

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ VIII.67. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ, МАГМАТИЧЕСКИХ, МЕТАМОРФИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ

Программа VIII.67.1. Минералообразующие и флюидные системы в литосфере и их эволюция в истории Земли (координаторы акад. Н. В. Соболев, докт. геол.-мин. наук А. А. Томиленко)

Учеными Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева проведены экспериментальные исследования по синтезу углеводородов из графита и карбонатов в присутствии воды и металлического железа (рис. 5, слева). Показано, что при *P-T*-параметрах верхней мантии возможен синтез не только углеводородов, соответствующих по составу природному газу, но и углеводородов с высоким молекулярным весом вплоть до гексадекана (C₁₆H₃₄). Полученные данные по флюидным включениям в природных алмазах и минералах мантийных ксенолитов свидетельствуют о том, что в мантии Земли возможно образование смеси углеводородов, близкой по составу основным компонентам природной нефти. По данным хромато-масс-спектрометрического анализа в составе флюидных включений в природных алмазах из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная, Якутия, помимо воды, углекислоты и азота, были установлены (рис. 5, справа): алифатические углево-

дороды (от метана CH₄ до гексадекана C₁₆H₃₄); циклические углеводороды (арены); кислородсодержащие углеводороды (альдегиды, спирты, кетоны) и серосодержащие соединения (SO₂, CS₂, C₂H₆S и C₄H₈OS). Основными компонентами в составе алифатических углеводородов являются соединения ряда пентан (C₅H₁₂)–пентадекан (C₁₅H₃₂), количество которых составляет около 98 %, а доля метана, этана, пропана и бутана в них не более 1 %.

В этом же Институте получены первые данные по минеральному составу Челябинского метеорита. Установлено, что данный крупный метеорит относится к редкому классу обыкновенных хондритов – LL5 (S4-S5, W0). Можно выделить следующие ассоциации по минеральному составу и генезису:

1) крупнозернистый агрегат и хондры (рис. 6, сверху) – первичные ассоциации, которые сформировались в родительском теле (вероятно, астероид 2011 EO40), и содержат оли-

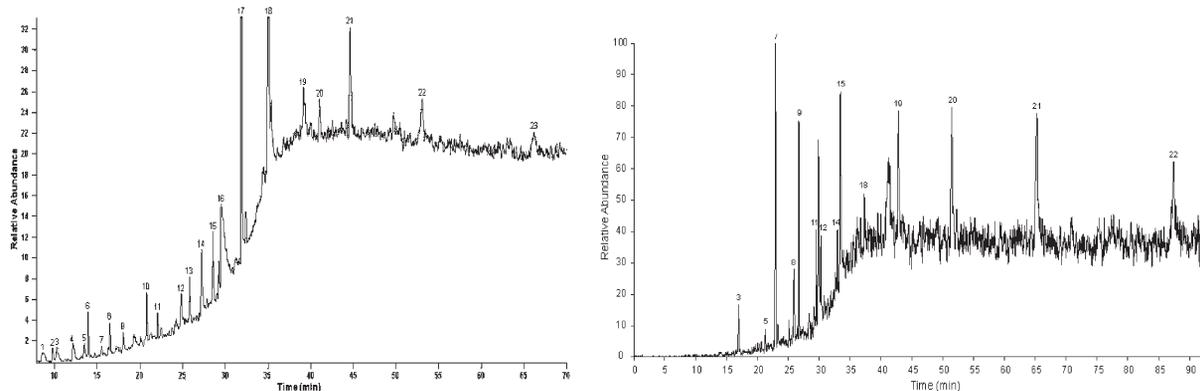


Рис. 5. Фрагменты хроматограмм летучих компонентов, выделившихся:

