

РАСПЛАВЫ И ФЛЮИДЫ В ПРОЦЕССАХ ПРИРОДНОГО
МИНЕРАЛО- И РУДООБРАЗОВАНИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФЛЮИДНЫХ И РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ

С.З. Смирнов^{1,2}, В.В. Шарыгин¹, Ч. Сабо³

¹ *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

² *Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия*

³ *Lithosphere fluid Research Lab, Department of Petrology and Geochemistry, Eötvös University, Pármány Péter sétány 1/C, H-1117 Budapest, Hungary*

Одним из важнейших вопросов современной минералогии, петрологии и рудогенеза является проблема определения условий и механизмов образования тех или иных минеральных парагенезисов. В науках о Земле существует несколько подходов для решения этой задачи. К ним относятся, в частности, термобарометрия по минеральным парагенезисам, термодинамическое моделирование процессов минералообразования и большое количество экспериментальных методов исследования. Однако наиболее надежным источником сведений об условиях протекания тех или иных процессов образования минералов, горных пород и руд может являться только среда, в которой они образовались. Во второй половине XIX в. английский ученый Г. Сорби, которого по праву именуют «отцом микроскопической петрографии» и «отцом исследования флюидных включений» [Реддер, 1987], предложил рассматривать микровключения жидкостей и газов в кристаллах минералов в качестве микропорций сред минералообразования. Во второй половине XX в. исследование включений в минералах стало ключевой частью всех работ, посвященных изучению процессов природного петрогенеза и рудогенеза.

Исторически сложилось так, что включения минералообразующих сред представляют наибольший интерес именно как источники информации о термодинамических параметрах геологических процессов [Ермаков, 1950; Ермаков, Долгов, 1979; Реддер, 1987]. В то же время они являются одним из важнейших типов дефектов в кристаллах минералов. В этом смысле они сами становятся объектами изучения. Важно обратить внимание на то, что информация, получаемая учеными о включениях и из включений, тесно взаимосвязана. В связи с этим исследование включений минералообразующих сред делится на два параллельных направления. Одно связано с получением информации о включениях, которая позволяет разрабатывать новые методы определения температур, давлений, концентраций растворенных солей, рассеянных элементов и изотопного состава вещества включений. С другой стороны, основываясь на знаниях о поведении включений после их захвата минералом-хозяином, а также при изменении температуры и давления, становится возможным реконструировать параметры геологических процессов, приводящих к образованию определенных геологических формаций и рудных месторождений. Такого рода исследования представляют второе направление изучения включений.

Результаты изучения в области наук о Земле с использованием включений минералообразующих сред в минералах были представлены на III Азиатской конференции по современным исследованиям флюидных включений (III Asian Current Research on Fluid Inclusions (ACROFI III)), проводимой под эгидой Международной минералогической ассоциации, и на XIV конференции по термобарогеохимии включений (TBG XIV). Обе конференции проводились совместно в Новосибирске 15—21 сентября 2010 г. В них приняли участие представители 13 стран: России, Китая, Индии, Японии, Ирана, Австралии, Австрии, Швейцарии, Венгрии, Словакии, Португалии, Германии, США. Все доклады по темам были разделены по 9 секциям. В данном специальном выпуске журнала «Геология и геофизика» предлагаются 16 отобранных статей, представленных на конференции в виде устных или стендовых докладов. В статьях использованы материалы, касающиеся как экспериментальных исследований по включениям, так и основанные на изучении природных объектов.

Включение среды, из которой растет кристалл в процессе эксперимента, является таким же уникальным источником информации о процессе, как и включение в природном минерале. Именно изучение поведения при нагревании включений в кварце, выращенном при 700°C и различном давлении в гидротермальной системе NaF—H₂O, позволило установить характер изменения фазового состава этой системы при различных параметрах [Котельникова, Котельников, 2011].

Очень большое значение имеет изучение условий минералообразования в наиболее глубинных зонах земной литосферы. Современные знания о геологических процессах в низах земной коры и верхней мантии основываются на исследовании мантийных ксенолитов в базальтах и включений в алмазе. Исследование включений минералообразующих сред в алмазе позволило установить особенности химического состава мантийного вещества, участвующего в алмазообразовании [Зедгенизов и др., 2011; Логвинова и др., 2011]. Нижние горизонты земной коры в условиях метаморфизма амфиболитовой и гранулитовой фаций являются источниками коровых магм кислого состава. И.А. Мадюков с соавторами [2011] в своей работе рассматривают *PT*-параметры образования и составы расплавов, захваченных скаполитом из гранулитовых ксенолитов в щелочных базальтах Восточного Памира.

