энергии в земной коре для активизации химических реакций, предложил новый подход к глубинному прогнозированию рудной минерализации на основе комплексирования данных сейсморазведки геохимической съемки и оценки глубин химической активизации гидротермальных процессов ниже подошвы осадочного чехла. *Родкин М.В. (ИТПЗ РАН)* привел свидетельства связи положения гипоцентров землетрясений с положением фронтов метаморфизма, которые указывают на возможную физику сейсмического процесса. *Жариков А.В. (ИГЕМ РАН), Лебедев Е.Б. (ГЕОХИ РАН), Родкин М.В. (ИТПЗ РАН)* рассмотрели вопрос о аномалии физических свойств горных пород при фазовых переходах и их возможную роль в сейсмотектонических процессах. *Акимов В.В. (ИГХ СО РАН)* изучал структурно-химические свойства (гигроскопичность, склонность к агрегации частиц с образованием устойчивых поликристаллов, распределение частиц по размерам, параметры дислокационных структур) механически активированных кристаллов суперкварцитов месторождения Бурал-Сардык. *Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ, Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН), Вигаси-*

на М.Ф., Мельчакова Л.В., Ксенофонов Д.А., Огородова Л.П. (геол. ф-т МГУ) провели физико-химическое исследование природного основного фосфата натрия и алюминия – бразилианита  $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$  (Минас-Жерайс, Бразилия). Спивак А.В., Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), Боровикова Е.Ю. (МГУ), Квас П.С. (ИЭМ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова), Балицкий В.С., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН) методом КР-спектроскопии изучали синтетический кризелит  $\text{Al}_2\text{GeO}_4(\text{OH},\text{F})_2$  при давлении до 30 ГПа, выявили, что структура кризелита не претерпевает серьезных изменений при повышении давления до 30 ГПа.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЯ

Котельников А.Р., Ахмеджанова Г.М., Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Белоусова Е.О., Мартынов К.В. (ИЭМ РАН), Анянцев В.В. (ИВиС ДВО РАН) для оценки условий генезиса и эволюции углерод-содержащих пород (УСП) Заонежья (Южная Карелия) обобщили данные по их составам – как по главным, так и малым и примесным элементам. Показали, что по геохимическим спектрам биофильных элементов (V, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Cd, U) наблюдалась высокая сходимость составов УСП с составами каменных углей, в составе УСП определили такие минералы как фенгит, барий-содержащий калиевый полевошпат, пумпеллиит, алланит, пентландит, сульфоселенид свинца, мышьяк-содержащий пирит, каолинит. Термобарогеохимическими методами изучили флюидные включения в кварцевых прожилках УСП. Экспериментально исследовали влияние температуры и состава растворов на процесс гидrolитического выщелачивания элементов из УСП при 25; 90 и 200°C. Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН) рассмотрел факторы, влияющие на скорость образования кислых дренажных вод в отвалах пород, содержащих сульфиды. Алешина А.Р. (геол. фак-т МГУ) изучала влияние инсоляции на процесс биодеградации растворенного органического вещества в водах реки Сеньга. Гришанцева Е.С., Алехин Ю.В. (геол. ф-т МГУ) представили результаты эксперимента по исследованию относительной миграционной подвижности микроэлементов в донных осадках и илистой фракции донных осадков Ивановского водохранилища в условиях поступления контаминированных поверхностных вод. Построили адсорбционно-десорбционные кривые и получили ряды подвижности большого числа микроэлементов для донных осадков и илистой фракции донных осадков. Дроздова О.Ю. (геол. ф-т МГУ), Демин В.В., Карпухин М.М. (ф-т почвовед. МГУ), Лапицкий С.А. (геол. ф-т МГУ) провели исследование изменения форм меди в поверхностных водах при возрастании техногенной нагрузки. Определили, что низкое содержание органических соединений, а

