

зонах, в «гидротермальных отстойниках», жеодах, в газовых системах и т.д. Для каждого типа систем есть свои онтогенетические особенности.

Важно среди множества соприкасающихся минеральных тел по строгим правилам выделить систему, которую мы хотим познать, и далее не «вырывать» элементы системы и не рассматривать их отдельно от системы, поскольку они уже не обладают эмерджентными свойствами ее. Так, например, если хотим по циркону говорить об изотопной модели возраста избранной системы (минерального тела), то нельзя цирконовые индивиды изучать отдельно от системы (предварительно раздробив минеральный агрегат). Онтогенез циркона необходимо вписать в онтогенез системы, а далее соотношения изотопов должны быть «расписаны» в анатомии кристаллов циркона. В настоящее время нет ни одной работы в геологической литературе, где изотопный возраст цирконов получен по онтогенетической методике.

#### Литература

*Бартон П. Б., Скиннер Б. Дж.* Устойчивость сульфидных минералов // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1970. С. 211–285.

*Григорьев Д. П., Жабин А. Г.* Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука, 1975. 339 с.

***В. В. Масленников, С. П. Масленникова, М. Б. Хадисов***  
*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс  
mas@mineralogy.ru*

#### **Сравнительный анализ ассоциаций акцессорных минералов в гидротермальных сульфидных отложениях и продуктах их субмаринного гипергенеза**

В последнее десятилетие исследования лаборатории минералогии рудогенеза Института минералогии УрО РАН направлены на решение фундаментальной проблемы геологии, связанной с созданием концепций взаимодействия гидротермальных отложений с гидросферой. На основе сравнительного анализа состава гидротермальных отложений и продуктов их придонного преобразования предусматривается определить роль и место субмаринного гипергенеза (гальмиролиза) в теории гидротермально-осадочного колчеданообразования, оценить его влияние на минералогическое разнообразие колчеданных месторождений. Одно из направлений решения этой проблемы включает сравнение ассоциаций акцессорных минералов в гидротермальных отложениях и продуктах их субмаринного гипергенного преобразования. Главную информацию по этому вопросу дают материалы по минералогии колчеданных месторождений Урала, представленные в работах Г. Н. Пшеничного, Т. Н. Шадлун, П. Я. Яроша, М. И. Исмагилова, Н. П. Еремина, А. Г. Жабина, В. В. Зайкова, С. В. Колотова, В. П. Молошага, В. В. Мурзина, Е. В. Белогуб, К. А. Новоселова, И. В. Викентьева, И. Ю. Мелекесцевой и др.

В большинстве работ основное внимание уделялось минералогии продуктов гидротермального отложения или метаморфического и гидротермально-метасомати-

ческого преобразования колчеданных руд. Вместе с тем, субмаринный характер преобразований доказывается литологическими признаками, в том числе минералогической зональностью сульфидных циклитов, зависимостью степени преобразования от гранулометрии рудокластитов [Сафина, Масленников, 2008]. В последние годы появилось понимание важности изучения и сравнения минералогии донных гидротермальных и субмаринных гипергенных рудных фаций для выявления причин минералогического разнообразия колчеданных месторождений и построения наиболее полных моделей колчеданообразования [Масленников, 1999; 2006; Зайков, 1997; 2006; Зайков и др., 2001; Масленникова, Масленников, 2007; Сафина, Масленников, 2008].

Основные особенности гидротермального минералообразования при формировании колчеданных месторождений связаны с температурой, Eh, pH,  $fO_2$  и  $fS_2$ , соотношением  $(H_2S+HS^-+S^{2-})/(Fe+Cu+Zn+Pb)$  поступающих флюидов, которые во многом отражают степень их смешения с морской водой на глубине гидротермальной системы и зависят от состава породных пород, в различной степени буферизующих процессы окисления.

Иные аргументы приемлемы для объяснения минералогической специализации колчеданных руд, сформированных низкотемпературными субмаринными гипергенными растворами. К таким рудам относятся, прежде всего, сульфидные, баритовые и оксидные продукты субмаринного гипергенеза, сформировавшиеся, главным образом, по обломочным сульфидным отложениям и почти полностью утратившие облик исходных сульфидных осадков. Состав новообразованных главных минералов в сульфидных продуктах субмаринного гипергенеза колчеданных руд определялся литологическими факторами минералообразования, среди которых наиболее важными являются состав исходных рудокластов, размеры обломков, состав примесных нерудных осадков.

На месторождениях кипрского типа и типа бесси кислые условия субмаринного гипергенеза, обусловленные окислением исходного колломорфного пирита, вызывают кислотное выщелачивание халькопирита и новообразование эвгдрального пирита. На месторождениях типа куроко (баймакского, алтайского), напротив, преобладают сфалеритовые, халькопиритовые, галенитовые, борнитовые, теннантитовые или баритовые диагениты при подчиненном развитии или отсутствии пиритовых разновидностей. В последнем случае микроскопические исследования свидетельствуют о выщелачивании исходного пирита с замещением его халькопиритом, а халькопирита – борнитом, теннантитом и сфалеритом в ассоциации с галенитом и баритом, с появлением электрума и кюстелита. Предполагается, что субмаринный гипергенез сульфидных рудокластитов на месторождениях типа куроко происходил в субнейтральных и субщелочных условиях, поскольку гипергенные кислоты, связанные с окислением пирита, нейтрализовались сфалеритом – преобладающим минералом в рудокластах. Это способствовало формированию минералов, устойчивых в слабокислых и субщелочных условиях (халькопирит, борнит, дигенит, сфалерит, галенит). Предполагается, что донорами восстановленной серы служили исходные сульфиды и в первую очередь, растворяющийся в кислотах сфалерит. Сульфидные продукты субмаринного гипергенеза колчеданных месторождений уральского типа содержат все разновидности, характерные как для месторождений кипрского типа, так и для месторождений типа куроко. Однако, чаще всего в них преобладают гематит-пирит-халькопиритовые продукты субмаринного гипергенеза рудокластитов.

