

## ХРОНИКА ВСЕРОССИЙСКОГО ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ 2019 г.

© 2020 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 24.07.2019 г.

После доработки 08.08.2019 г.

Принята к публикации 08.08.2019 г.

16–17 апреля 2019 г. в Москве прошел очередной Всероссийский ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии, организованный Институтом геохимии аналитической химии им. В.И. Вернадского и Институтом экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН. На семинаре были рассмотрены 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 340 специалистов из 50 российских научных институтов и 11 зарубежных организаций, представлено более 180 докладов.

DOI: 10.31857/S0016752520020132

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

На пленарном заседании было заслушано три научных доклада. *Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Сук Н.И. (ИЭМ РАН)* рассмотрели проблемы и задачи экспериментальной минералогии и петрологии. Отметим, что активное развитие экспериментальных методов исследования минералого-петрологических задач началось в нашей стране примерно полвека назад. Для этого были созданы центры экспериментальных исследований в Ленинграде, Киеве, Москве, Черноголовке, Новосибирске, Иркутске, Якутске, Владивостоке. Успешно решались задачи по изучению свойств флюидно-магматических систем, 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. Сформулированы новые задачи, которые можно разделить на несколько частей: (1) научные (2) прикладные (3) методические (4) технические задачи. Авторы излагают свой взгляд на

пути и методы развития экспериментальной петрологии.

*Арискин А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН)* представил результаты 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 мо-

делирования с использованием программы КО-МАГМАТ-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 несмешиваемых сульфидов по мере затвердевания довыренских кумулатов. Формирование богатых ЭПГ и Те 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 кумулюсной среды (реология, проницаемость, смачиваемость сульфидом разных фаз и т.д.), в которой происходит пространственное разделение Mss-рестита и жидких Iss-фракций.

*Алехин Ю.В. (геол. ф-т МГУ)* рассмотрел вопрос о реальных формах переноса в газопаровой фазе гетерогенных флюидов. Экспериментальные исследования растворимости в водной паровой фазе именно гидротермальных растворов труднолетучих соединений свидетельствуют об ассоциации молекул растворителя, то есть о переменности доли ассоциатов самих молекул водяного пара в зависимости от параметров состояния. Физико-химический аппарат анализа этих явлений на количественной основе оказался плодотворным при описании стехиометрии и реального состава, возникающего в газопаровой фазе большого набора молекулярных комплексов при соединении. Развитие этих идей позволило создать основу надмолекулярной геохимии малоплотных растворов на водной основе, и полностью подтвердить версию о том, что растворимость любого нелетучего химического соединения в паре является хорошим свидетелем степени ассоциации именно пара как растворителя. Использование такого подхода супрамолекулярной химии явилось ключевым и при решении проблемы реальных форм переноса и динамики вымораживания ртути из атмосферы при ее глобальном массообмене.

#### ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ ПРИ ВЫСОКИХ *PT* ПАРАМЕТРАХ

*Жимулев Е.И., Ченуров А.И., Сонин В.М., Ченуров А.А. (ИГМ СО РАН)* экспериментально апробировали модель миграции расплава железа через твердую силикатную матрицу при 5.5 ГПа и 1600°C. Основные постулаты данной модели: наличие свободного углерода в аккреции при образовании Земли, его хорошая растворимость в расплаве железа. Результаты экспериментов показали, что алмазы в мантии Земли могли начать

образоваться еще на стадии дифференциации. *Харитонова 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)* изучали взаимодействие модельной системы GLOSS и перидотита ( $Ol_{60}Orx_{16}Cpx_{12}Grt_{12}$ ). Эксперименты проводились в институте Эхиме (Япония) с использованием многопуансонных прессов типа Kawai 2000-тонн при давлениях 18, 24 ГПа и температурах 1200–1600°C. Синтезировали высокоглиноземистую суперводную фазу  $Mg_8Al_2Si_2O_{12}(OH)_6$  (до 18 мас. %  $Al_2O_3$ ), а также новый промежуточный член твердого раствора фазы Egg [ $AlSiO_3(OH)$ ] и нового соединения  $Mg-SiO_3(H_2O)$ , (до 57 мас. %  $Al_2O_3$ ). *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)* получили уравнение состояния для соединения  $Ca(Al, Fe)_2O_4$ . *Горбачев Н.С., Костюк А.В., Некрасов А.Н., Горбачев П.Н., Султанов Д.М. (ИЭМ РАН)* изучали фазовые соотношения в системе флогопит-карбонат при  $P = 4$  ГПа,  $T = 1200$  и  $1300^\circ C$ . *Лиманов Е.В., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Ван К.В. (ИЭМ РАН)* представили результаты экспериментального исследования реакции образования флогопита в системе гроссуляр–пироп–энстатит +  $H_2O-KCl$  при 3 ГПа и  $850^\circ C$ , а также при 5 ГПа и  $1000^\circ C$ . Установлено, что с увеличением количества соли во флюиде происходит разложение Al-содержащих минералов, таких как энстатит и гранат, а также образование флогопита и диопсида. *Федькин В.В. (ИЭМ РАН)* изучил химический состав и генезис протолитов Максютковский эклогит-глаукофансланцевый комплекса. *Арефьев А.В., Шацкий А.Ф., Подбородников И.В., Бехтенова А.Е., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН, НГУ)* исследовали фазовые взаимоотношения в системе  $K_2CO_3-CaCO_3-MgCO_3$  при 3 ГПа и  $750-1100^\circ C$ . *Бехтенова А.Е., Шацкий А.Ф., Подбородников И.В., Арефьев А.В., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН, НГУ)* изучали фазовые взаимоотношения в системе Na- и K-карбонатит при 3.0 и 6.5 ГПа. Результаты хорошо согласуются с тройными диаграммами карбонатных систем при 3 и 6 ГПа, полученные ранее. *Гаврюшкин П.Н., Сагатов Н.Е., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН)* на основе молекулярно-динамических расчетов в рамках теории функционала плотности установили, что при температуре 700–800 К арагонит переходит в новую фазу с гексагональной симметрией. *Горбачев Н.С., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Султанов Д.М. (ИЭМ РАН)* исследовали распределение элементов между флогопитом и силикатно-карбонатным расплавом при  $P = 2.8$  ГПа,  $T = 1250^\circ C$ . *Костюк А.В., Горбачев Н.С., Султанов Д.М., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)* экспериментально изучали фазовые и критические соотношения в системе перидо-

