

# НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

---

УДК 549.061.3

© И.А.Августинчик, С.В.Яблокова, Т.П.Кузнецова, 2013

## ПО СЛЕДАМ ЕВРОПЕЙСКОЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ (EMC2012): ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

**И.А.Августинчик, С.В.Яблокова, Т.П.Кузнецова (ФГУП «ЦНИГРИ»)**

*Августинчик Игорь Александрович, Яблокова Светлана Васильевна, Кузнецова Татьяна Петровна,*  
[tsnigri@tsnigri.ru](mailto:tsnigri@tsnigri.ru)

### FOLLOWING THE EUROPEAN MINERALOGICAL CONFERENCE: APPLIED ASPECTS

**I.A.Augustinchik, S.V.Yablokova, T.P.Kuznetsova**

В начале сентября 2012 г. в университете И.В.Гете во Франкфурте-на-Майне была проведена Европейская минералогическая конференция (EMC2012) под девизом «Планета Земля от ядра до поверхности». Она стала совместным мероприятием европейских минералогических обществ Германии (DMG), Великобритании и Ирландии (MinSoc), Финляндии (MinSocFin), Австрии (ÖMG), Польши (PTMin), России (ВМО), Испании (SEM), Франции (SFMC), Италии (SIMP), Швейцарии (SSMP). От ВМО в состав оргкомитета конференции вошел зав. кафедрой кристаллографии СПбГУ профессор С.В.Кривовичев. Конференция, проведенная в дополнение к национальным встречам минералогов в 2012 г., была не первым (Кембридж, 2007; Эдинбург, 2009), но самым крупным событием, объединившим европейские минералогические общества. Она, как полагают обозреватели в кратком отчете о результатах работы конференции в журнале «Elements», явилась новым этапом в календаре международных минералогических конференций [3].

820 делегатов приняли участие в работе 33 научных секций, охвативших практически все аспекты современных минералогических знаний «от ядра до поверхности» Земли. Обсуждались материалы по планетарному веществу, мантийной петрологии и геохимии, магматизму и вулканологии, метаморфизму, прикладной минералогии, физике минералов, минералогической кристаллографии, минеральным месторождениям и сырьевым ресурсам, геохимии поверхностных процессов, геохронологии, биогеохимии, передовым аналитическим методам, археометрии, безопасности и сохранности минеральных объектов. Секциями руководили международные группы ученых, что, безусловно, способствовало усилению значимости конференции.

На выставках демонстрировались новейшие аппаратные разработки главных европейских фирм — *Bruker, Thermo, The Analytical X-ray Company, Renishaw, Munster Isotope Research Center (MIRC), Cameca, JEOL* и др., позволяющие получать более надежные данные при теоретических, экспериментальных и практических исследованиях. Были организованы экскурсии в геологический парк Эйфель и по долине р. Рейн.

Взаимодействие компаний по производству аналитической аппаратуры и инструментария, ми-нералогов и промышленных спонсоров оказалось весьма полезным. Оно проявилось со всей очевидностью в высоком качестве устных и постерных презентаций. Большинство принимавших участие минералогических обществ и фирм провело бизнес-встречи и выставки, а редакционные советы журналов «*Mineralogical Magazine*» и «*European Journal of Mineralogy*» — встречи по редакционной политике этих изданий. Возможности контактов с фирмами и обществами можно найти в буклете EMC2012 [1]. Ряд деловых встреч были организованы Международной минералогической ассоциацией (IMA) и Европейским минералогическим союзом (EMU). Первым вице-президентом IMA был избран российский делегат, зав. кафедрой кристаллографии СПбГУ проф. С.В.Кривовичев [2]. Следует отметить блестящую организационную и техническую работу оргкомитета конференции во главе с Gerhard Brey и Heidi Höfer. По мнению обозревателей конференции, итоги ее работы показали высокую перспективность международных научных встреч, в том числе на европейском уровне, которые являются залогом дальнейшего развития минералогии. Избранный на конференции оргкомитет принял решение о проведении следующей Европейской

минералогической конференции в Италии в 2016 г. Все материалы конференции опубликованы в электронной форме и доступны на ее официальном сайте [1].

На конференции были заслушаны 730 устных и стендовых докладов и лекций, в том числе 70 из России (ИГЕМ, ГЕОХИ РАН, ИГМ (г. Новосибирск), ИГА БМ (г. Якутск), СО РАН, ЦНИГРИ, МГУ, СПбГУ и др.). Каждый стендовый доклад сопровождался двухминутным устным изложением и демонстрацией слайдов с целью привлечь более широкое внимание аудитории к сути затрагиваемых вопросов. От ЦНИГРИ материалы были представлены И.А.Августинчиком, Т.И.Колесниковой, Т.П.Кузнецовой, Л.А.Николаевой, Г.К.Хачатрян, Т.И.Щербаковой, С.В.Яблоковой.