Изучение включений закристаллизованных и застеклованных расплавов лежит в основе исследования процессов магматического минералообразования. Этим процессам была посвящена одна из самых оживленных сессий конференции. Составам кислых магм, участвовавших в образовании магматических комплексов трех рудных узлов Северного Кавказа и Забайкалья, посвящена статья В.Б. Наумова [2011]. В ней особый упор делается на содержание летучих компонентов в магмах. Летучие в магмах представляют особый интерес для современной науки. С одной стороны, отделяясь от магм в составе флюидной фазы, они являются транспортерами рудного вещества к местам образования рудных месторождений, с другой, — попадая в составе вулканических газов в атмосферу, оказывают существенное влияние на изменения климата. Особенности состава и поведения летучих компонентов в магмах Ключевского вулкана на Камчатке рассматриваются Н.Л. Мироновым, М.В. Портнягиным [2011]. Поведение флюидной фазы при эволюции редкометалльно-гранитного очага Восточно-Калгутинского дайкового пояса в контексте образования сложной и длительно функционирующей рудно-магматической системы является одной из составляющих комплексного исследования завершающих этапов ее магматической активности, представленного в статье [Соколова и др., 2011].

В настоящее время большое внимание уделяется процессам несмесимости (ликвации), которая также является одним из механизмов фракционирования летучих компонентов в магматических процессах. Совместное использование данных по составам расплавных включений и изотопии Rb и Sr позволило выявить новые признаки проявления силикатно-фторидной ликвации в онгонитовых магмах Ары-Булакского массива (Восточное Забайкалье) [Перетяжко и др., 2011].

В статье В.В. Шарыгина с соавторами [2011] рассмотрены включения, точнее их дочерние фазы, которые сами становятся объектом исследования. Работа посвящена особенностям дочернего ренита $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_6[(\text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{20}]$, являющегося типичным для раскристаллизованных расплавных включений в оливине из щелочных базальтов разных регионов.

Исследованию процессов рудообразования с использованием флюидных и расплавных включений была посвящена одна из секций конференции. Здесь ключевыми вопросами являются определение *PT*-параметров процессов и химизма сред рудообразования. Знание температур и давлений, при которых происходит образование рудных и жильных минералов, необходимо для реконструкции условий транспорта и отложения рудных элементов. Физико-химические параметры гидротермальных систем «черных курильщиков», связанных с мантийными гипербазитами Центральной Атлантики, рассматриваются Н.С. Бортниковым с соавторами [2011]. Статья С. Бхаттачарая, М.К. Паниграи [2011] посвящена проблеме источника флюидов, участвующих в формировании гидротермальных жил золотопромышленного района, приуроченного к зеленокаменному поясу Рамагири-Пенакачерла (Индия). Физико-химическим условиям формирования золоторудной и золото-серебряной минерализации месторождений Енисейского кряжа и Чукотки посвящены работы [Гибшер и др., 2011; Волков, Прокофьев, 2011]. Детальный анализ *PT*-условий, источника и состава флюидов при образовании Cu и U гидротермальных проявлений прослоя Мерфи (Северная Австралия) приведен в статье [Мерна, Выгралак, 2011].

Об особенностях механизма процесса, составов и источников минералообразующих флюидов можно судить, используя данные о составах флюидных включений и о соотношении стабильных изотопов кислорода и углерода. На основании этих данных В. Хурай с соавторами [2011] провели реконструкцию условий образования магнезитовых залежей Западных Карпат (Словакия).

Газообразные и жидкие углеводороды являются важнейшей составляющей минералообразующих сред осадочных бассейнов. Их обнаружение и изучение дает возможность определения путей и условий миграции углеводородов в нефтематеринских толщах. Исследованию таких включений, а также процессов их миграции в бассейне Ордос (Северный Китай) посвящена статья [Ли и др., 2011].