Слева – при вскрытии Pt-ампулы с продуктами опыта в системе карбонат (MgCO₃) + H₂O + Fe_{мет} (*P* = 3,0 ГПа, *T* = 1400 °C – закалка). 1 – бутан (C₄H₁₀); 2 – изобутан (C₄H₁₀); 3 – пентан (C₅H₁₂); 4 – бутанал (C₄H₈O); 5 – пентан, 3-метил (C₆H₁₄); 6 – гексан (C₆H₁₄); 7 – 2-гексанон (C₆H₁₂O); 8 – пентанал (C₅H₁₀O); 9 – гептан (C₇H₁₆); 10 – гексанал (C₆H₁₂O); 11 – октан (C₈H₁₈); 12 – гептанал (C₇H₁₄O); 13 – нонан (C₉H₂₀); 14 – не идентифицирован; 15 – октанал (C₈H₁₆O); 16 – 1-гексанола, 2-этил (C₈H₁₈O); 17 – нонанал (C₉H₁₈O); 18 – деканал (C₁₀H₂₀O); 19 – додекан (C₁₂H₂₆); 21 – тетрадекан (C₁₄H₃₀); 22 – пентадекан (C₁₅H₃₂); 23 – гексадекан (C₁₆H₃₄). Справа – из флюидных включений в природном алмазе из ксенолита эклогита из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная, Якутия. 3 – пентанал (C₅H₁₀O); 5 – 2-гексанон (C₆H₁₂O); 7 – октан (C₈H₁₈); 8 – гептанал (C₇H₁₄O); 9 – нонан (C₉H₂₀); 11 – октанал (C₈H₁₆O); 12 – ундекан (C₁₁H₂₄); 14 – нонанал (C₉H₁₈O); 18 – 1-деканол (C₁₀H₂₂O); 19 – тридекан (C₁₃H₂₈); 20 – тетрадекан (C₁₄H₃₀); 21 – пентадекан (C₁₅H₃₂); 22 – гексадекан (C₁₆H₃₄).