Основное направление работы конференции — рассмотрение результатов фундаментальных теоретических, экспериментальных и практических минералогических исследований последних лет, касающихся эволюции разнообразных планетарных процессов. Это нашло отражение в пленарных заседаниях, включавших доклады «Алмазы вечны, но где они образуются?» (*T.Stachel, J.Harris*), по мониторингу эволюции мантии на основе данных по новым изотопным системам (*T.Elliot*), лекции об образовании ядра и мантии по метеоритным (уреилиты) данным (*H.Downes*), «Пути не выбраны» по проблеме удаления ядерных отходов (*R.Ewing*), «Экспериментальная петрология перидотитов, базальтов и С, Н, О — окно в верхнюю мантию Земли» (*D.Green*), «Пластичное поведение глубинных минералов Земли при высоких давлениях» (*S.Merkel*), «Новый механизм роста континентальной коры по данным изучения алмазосодержащих гранулитовых — гранат-перидотитовых комплексов» (*P.O'Brien*).

Наиболее насыщенными, важными для практики материалами были доклады по минеральным месторождениям и сырьевым ресурсам (секция 8), передовым аналитическим методам (секция 12), в которых рассмотрены особенности вещественного состава руд и закономерности их концентрирования, позволяющие глубже понять процессы формирования месторождений, смоделировать их численно или экспериментально и использовать выявленные закономерности в практике прогноза, поисков и оценки полезных ископаемых. Так, на заседании, посвященном рудным поясам Европы, рассмотрены вопросы геодинамических обстановок и строения магматических комплексов, с которыми связано формирование Cu-Au-Mo месторождений Малого Кавказа, Карпато-Паннонского региона, центральной и южной частей Балканского полуострова (Сербия, Косово,

Греция), необычного колчеданного месторождения Las Cruces (Южная Испания) с наложенной современной минерализацией эпitherмального типа.

Материалы секции по магматическим месторождениям в мафит-ультрамафитах (Ni-Cu, ЭПГ и другая благороднометалльная минерализация) отражают результаты исследований ЭПГ оруденения на месторождениях и рудопроявлениях различных типов в странах Европы, Азии, Африки, Центральной и Южной Америки. Объекты исследований — ЭПГ минерализация и оруденение традиционных месторождений и проявлений расслоенных комплексов (Two River, восточная часть Бушвельдского комплекса, ЮАР; Альто Кондото, Колумбия), новых проявлений платиноносности высокомагнетизальных габброидов района Цагаан-Шувуут, Монголия (*А.Вишневецкий и др.*), орогенных офиолитовых хромитоносных комплексов урало-аляскинского типа Viravira (Колумбия), Светлоторского и Нижнетагильского комплексов (Урал), ЭПГ россыпей района Новосельцы (Болгария), платформенных щелочно-базит-ультрабазитовых комплексов (Унст, Великобритания; Гули, Россия) и связанных с ними Au-ЭПГ россыпей, платиноносных никелевых кор выветривания, платиноносных медно-порфировых комплексов и полиметаллических месторождений. Рассматривались также вопросы образования близповерхностных проявлений золота в Кемпендэйской дислокации (Виллойская синеклиза), первичных источников золота куранахского типа.

Наиболее интересными в прикладном отношении представляются результаты по необычной ЭПГ сульфидной минерализации в хромититах LG-6 Бушвельдского комплекса (*E.Kotzé*), а также по месторождению Two River, Восточный лимб Бушвельдского комплекса (*J.Beukes*), способствующие пониманию роли хромититов и сульфидов как носителей и аккумуляторов ЭПГ оруденения и совершенствованию металлургической переработки этих типов руд. Важны также результаты картирования слабо минерализованных контактово-метасоматических пород на руднике Nkomati (интрузивный комплекс Witkomst, юго-восточный фланг Бушвельдского комплекса), позволяющие использовать эти данные для минимизации разубоживания руд при добыче (*C.Guenther*). Полезную информацию содержат доклады о повышенных уровнях попутной ЭПГ минерализации (до 3 г/т) в Ni-латеритах по ультрамафитам массива Loma Peguera (Доминиканская Республика) (*T.Aiglsperger*) и о самородках ЭПГ и Au близ Уктусского комплекса аляскинского типа (Урал) (*F.Zaccarini et al.*).

Исследования экспериментальных систем с участием ЭПГ, Au, Ag, Pb, Sn, As, Sb, Bi, Se, Te поз-

воляют прогнозировать новые необычные виды минерализации на ЭПГ и Ni-Cu месторождениях и более полно понимать процессы формирования ЭПГ оруденения (*E.Makovicky, S.Karup-Møller*), в том числе с участием серебра (*A.Vymazalova et al.*), олова (*T.Евстигнеева, Н.Трубкин*).

Обобщенные мировые данные об эволюции минерального и химического составов ЭПГ и Ni-Cu сульфидных руд (*И.Августинчик*) показывают, что в процессе рудообразования происходят стадийное изменение состава и соотношений рудных компонентов расплава, более ранняя кристаллизация соединений Fe, Ni, Co, Cu вначале с S, а по истощении ее «бюджета» в системе — с As, Sb, Bi, Sn и другими лигандами, накопление в остаточных расплавах и растворах Se, Au, Ag, ЭПГ. Минералогические и химические соотношения между этими группами элементов могут служить показателями типа, закономерностей развития и масштаба рудообразующей системы вплоть до возможностей количественной оценки масштабов ее рудных объектов на ранних этапах поисково-разведочных работ.