Включения минералообразующих сред установлены в минералах практически всех известных на Земле обстановок минерало- и рудообразования. Развитие методов микроанализа, разработка новых методов исследования включений и интерпретации полученных результатов расширяют круг задач, решаемых геологами с помощью включений, и углубляют понимание процессов, протекающих как глубоко в недрах Земли, так и вблизи ее поверхности. Эта тенденция сохранится и в будущем, а прогресс исследо-

ваний будет очевиден из материалов конференции ACROFI IV (г. Брисбен, Австралия, 10—12 августа 2012 г.) и TBG XV (г. Москва, 2012 г.).

ЛИТЕРАТУРА

Бортников Н.С., Симонов В.А., Амплиева Е.Е., Ставрова О.О., Фуке И. Физико-химические условия гидротермальных рудообразующих систем «черных курильщиков», ассоциирующих с мантийными гипербазитами в Центральной Атлантике // Геология и геофизика, 2011, т. 52, (11), с. 1790—1801.

Бхатгачарайя С., Паниграи М.К. Гетерогенность флюидных характеристик в районе Рамагири-Пенакачерла восточной части кратона Дарвар: связь с золоторудной минерализацией // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1821—1834.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю. Условия формирования и состав рудообразующих флюидов золото-серебряного месторождения Промежуточное (Центральная Чукотка, Россия) // Геология и геофизика, 2011, т. 52, (11), с. 1835—1850.

Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Рябуха М.А., Тимкина А.Л. Золоторудное месторождение Герфед: характеристика флюидов и *PT*-условия образования кварцевых жил (Енисейский край, Россия) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1851—1867.

Ермаков Н.П. Исследования минералообразующих растворов. Харьков, Изд-во Харьков. ун-та, 1950, 460 с.

Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. М., Недра, 1979, 272 с.

Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Араху Д., Гриффин В.Л. Карбонатные и силикатные среды кристаллизации волокнистых алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1649—1664.

Котельникова З.А., Котельников А.Р. Фазовое состояние NaF-содержащего флюида при 700 °C и $P = 1, 2$ и 3 кбар по данным изучения синтетических флюидных включений в кварце // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1665—1676.

Ли Ронси, Гузмич Тибор, Лю Сяоцзе, Се Гуанчэн. Миграция несмешивающихся углеводородов, зафиксированная во флюидных включениях в кальците: бассейн Ордос (Северный Китай) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1891—1906.

Логвинова А.М., Вирт Р., Томиленко А.А., Афанасьев В.П., Соболев Н.В. Особенности фазового состава наноразмерных кристаллофлюидных включений в аллювиальных алмазах северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1634—1648.

Мадюков И.А., Чупин В.П., Кузьмин Д.В. Генезис скаполита из гранулитов (нижнекоровые ксенолиты из диатерм Памира): результаты изучения расплавных включений // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1677—1694.

Мерна Т.П., Выгралак Э.С. Исследование флюидных включений урановых и медных минеральных систем в прослое Мерфи (Северная Австралия) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1802—1820.

Миронов Н.Л., Портнягин М.В. Содержания H_2O , CO_2 , в исходных магмах Ключевского вулкана по данным изучения расплавных и флюидных включений в оливине // Геология и геофизика, 2011, т. 52, (11), с. 1718—1735.

Наумов В.Б. Химический состав, летучие компоненты и элементы-примеси риолитовых расплавов Восточного Забайкалья и Северного Кавказа по данным изучения включений в минералах // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1736—1747.

Перетяжко И.С., Савина Е.А., Дриль С.И., Герасимов Н.С. Rb-Sr изотопная система и особенности распределения Rb и Sr в породах массива онгонитов Ары-Булак, образованных при участии процессов фторидно-силикатной магматической несмесимости // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1776—1789.

Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М., Мир, 1987, Т.1, 360 с.; Т. 2, 632 с.

Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Астрелина Е.И., Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Котлер П.Д. Состав, флюидный режим и генезис онгонит-эльвановых магм Калгутинской рудно-магматической системы (Горный Алтай) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1748—1775.

Хурай В., Хураева М., Кодера П., Прочаска В., Возарова А., Дианишка И. Связь флюидных включений и геохимии стабильных изотопов (С и О) с генезисом метасоматических магнетитовых месторождений Западных Карпат, Словакия // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1868—1890.

Шарыгин В.В., Котай К., Сабо Ч., Тимина Т.Ю., Тёрёк К., Вапник Е., Кузьмин Д.В. Рёнит в щелочных базальтах: включения расплава в фенокристах оливина // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1695—1717.

*Поступила в редакцию
23 августа 2011 г.*