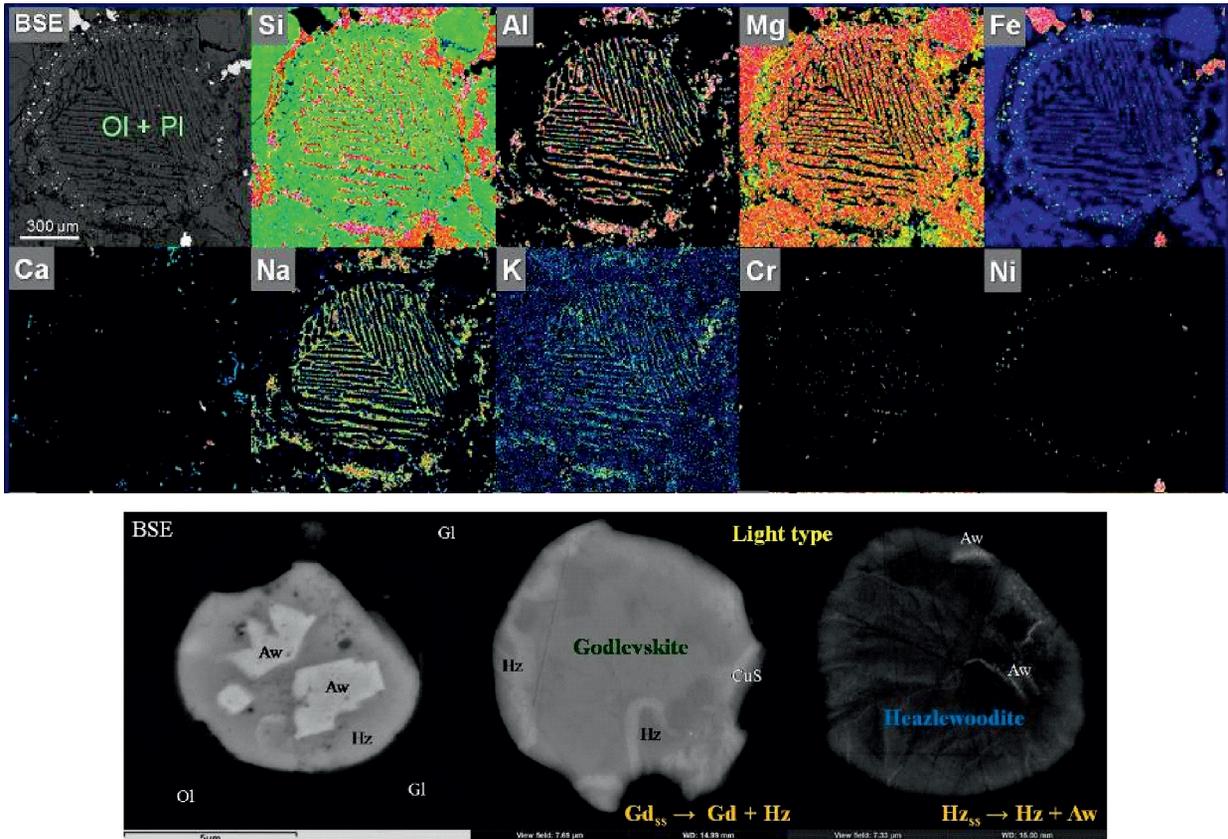


Рис. 6. Микрофотографии минеральных фаз Челябинского метеорита.

Сверху – хондра с «колосниковой» структурой (оливин + альбит) в светлом типе метеорита Челябинск (BSE-фотография и элементные карты). Снизу – металл-сульфидные глобулы (хизлевудит, голдлевскит, аварунит) в коре оплавления метеорита Челябинск (BSE-фотографии).

вин, ортопироксен, альбит, хромит, ильменит, троилит и металл (камасит+тэнит), в незначительных количествах встречаются хлорапатит, меррилит, полевошпатовое стекло, пентландит, медь, аморфный углерод и полиморф SiO_2 ;

2) мелкозернистый агрегат – парагенезисы, которые появились в результате преобразования первичных ассоциаций за счет процессов плавления, инициированных столкновением с другим космическим телом либо прохождением исходного тела вблизи Солнца (маловероятно), содержит как новообразованные фазы (оливин, Na-плагиоклаз – полевошпатовое стекло, хромит, клинопироксен, ортопироксен, металл-

сульфидные глобулы, реже фосфаты), так и реликты крупных ранних зерен ортопироксена, оливина, хромита и ильменита;

3) кора оплавления – ассоциации, которые возникли за счет полного плавления всего вещества метеорита в атмосфере Земли. Состав металл-сульфидной ассоциации (рис. 6, снизу) изменяется в сторону никелевых составов, появляются магнетит, фаялит и стекло ультраосновного состава;

4) вторичные водо- и хлорсодержащие минералы – продукты замещения более ранних ассоциаций, начинавшие появляться сразу же после падения метеорита.

Программа VIII.67.2. Минералого-геохимические особенности и геодинамическая обусловленность разных типов метаморфизма горных пород (координатор акад. В. В. Ревердатто)

Учеными Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева на основе реконструкций P - T -эволюции гнейсов Енисейского кряжа с *in situ* датированием включений U-Th-содержащих фаз в зональных минералах выде-

лены три этапа метаморфизма, различающиеся возрастными, термодинамическими режимами и величинами метаморфических градиентов (рис. 7). На первом этапе (1050–850 млн лет) в связи с гренвилльской орогенцией сформирова-