На заседаниях по рудообразующим гидротермальным процессам обсуждались условия и механизмы формирования порфировых, колчеданно-полиметаллических, щелочных рудно-магматических систем с редкометальным оруденением на примерах месторождений Западных Карпат, Португалии, Чехии, Болгарии, Забайкалья (Россия), Тайваня, медных месторождений в песчаниках (Любин, Польша), золоторудных месторождений Узбекистана, Au-Ag руд рудного района Баньска-Штьявница (Словакия), глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) района Малых Антильских островов (Доминика) и др. Приводились новые данные по геологоразведочным работам на золоторудную минерализацию орогенного типа в Греции (*C.Michael et al.*).

В докладах, посвященных конкретным месторождениям, использован обширный материал по минеральному и химическому составам руд, условиям рудообразования, соотношениям изотопов серы, кислорода, углерода, меди. Этот материал позволяет проводить сравнительный анализ месторождений цветных и благородных металлов при прогнозно-металлогенических исследованиях.

На подсекции по дефицитным сырьевым материалам для Европы рассмотрены сообщения по циркон-пироксоловому редкометальному оруденению комплекса Гремяха-Вырмес (Россия) (*Н.Сорохтина и др.*), новому ЭПГ-Au-Ag типу оруденения в карбонатитах Верхнего Египта (*О.Kamel, E.Niazu*), данные по потенциальному источнику ГПС глубоководных гор вдоль Атлантической кон-

тинентальной окраины Испании (*F.Gonzalez et al.*), вопросы распределения металлов высоких технологий (Hf, Ti, Nb, Ta, Zr, Mo, V, P3Э) в океанских Fe-Mn конкрециях и корках и возможности их селективного извлечения (*A.Koschinsky et al.*), прикладные вопросы улучшения качества экстракции платины из окисленных ЭПГ руд комплекса Великая Дайка (Зимбабве) (*D.Mohwinkel, M.Bau*), распределения германия в обогащенном им сфалерите из Pb-Zn месторождений (*E.Henjes-Kunst et al.*), жильной Co-Ni минерализации района Сигерланд, Северо-Западная Германия (*A.Hellmann et al.*) и др.

Золоторудным месторождениям было посвящено незначительное количество докладов на секциях по минеральным месторождениям и сырьевым ресурсам (секция 8), а также передовым аналитическим методам (секция 12). Рассматривались в основном золотосодержащие проявления медно-порфирового типа Урала, Карпато-Паннонского региона, Малого Кавказа и др. В Карпато-Паннонском регионе, где известно большое количество скарновых и других золотосодержащих месторождений, связанных с медно-порфировыми системами, открытие месторождения Белый Верх способствовало значительному расширению перспектив других районов Карпат с аналогичными проявлениями неогенового вулканизма (*J.Lexa, P.Kodera*). Влияние изменяющейся геодинамической обстановки на формирование Cu-Au-Mo и Au-Ag руд изложено в двух докладах по Малому Кавказу (*R.Moritz, J.Mederer*). На Урале (*О.Плотинская и др.*) отмечается общая тенденция сложного эволюционного развития порфирового магматизма в пространстве (с запада на восток от Na до K-Na серий) и во времени (от D до C со сменой от Na через K-Na до K серий). С обеими тенденциями коррелируют уменьшение Cu/Mo и увеличение Mo/Re отношений в рудах. По Бугдаинскому золотоносному W-Mo порфировому месторождению (Восточное Забайкалье) (*В.Коваленкер*) детально рассмотрены Mo-W и Au минерализация, изотопный состав серы в сульфидах разных стадий, флюидные включения. Это позволило проследить эволюцию флюидного режима в ходе формирования кварц-молибденитовой и золото-полиметаллической стадий и показать генетическую сопряженность золотых руд с рудоносными W-Mo порфировыми штоками.

Интересный материал представлен по генезису рудного района Kassandra (Халкидики, Северная Греция). Происхождение месторождений этого района (Au, Ag, Cu, Pb-Zn), как и всего Сербо-Македонско-Родопского пояса, традиционно связывали с постколлизийным третичным вулканизмом. Детальные геохронологические данные (Re-Os