тит–базальт–(K, Na)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>O – экспериментальной модели мантийного резервуара с протолитами субдуцированной океанической коры при  $T = 1400^\circ\text{C}$ ,  $P = 4$  ГПа. Особенности текстуры и фазового состава образцов при надкритических  $P$ - $T$  позволяют сделать вывод о зональном строении резервуаров с протолитами субдуцированной океанической коры. 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) выполнили серию экспериментов для изучения распределения  $\text{Fe}^{2+}$ – $\text{Mg}^{2+}$  между оливином и силикатным расплавом с высоким содержанием щелочей при температурах 1300 и 1350°C при 1 атм, методом петли. В результате было получено более 30 равновесных пар оливин–расплав (3–8% K<sub>2</sub>O и до 4% Na<sub>2</sub>O в расплаве). Литасов К.Д., Арефьев А.В., Шацкий А.Ф. (ИГМ СО РАН), Грю С., Ирифунэ Т. (Университет Эхиме, Япония) провели эксперименты по высокобарической трансформации фосфатов при давлениях 6, 15 и 20 ГПа с использованием многопуансонной техники. Лихачева А.Ю. (ИГМ СО РАН, ИЯФ СО РАН), Горяинов 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) рассмотрели дегидратацию серпентина как ключевой этап метаморфического преобразования гидратированных ультраосновных пород в зонах субдукции, вызывающий плавление пород мантийного клина и островодужный магматизм. 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 исследованию системы  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ – $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  в Университете Эхиме (Мацьюма, Япония) на многопуансонном аппарате высокого давления. Целью экспериментов являлось 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  $\text{MgO}$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Подбородников И.В., Шацкий А.Ф., Арефьев А.В., Бехтенова А.Е., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН, НГУ) исследовали петрологически важную тройную карбонатную систему  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ – $\text{CaCO}_3$ – $\text{MgCO}_3$  при 3 ГПа и 700–1285°C с использованием многопуансонной техники. Сагатов Н.Е., Гаврюшкин П.Н., Инербаев Т.М., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН) на основе *ab initio* расчетов в рамках теории функционала плотности и алгоритмов предсказания структур определили фазы карбидов железа устойчивые при  $P$ - $T$  параметрах ядра Земли. Сагатов Д.Н., Сагатов Н.Е., Гаврюшкин П.Н., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН) в рамках исследования термодинамических свойств соединений железа при параметрах внутреннего ядра Земли сделали 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, обогащенные железом, Fe<sub>3</sub>N, Fe<sub>2</sub>N и FeN. Сердюк А.А. (ИЭМ РАН), Перчук А.Л. (МГУ, ИЭМ РАН), Зиновьева Н.Г. (МГУ) представили результаты экспериментов, моделирующих преобразование фертильной мантии под действием флюидов и расплавов, выделившихся из субдукционного осадка. Опыты показали, что, потоки жидкостей из субдукционного осадка не способны обеспечить вынос значимых количеств углерода из метаосадочного слоя в породы мантии. Сивак А.В., Литвин Ю.А., Захарченко Е.С. (ИЭМ РАН) провели экспериментальное изучение фазовых отношений при плавлении многокомпонентной алмазообразующей оксид–силикат–карбонатной системы при 15 ГПа. Федораева А.С., Шацкий А.Ф., Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН, НГУ) предположили, что совместная кристаллизация алмаза и валстромита из раствора углерода в кальциевом карбонатно–силикатном расплаве могла происходить при температурах не ниже 1400°C, что согласуется с гипотезой о сублитосферном генезисе этих алмазов. Ченуров А.А., Лин В.В., Ишутин И.А. (ИГМ СО РАН) представили результаты экспериментального исследования кристаллизации зональных субкальциевых хромистых гранатов в модельной ультраосновной системе при взаимодействии природного серпентина, хромита и корунда с Са–карбонатитом. Полученные экспериментальные данные показали важную роль карбонатита как источника СаО при кристаллизации пироповых гранатов, по составу типичных для включений гарцбургитового парагенезиса в природных алмазах. Шацкий А.Ф., Арефьев А.В., Подбородников И.В., Литасов К.Д. (ИГМ СО; НГУ) исследовали фазовые взаимоотношения в системе пелит–СО<sub>2</sub> при 6 ГПа и 900–1500°C. Полученные расплавы напоминают составы расплавных включений в кимберлитовых алмазах. Это позволяет предположить, что щелочные карбонатитовые и ультракальциевые алюмосиликатные расплавы, захваченные алмазами, могли образоваться в результате частичного плавления карбонатизированного материала континентальной коры, погруженного на глубину 200 км и нагретого до 1200–1500°C.

#### ОБРАЗОВАНИЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАГМ

Крашенинников С.П., Соболев А.В., Батанова В.Г., Кошлякова А.Н. (ГЕОХИ РАН), Борисов А.А. (ИГЕМ РАН) провели эксперименты по плавлению гавайских пикритов с использованием проволоки из железа (чистота 99.5%) в качестве контейнера. Получили более 80 равновесных пар оливин–расплав с пренебрежительно низкими содержаниями трехвалентного железа. Это поз-

волило провести оценку правильности существующих моделей численного моделирования. Николаев Г.С. (ГЕОХИ РАН), Арискин А.А. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН), Бармина Г.С. (ГЕОХИ РАН) используя новую модель равновесия шпинелид – расплав SPINMELT-2.0, провели анализ влияния вариаций  $fo$ -,  $fa$ -,  $en$ -,  $fs$ -,  $di$ -,  $an$ - и  $ab$ -компонентов в высокомагнезиальном базальтовом расплаве на топологию ликвидуса шпинелида. Установили, что обогащение расплава пироксеновыми компонентами приводит к повышению, а плагиоклазовыми и оливиновыми – к понижению растворимости хромита. 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), Хольтц Ф. (Uni Hannover) представили новые оригинальные данные по высокобарическим экспериментам с нефелин-нормативными включениями в оливине из пород Ключевского вулкана. Результаты этих экспериментов показали, 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. Жаркова Е.В., Луканин О.А., Цехоня Т.И. (ГЕОХИ РАН) провели определения собственной летучести кислорода оливинов и базальтов из Камчатского региона. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с термодинамическими расчетами. Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. (геол. ф-т МГУ) разработали новый алгоритм поиска равновесия минерал – расплав. Коптев-Дворников Е.В., Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ) вывели уравнение для вычисления  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в ряду силикатных расплавов от коматиитовых базальтов до дацитов. Эти же авторы предложили авгитовый и плагиоклазовый ликвидусный термобарометр для диапазона составов расплавов от магнезиальных базитов до кислых. Хубуная С.А., Гонтовая Л.И., Максимов А.П., Хубуная В.С. (ИВиС ДВО РАН) исследовали минералогические и геохимические особенности умеренно калиевых базальтов и К-трахиандезитобазальтов Ключевской группы вулканов. Соловова И.П., Юдовская М.А. (ИГЕМ РАН) изучали мантийный метасоматоз и коровые контаминации высокомагнезиальных расплавов (Уиткомст, ЮАР). Авторы сделали выводы, что положительная корреляция парных отношений  $Th/Zr-Nb/Zr$  предполагает взаимодействие мантийных магм с глубинными метасоматизирующими флюидами на ранних этапах эволюции, а отношения  $(La/Nb)_N-(Th/Ta)_N$  свидетельствуют о контаминации поздне-магматических дифференциатов коровым веществом с высоким содержанием летучих компонентов. Шекина Т.И., Русак А.А., Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н. (геол. ф-т МГУ), Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Зиновье-