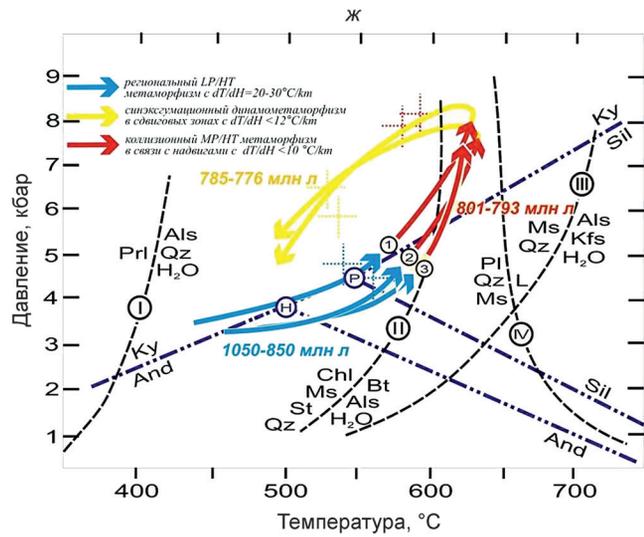
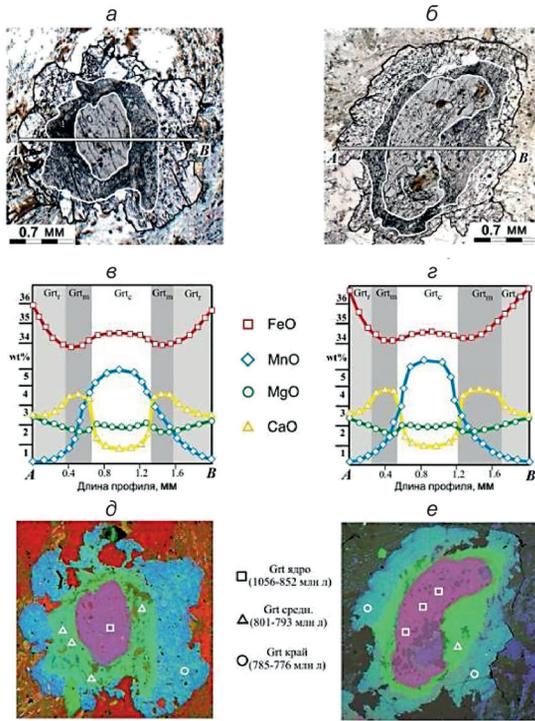


Рис. 7. Микрофотографии зерен граната из гнейсов Приенисейской региональной сдвиговой зоны (а, б), концентрационные профили (в, з) и элементное картирование зональных гранатов с местами точек датирования включений монацитов и ксенотимов и соответствующими возрастами (д, е). Обобщенные *P–T–t*-тренды эволюции метаморфизма с движением «против часовой стрелки» для гнейсов ПРСЗ (ж).

лись зональные метаморфические комплексы низких давлений. На втором этапе эти породы подверглись позднерифейскому (801–793 млн лет) коллизионному метаморфизму умеренных давлений. Третий этап сопровождался синэксгумационным динамометаморфизмом (785–776 млн лет), отражающим тектонические обстановки быстрого подъема блоков пород в

верхние структурные этажи континентальной коры. История развития региона коррелируется с синхронной последовательностью и стилем тектонотермальных событий на арктической периферии Родинии, что подтверждает территориальную близость Сибири и кратонов северной Атлантики на рубеже около 800 млн лет по современным палеомагнитным реконструкциям.

Программа VIII.67.3. Экспериментальная минералогия, рост и свойства кристаллов (координаторы докт. физ.-мат. наук А. И. Непомнящих, докт. геол.-мин. наук Ю. Н. Пальянов)

Учеными Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева экспериментально исследованы изменения концентрации воды в оливине в зависимости от степени карбонатизации равновесных расплавов. Показано, что при увеличении мольного соотношения $CO_2/(CO_2+SiO_2)$ в расплавах от 0 до 0,4–0,8 коэффициент распределения воды между оливином и расплавом снижается в 2–5 раз (рис. 8). Экспериментально обосновано, что в условиях субкратонной литосферы карбонатитовые расплавы могут эффективно экстрагировать воду из номинально безводных минералов перидотитов и благодаря этому трансформироваться в кимберлитовые магмы.