метод) по третичным интрузивам свидетельствуют скорее о генетической связи этих месторождений с близлежащим эксгумированным (вскрытым) Родопским метаморфическим комплексом, чем с постсубдукционными процессами (*A. Halin*). В двух докладах по Якутии (*А.Кашенкина, Ю.Глушкова, З.Никифорова*) на основании изучения самородного золота россыпей и сопоставления его с золотом известных коренных месторождений (Куранахское) предполагаемые коренные источники россыпей рассматриваются как перспективные объекты для поисков коренных проявлений соответствующих типов. Тонкодисперсному рассеянному золоту в медных рудах порфирирового проявления Wayin (Буркина-Фасо) в гранодиоритах и габброидах архейского зеленокаменного пояса окраины континентального бассейна посвящен доклад *R. Ramdohr и Т.Евстигнеевой*. Приводятся новые данные по геологоразведочным работам на золоторудную минерализацию орогенного типа в Греции (*C. Michael et al.*). Практические аспекты золотоносности приведены в докладе по типоморфизму самородного золота месторождений различных формационных типов (*Л.Николаева, С.Яблокова*). Мультипликативные модели самородного золота, в том числе геохимические его характеристики по основным рудно-формационным типам месторождений, позволяют прогнозировать эти типы на ранних стадиях геологоразведочных работ. В дополнение к ранее известным данным детальная минералогия золото-серебряных месторождений рассмотрена на примерах Румынии (*E. Latan*), Словакии (Баньска-Штявница) (*K. Berkh*), Средней Азии (Кураминское и др.) (*Р.Халматов, Р.Конев*). Необычно высокие Au-Ag концентрации установлены в РЗЭ-носных карбонатитах South El-Fayoum (Верхний Египет) (*A. Kamel*).

Ряд докладов касался месторождений свинца и цинка. Например, в докладе *Р.Анатасовой, Р.Василевой* по результатам изучения распределения микроэлементов в минералах теннантит-тетраэдритового ряда и сосуществующих сульфидах из гидротермальных месторождений Центральных Родоп в очередной раз подчеркивается важность этих сульфосолей как петрогенетического индикатора обстановок гидротермального рудообразования. В докладе *Т.Кузнецовой* о минеральных парагенезисах регенерированных руд Pb-Zn месторождений показано, что состав регенерированных руд в значительной мере определяется составом первичных рудных концентраций, поэтому их изучение имеет важное прикладное значение. Наличие прожилков регенерированных руд на поверхности или верхних горизонтах месторождений может говорить о богатых рудных

залежах на глубине, а цинковой шпинели (ганита) — показателя высокой степени метаморфизма руд — служить важным поисковым признаком для обнаружения промышленного Pb-Zn оруденения. Структурные и химические характеристики ганита — природной цинковой шпинели, присутствие которого характерно для регенерированных и высокометаморфизованных Pb-Zn руд, исследованы *V.D'Ippolito et al.* Изучение Ge, As, Fe, Pb, Cd, Tl, Cu и изотопного состава серы в обогащенных Ge сфалеритах Pb-Zn месторождений Drau Range в Австрии–Словении (Восточные Альпы) (*E. Henjes-Kunst et al.*) показало, что высокая германиеносность характерна для сфалеритов с соотношением Fe>Cd. При этом более железистые сфалериты отличаются более высоким содержанием <sup>34</sup>S, а богатые Fe и Ge в одних случаях имеют легкий, в других — тяжелый изотопный состав серы. Отсутствие корреляции Fe и Ge и изотопного состава серы в сфалеритах позволяет предполагать, что обогащение Ge может определяться его заимствованием из вмещающих пород.

Важное прикладное значение для металлогенических исследований имеют также доклады, посвященные изучению процессов метаморфизма руд и вмещающих пород. В докладе *И.Лиханова и др.* охарактеризованы тектоническая эволюция и связанный с ней метаморфизм структурно-вещественных комплексов Енисейского кряжа. Получены новые петрологические и геохронологические данные, позволяющие выделить основные этапы в истории докембрия Енисейского кряжа. Приводятся доказательства гренвиллского возраста орогенных событий в этом регионе.

Изучению реакций преобразования оксидов железа системы Fe–O при процессах метаморфизма руд полиметаллических месторождений посвящены доклады *A. Woodland et al.* и *А.Курносова и др.* *A. Woodland et al.* рассмотрели процессы распада магнетита при высоких температурах и давлениях по реакции диспропорционирования до фаз Fe<sub>4</sub>O<sub>5</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые при декомпрессии снова рекомбинируют в магнетит, *А.Курнос* и другие исследовали поведение оксидов железа, частных компонентов полиметаллических руд, при экстремально высоких давлениях. Показано, что недавно обнаруженный при этих параметрах Fe<sub>4</sub>O<sub>5</sub> играет важную роль в системе Fe–O при высоких параметрах и при снижении температуры претерпевает ряд превращений, не относящихся к процессам окисления–восстановления.

Структурные переходы в кремнеземе при экстремальных давлениях от CaCl<sub>2</sub>-подобной фазы до постстишовитовых фаз со скрученными цепочками и пиритоподобными структурами, важные для по-

нимания процессов при высоких параметрах в низах коры и верхней мантии, описаны *J.Hreha et al.* В докладе *J.Kruhl et al.* показано, что в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма межзерновые границы выделений кварца частично открыты для миграции гидротермальных растворов благодаря наличию нанополостей переменной формы. Это следует учитывать при рассмотрении генезиса месторождений в метаморфических породах. В одном из докладов подчеркивалось, что создание баз термодинамических данных — важный инструмент в прогнозировании равновесий минеральных ассоциаций и их свойств. *E.Duesterhoeft et al.* разработана одномерная модель для расчета метаморфической плотности в зависимости от давления, температуры и химического состава пород. Показано, что фазовые переходы при метаморфизме в коре и мантии оказывают влияние на их плотностные характеристики.