ва Н.Г. (геол. ф-т МГУ), Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ), Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН) рассмотрели роль лития при дифференциации гранитных расплавов с предельными содержаниями фтора и распределение редкоземельных элементов при давлении от 1 до 5 кбар. Русак А.А., Шекина 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) изучили 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. %. Котельников А.Р., Шаповалов Ю.Б., Сук Н.И. (ИЭМ РАН), Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН), Коржинская В.С. (ИЭМ РАН) представили 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. Сук Н.И. (ИЭМ РАН) исследовала жидкостную несмесимость, возникающую в щелочных силикатно-фосфатных системах при  $T = 1250^\circ C$  и  $P_{H_2O} = 2$  кбар. Изучила распределение петрогенных и рудных элементов между силикатным и фосфатным расплавами. Пишеницын 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) провели комплексное изучение сульфидизированных мафит-ультрамафитовых пород из нижней части Йоко-Довыренского массива. В данных породах записаны условия ранней стадии эволюции сульфидно-силикатных систем, которые в дальнейшем привели к формированию промышленно значимых руд. Азарова Н.С., Бовкун А.В., Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ), Варламов Д.А. (ИЭМ РАН) изучили минералогию оранжеитов трубки Сейтаперя (поле Кухмо, Финляндия). Безмен Н.И., Горбачев П.Н. (ИЭМ РАН) разработали петрохимическую систематизацию интрузивных магматических комплексов, которая легла в основу петролого-металлогенической классификации дифференцированных интрузивов с выделением массивов, перспективных на содержание рудной минерализации. Когарко Л.Н. (ГЕОХИ РАН) исследовала влияние различных факторов, определяющих состав твердых растворов мелилита и лимитирующих его кристаллизацию из магматического расплава. Коногорова Д.В., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К. (геол. ф-т МГУ) доказали, что с увеличением глубины отработки трубки “Удачная” увеличивается содержание кристаллов алмаза переходных форм и додекаэдров, а так же снижение доли нерастворенных октаэдров. Это говорит о более интенсивном воз-

действию процессов окислительного сглаживающего растворения. Изучение и сопоставление алмазов с нижних горизонтов, даст возможность прогнозировать изменение качественных характеристик кристаллов на нижних горизонтах трубок, подобных "Удачной". *Коньшев А.А. (ГЕОХИ РАН, ИЭМ РАН), Русак А.А., Аносова М.О. (ГЕОХИ РАН)* привели данные о составах силикатных включений в цирконах, кварце и полевых шпатах полученных при помощи методов RSMA и SIMS. *Коптев-Дворников Е.В., Бычков Д.А. (геол. ф-т МГУ)* предложили систему уравнений для авгитового ликвидусного термобарометра для диапазона составов расплавов от магнезиальных базитов до липаритов. Эти же авторы представили систему из 5 уравнений для плагиоклазового ликвидусного термобарометра для диапазона составов расплавов от магнезиальных базитов до дацитов. *Куровская Н.А., Луканин О.А., Игнатьев Ю.А., Кононкова Н.Н., Крюкова Е.Б. (ГЕОХИ РАН)* провели эксперименты по определению влияния  $f\text{H}_2$  и  $f\text{O}_2$  на содержание и формы нахождения N–C–H–O летучих в силикатных расплавах модельного состава  $\text{FeO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ , равновесного с жидкой металлической фазой, при 1.5 ГПа и 1400°C. *Тобелко Д.П., Портнягин М.В., Крашенников С.П., Краснова Е.А. (ГЕОХИ РАН)* оценили состав источника и температуры кристаллизации магм Кумрочского вулканического комплекса. Температуры кристаллизации магм не превышают 1150°C для оливина  $\text{Fo} > 89$  и свидетельствуют о низкотемпературном типе мантийного источника. *Шишкина Т.А., Портнягин М.В., Мигдисова Н.А., Суцеевская Н.М. (ГЕОХИ РАН), Тихонова М.С. (геол. ф-т. МГУ), Крашенников С.П. (ГЕОХИ РАН), Щербаков В.Д. (геол. ф-т МГУ)* определили составы и условия кристаллизации толеитовых магм района тройного сочленения Буве (Южная Атлантика) по данным изучения закалочных стекол и расплавных включений.

### ВЗАМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМАХ ФЛЮИД–РАСПЛАВ–КРИСТАЛЛ

*Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Шекина Т.И. (геол. ф-т МГУ)* оценили содержания воды в кислом алюмосиликатном и равновесном солевом алюмофторидном расплавах. Содержание воды в солевом алюмофторидном расплаве достигает 15–19 мас. %, что приблизительно в 2 раза больше, чем в алюмосиликатном расплаве. Эти же авторы экспериментальным путем определили содержание Ta и Nb в высокофтористом плюмазитовом гранитном расплаве. *Булатов В.К. (ГЕОХИ РАН), Гирнис А.В. (ИГЕМ РАН), Брай Г.П., Вудланд А., Хофер Х. (Университет им. И.-В. Гете, Франкфурт на Майне, Германия)* изучили растворимость сульфидной и сульфатной серы в силикатно-сульфидных системах при мантийных  $P$ - $T$  параметрах. Установлено, что растворимость

сульфидной серы в Ca–Mg–Fe-кремне-карбонатном расплаве, сосуществующем с сульфидным расплавом, оливином, ортопироксеном и графитом, находится в пределах 0.02–0.10 вес. %, а 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>). *Девятова В.Н. (ИЭМ РАН), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Некрасов А.Н., Сипавина Л.В. (ИЭМ РАН)* исследовали образование полосчатых сростаний  $\text{Cr}_x\text{O}-\text{Or}_x$  и диффузию Ca, Mg при перекристаллизации пироксена в андезитовом расплаве при  $P_{\text{H}_2\text{O}} = 300$  МПа. *Зеленский М.Е., Каменецкий В.С. (ИЭМ РАН), Портнягин М.В., Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН), Бочарников Р.Е. (Johannes Gutenberg Universität Mainz)* объяснили, каким образом в кристаллах оливина из мантийных ксенолитов появляются планарные или компактные рои флюидных включений с кристаллами магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), размер которых строго пропорционален размеру включения. *Зеленский М.Е., Каменецкий В.С. (ИЭМ РАН)* для устранения декрепитации силикатных расплавных включений при гомогенизации при 1 атм разработали установку для их гомогенизации под давлением 4–5 кбар. *Котельников А.Р., Коржинская В.С., Сук Н.И., Ван К.В., Вирус А.А. (ИЭМ РАН)* исследовали растворимость циркона и лопарита в силикатных расплавах при  $T = 1000^\circ\text{C}$  и  $P = 2$  кбар в присутствии воды или раствора 1 М KF. Установили, что растворимость лопарита зависит от состава алюмосиликатного расплава. Оценили коэффициенты разделения ряда элементов между силикатным расплавом и кристаллами лопарита. *Персиков Э.С., Бухтияров П.Г., Некрасов А.Н., Шапошникова О.Ю. (ИЭМ РАН)* представили результаты экспериментально-теоретических исследований влияния воды, растворенной в расплавах, на химическую встречную 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 процессе взаимодействия модельных расплавов системы андезит-базальт. Измерения проведены с помощью оригинальной установки высокого газового давления при давлениях воды до 160 МПа, давлениях аргона до 160 МПа и температуре  $T = 1300^\circ\text{C}$ , 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. %). *Поляков Н.А., Никифоров А.В. (ИГЕМ РАН)* провели изучение изотопного состава кислорода и углерода в ийолитах, породах зоны контакта и вмещающих известняках и мраморах Чикского щелочного массива. Показано значительное участие вмещающих карбонатных пород в генезисе ийолитов. *Расс И.Т. (ИГЕМ РАН), Шмулович К.И. (ИЭМ РАН)* экспериментально воспроизвели несмесимость щелочно-силикат-