особенно гуминовых веществ, в водах может способствовать быстрой коагуляции минеральных коллоидов и, соответственно, высокой скорости их седиментации и выведению Си в донные отложения. Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН, ГЕОХИ РАН), Бычкова Я.В. (геол. ф-т МГУ), Козарко Л.Н., Михайлова А.В. (ГЕОХИ РАН) решили проблему эффективности извлечения Th, U и REE. Провели эксперименты по их выщелачиванию из старых и новых хвостов хвостохранилища рудника Карнасурт (Ловозерский массив, Кольский полуостров). Карасева О.Н. (ИЭМ РАН), Алехин Ю.В. (геол. ф-т МГУ), Лакштанов Л.З., (ИЭМ РАН) изучали кинетику растворения природного мела. Показали, что произведение растворимости карбонатов имеет четкую корреляцию с поверхностной концентрацией C–O связей, то есть, с поверхностной концентрацией полисахаридов, которые являются основным ингибитором перекристаллизации известняков морского происхождения. Коробатова Н.М., Королева О.Н. (Институт минералогии УрО РАН) исследовали влияние внедрения атомов германия в структуру боросиликатных систем, стекла системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{V}_2\text{O}_5-\text{GeO}_2-\text{SiO}_2$  методами спектроскопии комбинационного рассеяния, электронно-микроскопического анализа и методом азотной порометрии. По полученным результатам измерений удельной поверхности, пористости, объема пор и распределения пор по размерам определили влияние соотношения Ge/Si на качество пористых материалов. Цельмович В.А., Куражковский А.Ю. (ГО “Борок” ИФЗ РАН) исследовали влияние активизации эксплозивного вулканизма (536 г. н. э.) и последующего похолодания на экосистемы торфяных болот, формировавшихся на территории России. Изучаемые торфяные толщи двух болот имели координаты (55° с.ш., 88° в.д. и 58° с.ш., 38° в.д., Кемеровская и Ярославская области). Положение горизонтов торфа предположительно соответствует событию 536 г. и определено радиоуглеродным методом. Установили, что вероятный временной интервал между изменением и восстановлением экосистем составил около 200 лет.

### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Бугаев И.А. (ГЕОХИ РАН), Бычков А.Ю., Калмыков А.Г., Калмыков Г.А. (геол. ф-т МГУ) рассмотрели характеристики керогена Баженовской Свиты и предложили методы выделения и способы его изучения. Зуев Б.К. (ГЕОХИ РАН) предложил метод и создал аппаратуру для определения фракционного состава органических веществ в природных водах, изучения процессов трансформации пленок нефтепродуктов на поверхности воды, влияния автотранспорта на загрязнение органическими веществами окружающей среды. Зайцев В.А. (ГЕОХИ РАН) для случая фракцион-

ной кристаллизации предложил формулу оценки коэффициента распределения и применение этой формулы апробировал на оценке коэффициентов распределения между квасцами и сульфатным раствором. *Молчанов В.П. (ДВГИ ДВО РАН), Медков М.А., Юдаков А.А. (ИХ ДВО РАН)* разработали основы оригинальной технологии освоения техногенных и пляжных россыпей Кричного узла (юг Приморья). Применение этой схемы извлечения полезных компонентов из россыпного материала позволит вовлечь в промышленный оборот многочисленные техногенные и шельфовые россыпи юга Дальнего Востока России с соблюдением ресурсосберегающих принци-

пов и без нанесения существенного ущерба окружающей среде. *Сараева А.Е. (ГЕОХИ РАН)* на примере образцов низинного торфа показала возможности окситермографии. Этот метод позволил определять органический углерод в больших диапазонах содержаний от долей до 100%. Достоинство метода в том, что окисление проводится кислородом воздуха и при низких температурах (500°C). *Цельмович В.А., Афиногенова Н.А. (ГО "Борок" ИФЗ РАН)* сделали обзор экспериментальных работ по исследованию магнитной микроструктуры образцов из различных коллекций магнитными жидкостями.