Результаты изучения условий и закономерностей образования и поисковых критериев алмазосодержащего сырья представлены более чем в 20 докладах. Обзор достижений в понимании генезиса алмазов за последние 40 лет приведен в докладе *T.Stachel, J.Harris*. Показано, что основные источники алмазов — перидотитовые (2/3) и эклогитовые (1/3) области (фации) субкратонной мантии (глубины 140–200 км). Образование алмазов связывается с окислительно-восстановительными реакциями в присутствии расплава (эклогитовые и лерцолитовые алмазы) или в субсолидусных условиях в присутствии С–Н–О флюидов (гарцбургитовые алмазы) с возрастными интервалами 3,5–3,2 (гарцбургитовые источники), 2,3–1,9 (лерцолитовые) и 2,9–0,6 млрд. лет до настоящего времени (эклогитовые). По данным о примесях водорода образование неовелирных волокнистых алмазов близко ко времени извержений кимберлитов (по крайней мере до мелового возраста). По отношению  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  и содержания азота выделяют два типа генетических процессов в перидотитах (восстановление карбонатов и окисление метана), что в закрытой системе приводит к тренду снижения  $^{13}\text{C}$  при уменьшении количества азота. Считается, что восстановление карбоната является важным процессом при образовании алмазов с облаковидными включениями и волокнистых алмазов неювелирного качества эклогитовой серии. Мировые базы данных по алмазам с включениями указывают на сдвиг в механизмах образования алмазов от метанового в гарцбургитах в архее до карбонатного для лерцолитовых, эклогитовых и волокнистых алмазов в протерозойско-фанерозойский период. Это объясняют снижением температуры мантии во времени в результате субдукции морских карбонатов в глубокую

мантию, начиная с протерозоя, что фиксирует фундаментальный сдвиг в глубинном цикле углерода от дегазации его из недр при вулканической активности к обратному вводу в земные недра.

Экспериментальные данные по плавлению кимберлита трубки Удачная (Якутия) свидетельствуют о важной роли воды в этом процессе, который зависит от содержания  $\text{H}_2\text{O}$  и давления в кимберлитовом расплаве, и в генерации водосодержащего оливина кимберлитов (*A.Сокол и др.*). Сделан вывод о том, что вода является триггером для генерации первичных кимберлитовых магм. Эксперименты по фугитивности кислорода, при которой углерод (графит или алмаз) сосуществует с карбонатными фазами и расплавами в синтетических эклогитах, позволяют улучшить понимание возможных окислительных равновесий с участием ферри/ферро- и углерод/карбонатсодержащих минералов при разработке окситермобарометра для эклогитовых пород при субдуцировании углерода обратно в мантию (*V.Stagno et al.*).

В докладе *S.Milani et al.* по данным рентгеновской дифракции выведено уравнение состояния чистого синтетического альмандин  $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  до давления около 7 ГПа. Коэффициенты уравнения состояния, полученные путем адаптации к уравнению Birch-Murnaghan третьего порядка данных по давлениям – объемам, оказались значительно ниже объемного коэффициента и гораздо выше первой производной от давления по сравнению с полученными ранее. Использование новых данных для расчета давления образования гипотетической пары алмаз–альмандин дает результат 6,7 ГПа, что ниже по сравнению с прежними данными 7,2 ГПа. Это приводит к различию в оценке глубины образования около 15 км и указывает на необходимость более высокой точности оценки параметров термического расширения и  $dK/dT$ . Экспериментальные данные по растворимости азота в оливине, клинопироксене и гранате в окислительных и восстановительных условиях ( $T$  1000–1300°C,  $P$  15–35 кбар) (*Y.Li et al.*) показывают, что после образования ядра восстановленная мантия (в отличие от более ранних оценок) могла вмещать значительное количество азота за счет вхождения в этих условиях  $\text{NH}_4^+$  с радиусом, сходным с радиусом  $\text{K}^+$ , в катионные позиции силикатов, что не характерно для устойчивого в окислительных условиях  $\text{N}_2$ . Окисленная верхняя мантия могла выбрасывать азот в атмосферу при образовании Земли.

Методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HRTEM) и электронной энергодисперсионной спектроскопии (EELS) установлено, что частицы наноалмазов из

углистого хондрита Orgueil состоят из алмазного ядра, покрытого участками углерода с  $sp^2$  связью, возможно, с поверхностным преобразованием в фуллереноподобную структуру, и поэтому в межзвездном и околозвездном пространстве они могут быть не похожи на алмазы (*L.Garvie*).