ного и карбонатного расплавов действующего вулкана Олдоиньо-Ленгаи, производящего щелочные карбонатиты. *Родкин М.В. (ИТПЗ РАН, ИПНГ РАН), Пуанова С.А. (ИПНГ РАН)* проанализировали данные по микроэлементному составу нефтей различных нефтегазоносных бассейнов. *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)* получили новые экспериментальные данные по растворимости платины во флюиде CO–CO<sub>2</sub> методом двойных ампул при  $P = 100\text{--}300$  МПа и  $T = 950^\circ\text{C}$ . *Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН), Салова Т.П. (ИЭМ РАН), Борисова А.Ю. (GET CNRS, Toulouse), Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)* получили новые экспериментальные данные, указывающие на возможную роль малосернистых CO–CO<sub>2</sub> флюидов в формировании интерметаллидов Pt и Fe в природе. *Ходоровская Л.И. (ИЭМ РАН)* экспериментально исследовала взаимодействие диопсида с флюидом (25 мас. % NaCl)–Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в условиях градиента давления при 750°C. *Чевычелов В.Ю. (ИЭМ РАН)* определил растворимость природного Nb-содержащего лопарита в кислых модельных алюмосиликатных расплавах в зависимости от их состава. *Чевычелов В.Ю., Вирюс А.А. (ИЭМ РАН)* представил данные по растворимости пироклора, микролита и Nb/Ta отношению в гранитоидных расплавах с различной щелочностью – глиноземистостью (исходные модельные стекла состава SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Na<sub>2</sub>O–K<sub>2</sub>O с мольными Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O–K<sub>2</sub>O) равными ≈0.64, ≈1.10 и ≈1.70). Полученные результаты сравнил с данными по растворимости колумбита и танталита в аналогичных условиях.

#### ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ РАВНОВЕСИЯ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

*Таусон В.Л., Смагунов Н.В., Липко С.В., Бабкин Д.Н., Белозерова О.Ю. (ИГХ СО РАН)* определили коэффициенты распределения  $K_{\text{Me}}^{\text{s/eq}}$  и коэффициенты сокристаллизации  $D_{\text{Me/Zn}}$  ряда элементов-примесей в сфалерите при 450°C и давлении 1 кбар. Сравнение с литературными данными показали, что  $D_{\text{Mn/Fe}}$  в сфалерите проявляет высокую стабильность и практически не зависит от химических условий в системе и температуры (400–500°C). *Тонкачев Д.Е. (ИГЕМ РАН)* методом рентгеновской спектроскопии поглощения определил химическое состояние Hg в синтетических кристаллах сфалерит-метацинабаритового ряда. *Якименко А.А., Бычков А.Ю., Тарнопольская М.Е. (геол. ф-т МГУ)* исследовали растворимость оксида молибдена(VI) в растворах HCl при 100–200°C и давлении насыщенного пара воды. Показано, 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 в растворах комплекса MoO<sub>2</sub>Cl<sub>2(aq)</sub>. *Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Чуканов Н.В. (ИПХФ РАН), Калинин Г.М. (ИЭМ РАН)* с целью реконструкции условий кристаллизации галлиевого аналога эпидота Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Ga(Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>)(OH) из руд Тыкотовского золото-сульфидного рудопоявления на Приполярном Урале впервые осуществили синтез ряда устойчивых при заданных  $P$ - $T$  условиях (1 кбар, 500°C) твердых растворов серии эпидот–“галлиевый эпидот”. *Сидкина Е.С., Мироненко М.В. (ГЕОХИ РАН)* дополнили свою базу термодинамических данных GEOSCHEQ для расчета при повышенных  $T$  и  $P$  термодинамических свойств пяти видов керогена и углеводородов, являющихся компонентами сырой нефти и природного газа. Моделирование показало, что при определенных соотношениях масс керогена и воды при увеличении  $T$  и  $P$  происходят фазовые превращения в керогене с образованием менее высокомолекулярных и более окисленных его типов, что сопровождается появлением растворов углеводородов (нефть) и газовой фазы. *Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ, ГЕОХИ РАН)* провел гидропиролиз пород с высоким содержанием органического вещества, определил энергию 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. *Ермина О.С., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)* рассмотрели некоторые закономерности образования нефти и газа при гидротермальном преобразовании биомассы водорослей. *Алексеев В.А., Бурмистров А.А., Громяк И.Н. (ГЕОХИ РАН)* провели длительные эксперименты при 300°C по превращению кварца в опал в закрытой системе вода-пар. Испарение тонкой пленки воды приводило к увеличению концентрации в ней кремнезема, который осаждался на кварце в виде опала. Описанное явление может быть причиной асимметрии природных кристаллизационных полостей, нижние части которых растворялись, а в верхних частях осаждались минералы. *Зайцев В.А. (ГЕОХИ РАН)* обратил внимание на возможность создания замкнутых процессов переработки минерального сырья, в которых бисульфат аммония выступает в качестве частично рециркулируемого выщелачивающего реагента. Для оценки количественных характеристик динамики процесса растворения эвдиалита серной кислотой автор провел эксперименты по разложению эвдиалитового концентрата в условиях недостатка кислоты. *Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Шаповалов Ю.Б., Котельников А.Р., Калинин Г.М. (ИЭМ РАН)* исследовали формирование щелочных амфиболовых кайм вокруг зерен клинопироксена (диопсид-геденбергитового состава), обнаруженных при изу-

чении минеральных особенностей Тикшеозерского массива. *Коноплева И.В. (ГЕОХИ РАН), Забелайлова А.А. (ВНИИРАЭ)* разработали экспресс-метод количественного определения вермикулита в почве методом фиксации Cs, меченного радиоактивным изотопом. *Коржинская В.С. (ИЭМ РАН)* провела экспериментальные исследования по изучению 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  $T = 300^\circ C$ ,  $P = 100$  МПа в присутствии кислородного буфера  $Co-CoO$ . *Котова Н.П. (ИЭМ РАН)* установила, что в хлоридных растворах различного катионного состава  $(NaCl$  и  $LiCl)$  температурная зависимость растворимости  $Nb_2O_5$  в интервале температур  $300-550^\circ C$  ( $P = 100$  МПа, буфер  $Co-CoO$ ) слабо выражена и находится в пределах  $10^{-5}$  моль/кг  $H_2O$ . *Лантев Ю.В. (ИГМ СО РАН)* впервые провел сравнительное экспериментальное изучение растворения и распределения золота между пиритом и сульфатно-хлоридным флюидом с углекислотой и без нее при температуре  $340^\circ C$  и  $400-440$  бар. *Медведев В.Я., Иванова Л.А. (ИЗК СО РАН)* исследовали влияния флюидного режима на процессы аргиллизации. В качестве объекта для изучения были взяты образцы лейкократовых двуполевошпатовых гранитов одной из жильных фаз гранитов Мункусардыкского комплекса складчатого обрамления Сибирской платформы и посткинematические серые двуполевошпатовые гранодиориты Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирской платформы. *Николаева И.Ю., Тарнопольская М.Е., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)* определяли летучесть фосфорной кислоты в восстановительных условиях и провели термодинамические расчеты, которые показали, что вероятной формой переноса является  $PO_2(газ)$ . *Тарнопольская М.Е., Бычков А.Ю. (геол. ф-т МГУ)* исследовали фторидные комплексы гафния в гидротермальных растворах. Выяснили, что при увеличении концентрации гафния растворимость флюорита возрастает.