В этом же Институте в ростовых экспериментах применен оригинальный научный подход, заключающийся в изменении симметрии и вращении теплового поля. Такой подход реализуется путем неоднородного подвода тепла к стенкам тигля от нескольких нагревательных элементов, расположенных вокруг ростового тигля. Система управления ростовой установкой позволяет контролировать температуру в зоне роста кристалла и вести процесс в автоматическом режиме на основе сигнала датчика веса при контролируемом изменении характеристик теплового поля. Первые результаты выращивания кристаллов парателлурида в неоднородном тепловом поле показали оригинальность и пер-

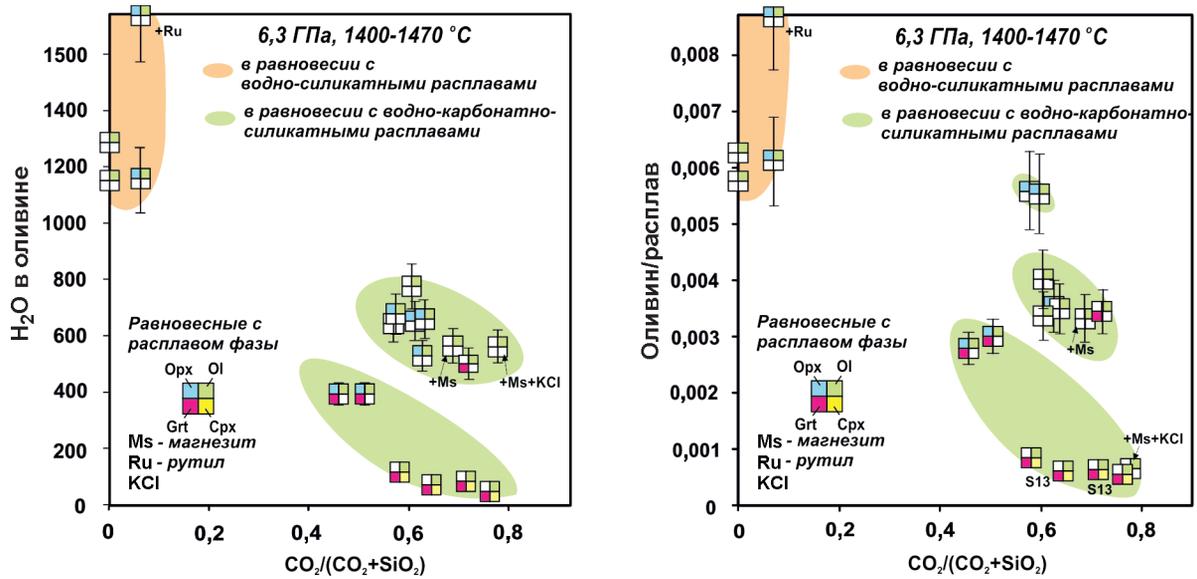


Рис. 8. Содержание воды в оливине (слева) и коэффициент распределения воды между оливином и расплавом (справа) как функция мольного соотношения $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{SiO}_2)$ в равновесном расплаве.

спективность предложенной идеи – были получены кристаллы парателлуриата весом до 1,8 кг, свободные от включений практически во всем объеме (рис. 9).

В этом же Институте создана технология выращивания легированных нелинейных кристаллов GaSe рекордно высокого оптического качества (рис. 10), позволяющая управлять физическими свойствами на стадии технологических процессов выращивания. Впервые показана возможность увеличения показателя преломления для волн обыкновенной поляризации n_o и двулучепреломления в нелинейных кристаллах в терагерцевом (ТГц) диапазоне



Рис. 9. Кристалл парателлуриата.