Прикладные аспекты поисков кимберлитовых тел на площадях развития ледниковых отложений в пределах платформ рассмотрены в докладе по диагностике минералов-индикаторов кимберлитов в рыхлых отложениях с использованием метода ИК-Фурье спектроскопии (*Г.Хачатрян, Т.Щербакова, Т.Колесникова*). Показана возможность распознавания низкохромистых оранжево-красных кимберлитовых пиропов из ореолов рассеяния и идентично окрашенных метаморфических гранатов по различиям частотных характеристик полос поглощения ИК спектров. Возможности ИК-Фурье спектроскопии показаны также при изучении термической истории алмазов кимберлитов Мигова (кратон Зимбабве) по зональному повышению концентраций азота и его скоплений, водорода и степени ростовой деградации граней от ядра к краям зерен алмазов (*S.Kohn et al.*). Выявленные максимумы концентраций водорода в переходных зонах от ядер к краям зерен объясняются первичным ростом перидотитовых алмазов 3,2 млрд. лет назад ( $1160^\circ\text{C}$ ), увеличением мощности литосферы в результате субдукции, охлаждением и падением ее температуры 2,9 млрд. лет назад, ведущим к повторному росту алмазов 1,9 млрд. лет назад ( $1120^\circ\text{C}$ ), возможно, вызванному мобилизацией флюидов при внедрении Бушвельдского комплекса.

В одном из докладов делается попытка практического распознавания в районах Западного Средиземноморья (Восточные Альпы, Италия; о. Корсика, Франция; Мурсия и Альмерия, Испания) пород лампроитового семейства по результатам кристаллохимического изучения состава и свойств их флогопитов с высокими и изменчивыми количествами Ti, Ba, F. Отмечается вхождение в структуру флогопита Ti и F в результате анионных замещений  $\text{OH}^-$  на  $\text{F}^-$  и  $(\text{VI})\text{M}^{2+} + 2(\text{OH})^-$  на  $(\text{VI})\text{Ti}^{4+} + 2\text{O}^{2-}$  (*G.Lepore et al.*). Подход может быть полезен при поисках лампроитов, определении их происхождения и условий кристаллизации.

Расшифровка генезиса алмазов из нескольких кимберлитовых трубок (Удачная, Нюрбинская) Якутии проведена по результатам изучения внутренней структуры (зональности и перерывов роста) алмазов, диагностики включений силикатов (граната, Mg-хромита, оливина, клино- и ортопироксена) и сульфидов в них и ксенолитах с использованием электронного микроскопа с катодолюминес-

центной приставкой, микрозондового определения составов силикатов и сульфидов включений (JXA-8800R), определения РЗЭ во включениях ионным микрозондом CAMECA IMS-4F (*З.Снециус и др.*). Сульфиды — наиболее частые включения в алмазах из кимберлитов и ксенолитов эцлогитов. Температуры образования алмазов по минеральным парам (Fe-Mg обмен между гранатом и клинопироксеном или оливином) составили  $1000\text{--}1250^\circ\text{C}$ , давления — 40–60 кбар и соответствуют модельной геотерме. Различия состава элементов-примесей во включениях граната в алмазах из различных трубок обусловлены обогащением или обеднением краевых зон включений гранатов РЗЭ, Ce, Nb, Li в результате интенсивного метасоматического воздействия флюидов во время роста алмазов.

Данные по геохимии элементов-примесей включений в оливине и сосуществующих гранатах в алмазах из Akwatia (Гана) (*J.De Hoog, T.Stachel*) позволили отнести алмазы к лерцолитовому, гарцбургитовому парагенезисам, а в случае неизвестного парагенезиса определить его гарцбургитовый тип по субкальциевому типу гранатов и Ca/Al отношению ( $<2,5$ ), содержаниям Na ( $<60$  г/т) и Na/Al отношению ( $<0,7$ ) в оливине включений. Высокоточные оценки температур образования оливинов Akwatia по концентрациям Ca и Al при грубой корреляции с термометрией по главным элементам представляются невозможными из-за локальных нарушений равновесия между сосуществующими зернами оливина и гранатов во включениях в алмазе. Соотношения между концентрациями Ti в лерцолитовых и гарцбургитовых оливинах и гранатах показывают, что они происходят из одной мантийной области, где алмазы росли в сильно деплетированной Ti, Ca, Na обстановке с высокими значениями  $\text{St}\#$  в отличие от оливинов ксенолитов с более высокими и изменчивыми содержаниями Ti и более низкими  $\text{St}\#$ . Низкие содержания Na в лерцолитовых оливинах Akwatia (сходные с его содержаниями в сосуществующих клинопироксенах) по сравнению с оливинами ксенолитов указывают, что клинопироксен и оливин в мантийных ксенолитах модифицированы в результате метасоматоза, происшедшего после образования алмаза. Необычная картина высоких вариаций St и V в одиночных зернах оливина связывается с автоокислением из-за диффузионной потери водорода при подъеме магмы. Это свидетельствует о том, что древняя субконтинентальная мантия была не настолько бедна водой, как полагают в настоящее время.

Закономерности нарушения равновесия в ходе эволюции неизмененного зонального оливина макрокристов и фенокристов ассоциации пиропового

лерцолита из кимберлитов тр. Удачная и процесса кимберлитобразования в целом выявлены по составу и элементам-примесям Ti, Al, Cr, Ca, Mn, Ni, Zn включений оливина (Н.В.Соболев и др.). Характерные отличия изученных оливинов включений от всех оливинов перидотитов и алмазов и их сходство с оливинами дунитовых нодулей гренландских кимберлитов свидетельствуют об их принадлежности к высокобарической ассоциации пироповых лерцолитов, образовании и росте во время формирования и ранней эволюции кимберлитов.