## СИНТЕЗ МИНЕРАЛОВ

*Баренбаум А.А., Климов Д.С. (ИПНГ РАН)* рассмотрели вопрос о применении модели Андерсона—Шульца—Флори при геосинтезе. Показали, что эта модель вполне применима к нефтям и газоконденсатам ( $0.6 < \alpha < 0.8$ ), а также к газообразным УВ ( $0.18 < \alpha < 0.28$ ). *Беккер Т.Б., Литасов К.Д., Шацкий А.Ф., Криницын П.Г. (ИГМ СО РАН)* провели исследования фазообразования в системе  $Al_2O_3-Ti_2O_3-ZrO_2$  с целью изучения условий образования и свойств кармелтазита и тистарита. *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)* синтезировали кристаллы пентландита и

никелистого пирротина, легированные редкими и благородными металлами, определили концентрации макро- и микрокомпонентов и показали равномерность их распределения. *Реутова О.В. (геол. ф-т МГУ), Редькин А.Ф. (ИЭМ РАН)* изучили влияние соотношения  $Ca^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  в системе  $Ca_{2-x}Cd_xSb_2O_7$  на структуру продуктов синтеза при  $T = 800^\circ C$  и  $P = 2$  кбар в воде, определили влияние мольной доли  $Ca^{2+}$  на параметр элементарной ячейки пирохлора (ромеита). *Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Щипалкина Н.В. (геол. ф-т МГУ), Сук Н.И. (ИЭМ РАН)* синтезировали полевые шпаты с изоморфным замещением  $2Si^{4+} \leftrightarrow Al^{3+} + As^{5+}$ , синтетические аналоги филатовита  $KAl_2SiAsO_8$ . *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)* исследовали катионообменные равновесия в системе галлиевый полевой шпат — флюид, провели сравнение функций смешения галлиевых полевых шпатов с другими твердыми растворами каркасных алюмосиликатов. *Лобастов Б.М., Сильянов С.А. (ИГДГиГ СФУ)* рассмотрели морфологические особенности кристаллов золота, синтезированных из ртутных амальгам на естественные подложки. *Балицкий В.С. (ИЭМ РАН), Балицкий Д.В. (Деневр, Франция), Балицкая Л.В., Сеткова Т.В., Бубликова Т.В. (ИЭМ РАН)*, используя разработанный ранее гидротермальный испарительно-рециркуляционный метод выращивания кристаллов, впервые осуществили эпитаксиальное выращивание однородных монокристаллов кварцеподобного ортофосфата галлия ( $\alpha-GaPO_4$ ) весом до 30 г на кварцевых подложках различной кристаллографической ориентации. *Бутвина В.Г. (ИЭМ РАН), Воробей С.С. (геол. ф-т МГУ), Сафонов О.Г., Варламов Д.А. (ИЭМ РАН)* исследовали зависимость интенсивности кристаллизации и появления  $K-Cr$  титанатов от количества  $K_2CO_3$  в системе хромит—ильменит— $K_2CO_3$ —щавелевая кислота при 3.5 и 5 ГПа. Основываясь на полученных экспериментальных данных, вывели реакции мантийного метасоматоза, описывающие процесс образования  $K-Cr$  титанатов. *Бутвина В.Г. (ИЭМ РАН), Смирнова М.Д. (геол. ф-т МГУ), Сафонов О.Г., Ван К.В. (ИЭМ РАН)* представили результаты экспериментального моделирования субсолидусных парагенезисов ультрамафических лампрофиров Иркенева—Чадобецкого прогиба (юго-западная Сибирь) при высоких  $PT$ -параметрах. *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)* впервые осуществили выращивание на затравку монокристаллов топаза, допированных примесью галлия и германия. *Ковальская Т.Н., Ханин Д.А., Варламов Д.А., Калинин Г.М. (ИЭМ РАН)* синтезировали алланит в

гидротермальных условиях. *Нестерова В.А. (геол. ф-т МГУ, ИЭМ РАН), Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН), Пуцаровский 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)* провели гидротермальный синтез (Ga, Ge)-содержащего структурного аналога турмалина. *Ханин Д.А., Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Калинин Г.М., Ханина Е.В. (ИЭМ РАН), Гриценко Ю.Д. (геол. ф-т МГУ)* для воссоздания механизма миграции элементов в водных растворах, как одного из возможных механизмов образования алланитов, провели эксперименты по ионному обмену между эпидотом и растворами нитрата иттрия и нитрата церия с концентрациями 2 М, 1 М, 0.5 М и 0.25 М соответственно. *Ханин Д.А. (ИЭМ РАН, ИВиС ДВО РАН), Чубаров В.М. (ИВиС ДВО РАН), Ханина Е.В. (ИЭМ РАН)* синтезировали хромсодержащий англезит в гидротермальных условиях. *Филимонова О.Н., Абрамова В.Д. (ИГЕМ РАН), Квашина 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)* для изучения структурно-химического состояния примеси Pt в пирротине синтезировали 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. %.

#### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ И ФЛЮИДОВ

*Иванов М.В., Бушмин С.А. (ИГГД РАН)* разработали термодинамические модели систем  $H_2O-CO_2-NaCl$  и  $H_2O-CO_2-CaCl_2$  для  $T$ - $P$  параметрах коры и верхней мантии. *Королева О.Н. (Институт минералогии УрО РАН), Бычинский В.А. (ИГХ СО РАН), Тупицын А.А. (ИрГУПС)* занимались физико-химическим моделированием бинарных  $Li_2O-SiO_2$ ,  $Na_2O-SiO_2$ ,  $K_2O-SiO_2$  и трехкомпонентным  $Li_2O-K_2O-SiO_2$  щелочно-силикатными расплавами методом термодинамического моделирования на ПК "Селектор". *Гартвич Ю.Г., Галкин В.М. (ИГМ СО РАН)* в интервале температур 100–650 К изучили термическое поведение гранатов ряда кноррингит-пирропа. Получили экстраполяционные значения для молярного объема и термического расширения при температурах 50–2000 К, и на их основе рассчитали значения теплоемкости. *Галкин В.М., Гартвич Ю.Г. (ИГМ СО РАН)* в интервале температур 103–650 К исследовали термическое поведение пирропа. Были получены экстраполяционные значения для молярного объема и термического расширения при температурах 50–1500 К, и на их основе рассчитаны основные термодинамические параметры. *Крашенинников С.П., Портнягин М.В. (ГЕОХИ РАН),*