спектра путем управления спектрального положения области аномальной дисперсии плазмон. Контроль ее положения путем легирования алюминием позволил увеличить n_o кристаллов GaSe с 3,25 до 3,45, а В с 0,8 до 1,0 в спектральной области 0,3–2,5 ТГц. Путем дополнительного легирования кислородом значение двулучепреломления увеличено до неординарной величины 1,2 для поляризационной оптики ТГц-диапазона. Установленный оптимальный уровень легирования позволил в 2–3 раза уменьшить уровень оптических потерь, в 4–5 раз увеличить лучевую стойкость и до 15 раз эффективность преобразования частот в кристаллах GaSe в пределах среднего ИК-диапазона и в полтора раза в терагерцевом диапазоне, с достижением третьего результата по выходным энергетическим параметрам.

Учеными Института геохимии им. А. П. Виноградова методами атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии изучены поверхности кристаллов минеральной ассоциации пирит–пирротин–магнетит, синтезированной в термоградиентных гидротермальных условиях в присутствии ряда примесных элементов. Предложена модель, согласно которой существующие в поверхностных слоях растущих кристаллов нанопазы способны регулировать взаимоотношения кристалла и среды, избирательно взаимодействуя с переносимыми вещество комплексами и снижая вероятность их «неправильной» разгрузки. Поглощая несовместимые элементы, они действуют как филь-



Рис. 10. Внешний вид кристаллов, легированных серой: GaSe:S (0,15 мас.%) (а) и GaSe:S (11 мас.%) (б).

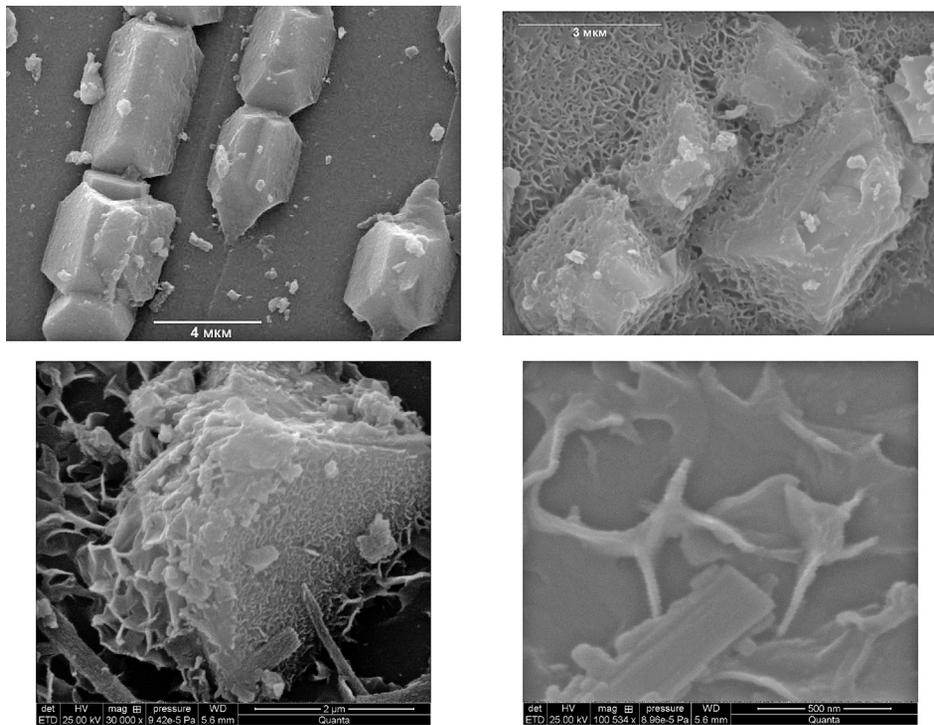


Рис. 11. Микровключения на поверхности грани {111} пирита. Микрочастицы пирамидальной формы образуются из наноразмерных прекурсоров. Состав близок к моносulfиду, $Me_{0,86}S$, но содержит много Cr (15 ат.%). СЭМ.

тры для примесей, отравляющих ростовую поверхность. Непрерывно переходя в объем кристалла, наночастицы сбрасывают эти элементы

на дефектные участки сопряжения с матрицей, где они образуют собственные фазы субмикронных и микронных размеров (рис. 11).