Данные по минеральным включениям в гранатах верхнетриасовых алмазоносных туффигов (А.Биллер, Ф.Смелов) показали, что на северо-востоке Сибирской платформы в устье р. Лены в карнийском базальном горизонте мощностью 0,1–1 м верхнетриасовых вулканогенно-осадочных пород обнаружена уникальная ассоциация кристаллов алмаза (не выявленная в кимберлитовых трубках Якутии). В алмазах отмечаются наросты с легким изотопным составом углерода (V и VII разновидности по классификации Орлова), признаки механического истирания алмазов и гранатов отсутствуют, обильны включения. Гранаты альмандин-пиропового ряда оранжевого, красного и розово-пурпурного цветов. Включения (наиболее многочисленные в оранжевых гранатах эколитового парагенезиса и наименее многочисленные в красных; одиночные включения — в розово-пурпурных гранатах ультрамафического парагенезиса) представлены рутилом, апатитом, SiO<sub>2</sub>, ильменитом, шриланкитом, кианитом, мэйджоритом. Оксидные включения (рутил, ильменит) обычно ориентированы в структуре граната и относятся к продуктам распада. Полагают, что рутил и ильменит возникли в результате распада первичного сверхтитанистого высокобарического граната, аналогичного высококремнистым мэйджоритовым гранатам, устойчивым в условиях образования алмаза. Шриланкит, как правило, образует включения в рутиле и ильмените, обогащен Nb и Ta. В одиночных гранатах включения рутила и ильменита обогащены Zr (0,27–5,35 мас. % ZrO<sub>2</sub>). Сходные содержания ZrO<sub>2</sub> установлены в рутиле из полости в алмазе. Это может указывать на близкие условия кристаллизации гранатов и алмаза с легким изотопным составом углерода. Включения мэйджорита выявлены в полиминеральном включении с рутилом и шриланкитом. Для мэйджорита характерны высокие содержания TiO<sub>2</sub> (до 3,17 мас. %) и низкие — Na<sub>2</sub>O (0,04 мас. %). Включения мэйджоритового граната позволяют дать предварительную оценку *PT*-условий его кристаллизации. На основании отношения формульных единиц Si и Al+Cr в

мэйджорите он образовался при давлении 14–18 ГПа, т.е. на глубинах 410–500 км, соответствующей переходной зоне.

Гранулиты гранитного состава из Саксонии ассоциируют с телами гранатовых перидотитов и содержат микроалмазы и коэсит. Они образовались в результате глубинной субдукции континентального материала с последующей быстрой эксгумацией вдоль каналов поддвига с захватом мантийных пластин. Андерплейтинг, последующее куполообразование и другие тектонические процессы привели к формированию фельзитовой кислой коры. Подобные процессы происходят в настоящее время в Гималайско-Тибетском регионе (P.O'Brien).

Данные по U-Pb возрастам и Lu-Hf изотопии цирконов в ксенолитах из высокометаморфизованных гнейсов осадочного генезиса, кимберлитов и карбонатитов области кимберлитового поля Gibeon (Rehoboth, Намибия) (T.Luchs et al.) получены методом лазерной абляции ICPMS. Возрастные спектры дают 65, 1100 и 1900 млн. лет для ксенолитов, 2,4, 2,7 и 2,9 млрд. лет для кимберлитовой основной массы и отражают продолжительную историю аккреции, рециклинга и смешивания корового материала и мантийных источников, а также генерацию молодой коры в ходе Намакванской и Пан-африканской орогений.

О субдукционном меланже как источнике агрегированных включений ферропериклаза в алмазах Sao Luiz (Бразилия) (H.Seitz et al.) свидетельствуют высокие содержания Li, гетерогенная Li-изотопия и состав элементов-примесей (Mg#, Cr, Ni, Mn, Na) протолитов включений, подвергшихся дегидратации и восстановительным реакциям в ходе и после глубинной субдукции в переходную зону и верхние части нижней мантии. Силикатные включения в образовавшихся алмазах и ферропериклазе имеют изменчивый состав с преобладанием обогащенных Ca высокобарических разностей.

Ксенокристы и магматические проявления свежих оливинов двух типов были изучены в кимберлитах из дамбы Kenilworth (материал рудника Big Hole, Кимберли) и слюдистых кимберлитах (из рудника Roberts Victor, 50 км от Кимберли) с определением главных и примесных элементов, Li-изотопии фракций ксенокристов, мегакристов и фенокристов (M.Sieber et al.). Они также говорят о сложной истории их образования, растворения и повторной кристаллизации оливина в ходе подъема магм.

Современные достижения минералогии, связанные с использованием новейшей аппаратуры и методов, отражены в материалах секций по прикладной минералогии (4), физике минералов (5), передовым аналитическим методам (12). Значи-

тельное количество докладов (секции 7, 12) посвящено изучению изотопов W, Mo, Ru, U и других элементов в метеоритах и ксенолитах для более глубокого понимания условий формирования Солнечной системы, литосферы и астеносферы Земли (*L.Fernandez, D.Cook, M.Fesher-Godde*), применению изотопного анализа для расшифровки генезиса месторождений.