*Бочарников Р.Е. (JGU, Майнц), Миронов Н.Л. (ГЕОХИ РАН), Щербаков В.Д. (МГУ)* получили новые экспериментальные данные, которые свидетельствуют о быстром переуравновешивании отношения  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в расплавленном 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. *Лебедев Е.Б. (ГЕОХИ РАН)* при  $P_{H_2O}$  до 5 кбар и  $T$  до 1000°C определял растворимость воды, электропроводность, вязкость, поверхностное натяжение расплавов, а также скорости упругих волн в следующих образцах пород: амфиболит, обсидиан, гранит, базальт, пироксенит, дунит, серпентинит. *Баранов А.В. (МГУ, ИЭМ), Столярова Т.А., Осадчий Е.Г., Бричкина Е.А. (ИЭМ РАН)* провели калориметрические измерения стандартной энтальпии образования  $Cu_2FeSnSe_4$  и  $Cu_2ZnSnSe_4$ . *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)* изучили физико-химические 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)* определили значения стандартной энтропии и энергии Гиббса образования природного Ti-содержащего граната и шорломита, рассчитали поля их устойчивости. *Девятова В.Н. (ИЭМ РАН), Симакин А.Г. (ИЭМ РАН, ИФЗ РАН)* в рамках экспериментального изучения кристаллизации амфибола из андезитового расплава провели термодинамический расчет разложения паргасита и его взаимодействия с андезитовым расплавом. *Корепанов Я.И., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)* на основе экспериментальных данных, полученных авторами и коллективом лаборатории высокотемпературной электрохимии ИЭМ РАН, построили тройную фазовую диаграмму Ag–Au–Te. *Косова Д.А. (хим. ф-т МГУ), Гриценко Ю.Д., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)* изучили процесс дегидратации бобьерита и ковдорскита из Ковдорского карбонатитового массива (Россия). *Макаров В.П. (геол. ф-т РГГРУ)* проанализировал природные и экспериментальные особенности распределений изотопов в триаде ( $^{36}Ar$ ,  $^{39}Ar$ ,  $^{40}Ar$ ), преимущественно в биотите, при высоких температурах. *Огородова Л.П., Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф., Бычков А.Ю., Ксенофонтов Д.А., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)* изучали природный ортосиликат кальция и магния – монтичеллит из щелочно-ультраосновных интрузивных пород горного массива Кондёр (Хабаровский край, Россия). На основании полученных данных с помощью программы комплекса HCh были рассчитаны  $P$ - $T$  условия равновесия реакции образования монтичеллита из диопсида, форстерита и кальцита. Показано, что образование монтичеллита характерно

для наиболее высокотемпературных магнезиальных скарнов и скарноподобных пород (кальциевых метасоматитов) среди щелочно-ультраосновных массивов с карбонатитами. *Огородова Л.П., Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф., Мельчакова Л.В. (геол. ф-т МГУ)* провели физико-химическое исследование двух природных водных ортофосфатов магния — бобьерита и ковдорскита из Ковдорского карбонатитового массива (Кольский полуостров, Россия) методами рентгеноспектрального анализа, порошковой рентгенографии, ИК и КР спектроскопии, термического анализа. *Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН)* синтезировал теллурид серебра  $\text{AgTe}_3$  из элементов, в сосуде высокого газового давления (Ar) методом отжига при температуре 473 К, давлении 6500 бар и экспозиции 20 сут. *Соколова Т.С., Дорогокупец П.И. (ИЗК СО РАН)* на основе модифицированного формализма из свободной энергии Гельмгольца построили уравнения состояния ортоферросилита и рассчитали его термодинамические свойства. *Столярова Т.А., Бричкина Е.А., Осадчий Е.Г. (ИЭМ РАН), Баранов А.В. (МГУ, ИЭМ РАН)*, используя литературные данные по энтальпиям образования сульфидов, определили величину энтальпии образования мохита из элементов. *Суворова В.А. (ИЭМ РАН)* провела исследование по растворимости олова в паровой фазе на кривой кипения в бинарной системе  $\text{H}_2\text{O}-\text{SnO}_2$  при 330–360°C. Опыты выполнялись на оригинальной установке с внутренней ампулой, позволяющей отбирать пробу пара *in situ*. *Тюрин А.В. (ИОНХ РАН), Полотнянко Н.А. (Университет “Дубна”), Чареев Д.А. (ИЭМ РАН), Хорошилов А.В. (ИОНХ РАН)* методами адиабатической и дифференциальной сканирующей калориметрии измерили теплоемкости кристаллических  $\text{PtS}_2$  и  $\text{PdS}$ . На основании экспериментальных данных в широком интервале температур рассчитали теплоемкость, энтропию, изменение энтальпии и приведенную энергию Гиббса. *Шорников С.И. (ГЕОХИ РАН)* в рамках разработанной полуэмпирической модели рассчитал величины активностей оксидов  $\text{MgO}-\text{TiO}_2$  и энергий смещения в расплавах данной системы в области температур 1700–2500 К. *Шорников С.И. (ГЕОХИ), Шорникова М.С. (IPONWEB)* показали, что физико-химические свойства системы  $\text{CaO}-\text{FeO}$  и ее соединений имеют большое значение как составляющие многокомпонентных систем, представляющих приоритетное научное и прикладное значение.

### ПЛАНЕТОЛОГИЯ, МЕТЕОРИТИКА И КОСМОХИМИЯ

*Яковлев О.И. (ГЕОХИ РАН)* привел новые выражения уравнений Рэлея и Герца–Кнудсена с учетом активности компонента расплава. Предложенное модифицированное уравнение Герца–Кнудсена показывает принципиально новую зависимость скорости испарения компонента рас-

плава, которая определяется не только давлением пара этого компонента, взятого в чистом виде, но также его концентрацией и коэффициентом активности в расплаве. *Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН)* на основании расчетов вероятностей столкновений планетезималей из различных областей зоны питания планет земной группы с формирующимися планетами и Луной сделал выводы о процессе аккумуляции планет земной группы. Автором был также рассмотрен вопрос о вероятности столкновений с Землей и Луной планетезималей, мигрировавших из-за орбиты Марса. *Ипатов С.И. (ГЕОХИ РАН), Феоктистова Е.А. (ГАИШ МГУ), Светцов В.В. (ИДГ РАН)* провели сравнение количества лунных кратеров с диаметром большим 15 км и с возрастом меньшим 1.1 млрд лет в области Oceanus Procellarum с оценками числа околоземных объектов и характерных времен, прошедших до их столкновений с Луной. *Дорофеева В.А. (ГЕОХИ РАН, ИНАСАН)* создала электронный банк экспериментальных данных комет и привела конкретные примеры его использования. *Дорофеева В.А., Шилобреева С.Н. (ГЕОХИ РАН)* предложили 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. *Шорников С.И. (ГЕОХИ РАН)* впервые определил значения парциальных давлений пара молекулярных компонентов, содержащихся в газовой фазе над перовскитом. *Кронрод В.А., Дунаева А.Н. (ГЕОХИ РАН), Гудкова Т.В. (ИФЗ РАН), Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН)* рассмотрели проблему согласования моделей внутреннего строения частично дифференцированного Титана с числами Лява  $k_2$  и хондритовым составом железокремниевой компоненты спутника. Из экспериментальных величин чисел Лява однозначно следует присутствие под ледяной оболочкой водного океана. *Кронрод В.А., Кусков О.Л., Кронрод В.А. (ГЕОХИ РАН)* с помощью совместной инверсии сейсмических и гравитационных данных и метода минимизации свободной энергии Гиббса для расчета фазовых равновесий исследовали влияние термального состояния на модели химического состава мантии и размеры  $\text{Fe}-\text{S}$  ядра Луны. *Дунаева А.Н., Кронрод В.А., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН)* провели оценку вероятного теплового потока в Титане. Показали, что при L/LL хондритовом составе каменной компоненты и ее содержании ~50 мас. % (отношение  $\text{H}_2\text{O}$ -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. *Демидова С.И., Аносова М.О., Бадеха К.А. (ГЕОХИ РАН)* привели свидетельства метасомати-

ческой активности в лунных породах. *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)* рассмотрели результаты имитации микрометеоритного удара процесса с помощью миллисекундного лазера. Анализы продуктов “удара” по базальтовому стеклу (шарики расплава и конденсации пара) показали, что большая часть из них претерпела испарительную дифференциацию. *Сорокин Е.М. (ГЕОХИ РАН), Герасимов М.В., Зайцев М.А. (ИКИ РАН), Щербаков В.Д. (МГУ), Рязанцев К.М. (ГЕОХИ РАН), Быстров И.Г. (ФГБУ “ВИМС”), Яковлев О.И., Слюта Е.Н. (ГЕОХИ РАН)* представили работу по экспериментальному моделированию микрометеоритного удара на Луне с помощью миллисекундного лазера. *Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН), Шпекин М.И. (КФУ, Казань)* объясниликумулятивный механизм образования импактных кратеров падениями галактических комет в периоды нахождения Солнечной системы в струйных потоках и спиральных рукавах Галактики. *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)* показали, что в результате термобароциклического режима работы пневмоудара, возникающего при действии волн прибоев, в ячейках абразивных берегов образуется многофазная пузырьковая среда. Она способствует генерации полипептидных микросфер и синтезу высокомолекулярных органических соединений, предвывая этим начало теневой стадии структуроформирования первых пробионтов. Предполагается, что образование абразивных берегов может являться ключевым фактором абиогенеза. *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., Вахев П.В. (ООО “Мелитек”)* изучали неоднородность процессов деформирования и разрушения образцов обыкновенных хондритов под механической нагрузкой. *Алексеев В.А., Калинина Г.В., Лоренц К.А., Павлова Т.А. (ГЕОХИ РАН)* привели результаты измерений плотности треков VН-ядер галактических космических лучей (ГКЛ) в кристаллах оливина, выделенных из образцов обыкновенных хондритов Ablaketa H5 и Озёрки L6. *Алексеев В.А., Павлова Т.А. (ГЕОХИ РАН)* рассмотрели особенности распределения возрастов газодержания ( $T_4$  и  $T_{40}$ ) и радиационных возрастов ( $T_{21}$ ) в зависимости от пористости для наиболее распространенных химических групп метеоритов – Н- и L-хондритов. *Бадеха К.А. (ГЕОХИ РАН), Уймин А.А. (Уральский Технический Институт Связи и Информатики)* измерили оптические свойства ПСО метеорита Чинге при фронтальном отражении света. *Куюнко Н.С., Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН)* по результатам термолюминесцентных исследований метеоритов и образцов

находок неизвестного генезиса разработали методику, позволяющую установить земное или космическое происхождение изучаемого объекта. *Лаврентьева З.А., Люль А.Ю. (ГЕОХИ РАН)* методом ИНАА определили содержания микроэлементов в разделенных по плотности минеральных фракциях из неравновесного энстатитового хондрита Adhi Kot EH4. *Люль А.Ю., Лаврентьева З.А. (ГЕОХИ РАН)* рассмотрели данные по содержанию сидерофильных элементов в тонкозернистой и металлической фракциях хондритов EH4 и EL6 типов, а также ахондрита Norton County. *Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН), Теплякова С.Н. (ГЕОХИ РАН), Шацкий А.Ф., Подгорных Н.М. (ИГМ СО РАН)* привели 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. *Литасов К.Д. (ИГМ СО РАН), Саню Ю., Такахата Н., Мики Ц. (Токийский университет), Теплякова С.Н., Скрипник А.Я. (ГЕОХИ РАН)* исследовали U–Pb возраст 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. Полученные данные согласуются с другими оценками дифференциации металлической и силикатной части метеоритов группы IAB. *Мальков Б.А. (СГУ, Сыктывкар), Куратов В.В. (Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар), Холопова А.Л. (ПИН РАН, Москва)* предположили, что периодическая система земных и лунных импактных событий является ключом к диагностике проблематичных и прогнозу новых рудоносных астроблем. *Устинова Г.К. (ГЕОХИ РАН)* рассмотрела особенности магнито-гидродинамической обстановки во внутренней геиосфере в течение 11-летних циклов по метеоритным данным. *Хисина Н.Р., Сенин В.Г., Бадюков Д.Д., Рязанцев К. (ГЕОХИ РАН)* впервые изучили текстуру и минералогию оливин-содержащих кластеров в метеорите Сеймчан (палласит) методами оптической микроскопии, SEM и EMPA. *Цельмович В.А. (ГО “Борок” ИФЗ РАН), Максе Л.П. (ООО “Цедар”)* исследовали магнитную компоненту вещества, выделенного из полиминеральной осадочной породы – трепела месторождения “Стальное”, Могилевская обл. (Белоруссия). Были обнаружены Mt микросферы, предположительно, космической пыли. *Юрковец В.П. (The Academy of DNA Genealogy)* исследовал катастрофные слои ближней зоны Ладожского импакта.

#### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОМАТЕРИАЛОВ

*Бубликова Т.М., Балицкий В.С., Тимохина И.В., Некрасов А.Н. (ИЭМ РАН)* установили влияние

состава кристаллизационного раствора на форму и строение агрегатов синтетического аналога малахита. *Бубликова Т.М., Сеткова Т.В., Балицкий В.С. (ИЭМ РАН)* для установления полей стабильности минералов меди изучили систему  $\text{CuO}-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$  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. *Кузин А.М. (ИПНГ РАН)* рассмотрел распределение флюида в Земной коре по сейсмическим данным. *Жариков А.В. (ИГЕМ РАН), Мальковский В.И. (ИГЕМ РАН, РХТУ)* провели эксперименты, которые позволили предложить прогноз изменения транспортных свойств, а именно пористости и проницаемости, в зависимости от температуры и присутствия воды для основных типов пород участка “Енисейский”.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЯ

*Мартынов К.В., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН), Некрасов А.Н., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Орлова В.А. (ФГУП ПО “Маяк”)* на основании экспериментальных данных рассмотрели вопрос выщелачивания стеклокристаллической фосфатной матрицы для РАО в условиях глубинного захоронения. *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)* изучали процессы выщелачивания литофильных, сидерофильных и халькофильных элементов из шунгитов. Оценили влияние температуры, кислотности среды и потенциала кислорода на гидролитическую устойчивость шунгитов. Показали корреляцию состава шунгита и составов поверхностных вод Максковского месторождения. Оценили возможность использования шунгитов как сорбента. *Фяйзуллина Р.В., Кузнецов Е.В., Салаватова Д.С. (геол. ф-т МГУ)* исследовали возможность применения синтетического кремнийорганического сорбента ПСТМ-3Т для адсорбционного удаления ртути из водного раствора. Определили зависимость адсорбции ртути от pH раствора, количества адсорбента и продолжительности контакта раствора с адсорбентом. Показано, что величина адсорбции тем выше, чем выше кислотность раствора. *Гришанцева Е.С., Дроздова О.Ю., Лапицкий С.А. (геол. ф-т МГУ)* провели 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. *Гришанцева Е.С., Алехин Ю.В., Дроздова О.Ю. (геол. ф-т МГУ), Де-*