Сера является одним из основных летучих элементов в магматических системах, поэтому многие исследователи рассматривают ее как важный геохимический индикатор развития флюидно-магматических систем. Пример комплексного использования этого метода при изучении изотопов серы ( $^{32}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{36}\text{S}$ ,  $^{38}\text{S}$ ) и кислорода ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) приведен в работе *A.Montinaro et al.* Показано, что состав атмосферных и океанических вод значительно изменялся на разных стадиях развития Земли, что необходимо учитывать при генетических исследованиях. В работе использованы данные по изотопному составу серы и кислорода в минералах из древнейших пород Земли зеленокаменного пояса Barberton (ЮАР), коматитов и толеитов района р. Комати. Экспериментальным исследованиям фракционирования изотопов серы между жидкостью и расплавом при различных температурах посвящен доклад *A.Friege et al.*

Экспериментальное изучение фракционирования изотопов меди ( $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$ ) в системе  $\text{CuCl}-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  при  $T$  350, 400, 450°C и  $P$  от 140 до 400 бар (*K.Rempel et al.*) позволило расшифровать поведение элемента в рудообразующих флюидах. Показано, что в открытой системе движение пара из магматического источника приводит к охлаждению и конденсации капель жидкости с увеличенным содержанием тяжелого изотопа меди, а флюид, соответственно, будет обогащаться легким изотопом. Это означает, что гидротермальные растворы на меньших глубинах (в эпипермальных условиях) обеднены изотопом  $^{65}\text{Cu}$  по сравнению с их глубинными аналогами. Совершенствование методов изотопного анализа, в частности применение методов вторичной ионной масс-спектрометрии, обусловило растущий интерес к изучению изотопов  $^{33}\text{S}$  и  $^{36}\text{S}$ .

Широкое использование методов спектроскопии природных материалов — Total Reflection X-ray Fluorescence (TXRF), Mössbauer Spectroscopy, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) в сочетании с SEM, IR-Fourier Spectroscopy (FTIR) — позволяет получить новые оригинальные данные. Так, анализируя вытяжки из руд гидротермальных месторождений Шварцвальда методами ионной хроматографии (XRF) в сочетании с рентгеновской спектроскопией (TXRF), *S.Landenburger* установил

химический состав рудообразующих флюидов верхней коры, различающихся по степени солёности. Использование FTIR дает возможность изучить процессы диффузии воды и  $\text{CO}_2$  в силикатных расплавах (*H.Marxer*), а также распознать минералы-индикаторы кимберлитов (*Г.Хачатрян и др.*).

Закономерности распределения REE наиболее полно приведены по данным плазменной спектроскопии (*L.Bayarjargal, Л.Николаева, С.Яблокова*). Применение данных электронной микроскопии позволяет решать разнообразные задачи в разных областях минералогии. Например, в результате изучения Pt-As системы с использованием HRTEM выяснено, что до образования устойчивых термодинамических фаз многие редкие соединения магматических систем могли формироваться на уровне кластеров (*H.Helmy*).

Диагностика дефектов роста и растворения кристаллов приводится по данным Atomic Force Microscopy (AFM) (*Н.Пискунова*).

Рассмотренные прикладные аспекты минералогических исследований отражают современное состояние минералогии как важной области геологических знаний. Она способна решать широкий круг геологических проблем, но, к сожалению, пока ей как области прикладных интересов уделяется недостаточное внимание.

В заключение отметим следующее:

конференция была проведена на современном научном, методическом и организационном уровнях. Произошел полезный обмен новой информацией в области минералогии природных процессов, полезных ископаемых и использования современной высокочувствительной аналитической аппаратуры для минералогических исследований;

важный аспект конференции — углубленное внимание к разработке планетарных вопросов формирования и развития Земли для расшифровки процессов рудогенеза;

тенденция к углубленному минералогическому и геохимическому изучению вещественного состава минерального сырья и продуктов его переработки диктуется необходимостью более полного комплексного его использования;

доклады российских исследователей выделялись на общеевропейском фоне прогнозно-поисково-оценочной направленностью, наличием моделей оруденения, а также материалов по вещественному составу минерального сырья для разработки эффективных способов извлечения полезных компонентов;

на конференции продемонстрирована высокая практическая результативность использования современной аналитической аппаратуры для реше-



ния задач более полного комплексного изучения и использования минерального сырья;

участие в конференции большого числа молодых специалистов и студентов из европейских стран со зрелыми, хорошо подготовленными докладами свидетельствует о высоком уровне подготовки кадров;

характерно недостаточное внимание европейских минералогов к наиболее актуальным вопросам освоения новых комплексных видов сырья твердых полезных ископаемых в черносланцевых

толщах осадочных бассейнов, широко развитых на территории континента и на Земном шаре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *EMC2012* European Mineralogical Conference, 2–6 September Frankfurt/Main, Germany. – <http://emc2012.uni-frankfurt.de/>
2. *European Mineralogical Conference 2012*. – Кафедра кристаллографии СПбГУ.mht
3. *Murphy K., Treloar P., Nieto J.M.* European Mineralogical Conference 2012. Meeting Report // *Elements*, Dec. 2012.