*мин В.В. (почвенный ф-т МГУ)* исследовали местную миграцию органического вещества и микроэлементов в малых водоемах и водохранилищах бореальной климатической зоны (на примере Владимирской и Тверской областей). *Алехин Ю.В., Фяйзуллина Р.В. (МГУ)* определили состав газового гидрата ртути в процессе ее локального истощения из атмосферы при вымораживании. *Борисов А.П. (ГЕОХИ), Иванов А.Н. (МГУ), Линник В.Г., Соловьева Г.Ю. (ГЕОХИ)* измерили современную скорость осадконакопления по данным гамма-спектрометрии поверхностного слоя почвы острова Матуа Курильской гряды. *Дроздова О.Ю., Алешина А.Р., Лапицкий С.А. (геол. ф-т МГУ)* провели эксперименты по исследованию изменений органико-минеральных соединений вод реки Сеньга под действием солнечного излучения. *Дроздова О.Ю., Лапицкий С.А. (геол. ф-т МГУ)* изучали вопрос трансформации растворенного органического вещества и форм металлов при их миграции в поверхностных водах. *Дроздова О.Ю., Ненюкова А.И., Лапицкий С.А. (геол. ф-т МГУ)* исследовали формы металлов в водах и донных отложениях рек Сеньга и Межа. *Ермолаева В.Н. (ИЭМ РАН, ГЕОХИ РАН), Бычкова Я.В. (геол. ф-т МГУ), Козарко Л.Н., Михайлова А.В. (ГЕОХИ РАН)* провели эксперименты по выщелачиванию редкоземельных и радиоактивных элементов из эвдиалитового концентрата рудника Карнасурт (Ловозёрский массив, Кольский п-в). *Карасева О.Н., Иванова Л.И., Лакиштанов Л.З. (ИЭМ РАН)* для прогнозирования миграции токсичных веществ и радионуклидов в природных водах исследовали сорбционное взаимодействие стронция с оксидом марганца, который наряду с оксидами железа широко распространен в почвах и осадках. *Коноплева И.В. (ГЕОХИ РАН), Забежайлова А.А. (ВНИИРАЭ)* разработали экспресс-метод 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:  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ . *Котельников А.Р., Ахмеджанова Г.М. (ИЭМ РАН), Криночкина О.К. (НИУ МГСУ)* изучали состав поверхностных вод шунгитовых месторождений. Выяснили, 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. *Мартынов К.В., Захарова Е.В. (ИФХЭ РАН), Некрасов А.Н., Котельников А.Р. (ИЭМ РАН), Орлова В.А. (ФГУП ПО “Маяк”)* поставили модельные эксперименты по медленному охлаждению фосфатного расплава, аналогичного по составу остеклованным РАО ПО “Маяк”, подтвердили высокую вероятность его ча-

стичной кристаллизации с образованием стеклокристаллической матрицы. Авторы пришли к выводу, что фазовое состояние фосфатной матрицы не влияет на содержание компонентов в выщелатах в условиях глубинного захоронения. *Кулешова М.Л.* (геол. ф-т МГУ), *Данченко Н.Н.* (Почвенный институт им. В.В. Докучаева) исследовали песчано-гелевый материал (ПГМ) как геохимический барьер для кадмия, оценили влияние скорости фильтрации раствора и исходной концентрации кадмия на величину поглощающей способности, показали перспективность использования ПГМ в качестве геохимического барьера по отношению к кадмию. *Мартынов К.В., Жаркова В.О., Захарова Е.В.* (ИФХЭ РАН) предложили новый метод для определения давления набухания глинистых материалов для барьеров безопасности. Продемонстрировали результаты, полученные для разных бентонитов. Рассмотрели физические основы процесса и его влияние на деформационные и фильтрационные параметры глинистых барьерных материалов. *Наймушина О.С., Гаськова О.Л., Скрипкина Т.С., Зубакова Е.А., Богуславский А.Е., Саева О.П., Кабанник В.Г., Похоружкова А.И., Кравченко А.А.* (ИГМ СО РАН) нашли условия, при которых торф может успешно использоваться для очистки сточных вод от загрязнений.

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

*Александров П.Л., Градов О.В.* (ИФХ РАН) разработали схему, которая дает возможность 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. *Алиев Ф.А., Мададзада А.И.* (ЛНФ ОИЯИ), *Алиев Ч.С., Гусейнов Д.А.* (ИГГ НАН Азербайджан), *Дулиу О.Г.* (Бухарестский университет, Румыния), *Павлов С.С., Фронтасьева М.В.* (ЛНФ ОИЯИ) представили работу по определению содержания петрогенных и рассеянных элементов в осадочных породах Азербайджана методом нейтронной активации. *Градов О.В.* (ИФХ РАН) предложил использовать методы корреляционно-спектрального анализа с использованием ПО “KSA Image” и “QAVIS” для идентификации текстур минералов на шлифах, аншлифах и слабо диспергированных минеральных образцах. *Градов О.В.* (ИФХ РАН) провели разработку и тестирование техники “мультивейвлетной идентификации минеральных классов обладающих отличными текстурными характеристиками” на LUCAS-CMOS-чипе. *Жариков А.В.* (ИГЕМ РАН), *Мальковский В.И.* (ИГЕМ РАН, РХТУ) разработали теоретические основы методики и схему экспериментальной

установки, которые впервые позволят определить проницаемость образцов горных пород при фильтрации двуокиси углерода при околокритических параметрах. *Зеленский М.Е., Каменецкий В.С.* (ИЭМ РАН) разработали установку гомогенизации силикатных расплавных включений под давлением 4–5 кбар. *Кубракова И.В., Тютюнник О.А., Набиуллина С.Н., Гребнева–Балюк О.Н.* (ГЕОХИ РАН) систематизировали разработанные 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). *Молчанов В.П.* (ДВГИ ДВО РАН), *Медков М.А.* (ИХ ДВО РАН) предложили технологию очистки природного графита России от примесей с применением методов пиро-гидрометаллургии. *Тютюнник О.А., Набиуллина С.Н., Аносова М.О.* (ГЕОХИ РАН) провели 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., Кубракова И.В.* (ГЕОХИ РАН) разработали методику определения следов Ru, Pd, Ir, Pt, Rh (ЭПГ) и Au в ультраосновных породах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Правильность результатов, полученных по предложенной методике, подтверждена их сопоставлением с опубликованными данными для образцов гарцбургита HARZ01 и ультраосновной породы ОРУ-1 (международная программа GeoPT). *Тютюнник О.А., Кригман Л.В., Набиуллина С.Н., Аносова М.О., Кубракова И.В.* (ГЕОХИ РАН) провели анализ вещественного состава ряда стандартов осадочных и магматических пород. 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.

Семинар завершился общей дискуссией. В целом семинар продемонстрировал устойчивое развитие традиционных фундаментальных и прикладных направлений экспериментальных исследований в науках о Земле. Было отмечено повышение интереса экспериментаторов к космической тематике.

Расширенные тезисы участников семинара опубликованы на сайте Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского: <http://www.geokhi.ru/rasempg/Shared%20Documents/2019>