Представленные обобщающие результаты, базирующиеся на огромном фактическом материале многих исследователей, являются оригинальными в рамках разви-

тия глобального сравнительного минералогического анализа различных типов колчеданных месторождений и по-новому объясняют причины их разнообразия.

Установлено, что продукты субмаринного гипергенеза колчеданных руд характеризуются своеобразной акцессорной минерализацией, отличающейся от минерализации гидротермальных рудных фаций. На основе сравнения акцессорных минералов в трубах «черных курильщиков» и продуктах их придонного преобразования установлена эволюция состава акцессорных минералов от высокотемпературных минеральных ассоциаций, образованных в резко восстановительных условиях, к минеральным ассоциациям, сформированным в низкотемпературных и более окислительных условиях. На возрастание окислительных условий минералообразования указывает появление блеклых руд, магнетита, гематита и барита.

Имеются некоторые особенности эволюции минералообразования в различных рудно-формационных типах колчеданных месторождений. На месторождениях кипрского типа непреобразованные рудокластиты бедны акцессорными минералами. По мере возрастания степени гальмиролиза и растворения обломков колломорфного пирита и замещения его диагенетическим халькопиритом в них появляются новообразованные блеклые руды, галенит, иногда карролит и кобальтин (Летнее, Зимнее месторождения на Урале, Бесси в Японии, Аржа на Омане и др.). На месторождениях уральского типа в процессе субмаринного гипергенеза происходила смена теллуридно-сульфоарсенидной минерализации на золото-галенит-сульфосольную или, реже, золото-дигенит-борнит-сульфосольную (Молодежное, Яман-Касы, Учалы). На месторождениях баймакского типа исходные гидротермальные теллуриды так же, как и на месторождениях уральского типа, сменялись минералами золото-борнит-дигенит-сульфосольной ассоциации, иногда содержащими новообразованные гессит и кервеллит (Валенторское), реже – алтаит (Барсучий Лог) или арсенопирит (Джуса), развивающиеся по гальмиролитическим сульфидам и блеклым рудам, вероятно, в стадию позднего диагенеза–катагенеза. Аналогичные тенденции установлены на некоторых месторождениях алтайского типа (например, Артемьевском), когда в конце ряда от висмутовых сульфидов к галенит-блеклорудным ассоциациям вновь появлялись арсенопирит и самородное золото, замещающие теннантит. На месторождениях куроко типа халькопирит-висмутовая акцессорная минерализация сменяется борнит-блеклорудной с многочисленными сульфидами серебра и меди и самородным золотом. Однако, в жилах вновь встречается сульфидная серебро-висмутовая минерализация. На месторождениях, ассоциирующихся с черными сланцами (Сафьяновское), также наблюдаются признаки эволюции минералообразования от восстановительных условий к окислительным, несмотря на примесь органического вещества. Это выражается в замещении гессит-глаукоdot-халькопиритовой ассоциации энаргит-ковеллин-галенитовой с самородным золотом.

Как и для гидротермальных фаций, устанавливается нарастание роли халькофильных (Pb, Cu, Zn) и благородных (Au, Ag) металлов по сравнению с сидерофильными (Fe, Co, Ni) в ряду от серноколчеданных и медноколчеданных продуктов субмаринного гипергенеза сульфидных отложений к колчеданно-полиметаллическим. Однако для продуктов субмаринного гипергенеза по мере нарастания зрелости наиболее отчетливо проявлена смена дисульфидной, теллуридной и арсенидной минерализации сульфидной и сульфосольной с соответствующим уменьшением в минералах отношения восстановленных ионов серы, теллура и мышьяка к сумме металлов.

В целом, теллуриды нередко оказываются более устойчивыми в окислительных условиях по сравнению с многими сульфидами (пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит). Может быть несколько причин того, что они нередко исчезают быстрее сульфидов. Одна из них – это более низкие содержания теллуридов по сравнению с общим количеством сульфидов. Поэтому любые процессы растворения и нового образования приводят к визуальному уменьшению количества редких минералов по сравнению с главными. Другая причина исчезновения видимых теллуридов может быть связана не только с их субмаринным окислением, но и восстановлением металлов, которое сопровождается окислением сильных восстановителей, например, пирротина или троилита. В этом случае вместо теллуридов можно ожидать, например, появления самородного золота и висмута. Если рудный осадок сильно разбавлен фоновыми отложениями, влияние окисляющихся сульфидов на теллуриды может быть ограниченным, что способствует сохранению реликтов последних, например, в окисных металлоносных осадках.

«Нарушение» общей тенденции минералообразования, связанное с появлением поздних теллуридов и сульфоарсенидов, обычно объясняется наложением гидротермальных процессов или процессами позднего диагенеза, катагенеза или даже метаморфизма руд. Однако нами, в основном, изучались неметаморфизованные месторождения. Это, позволяет предполагать, что такие «нарушения» могут быть связаны с нарастанием восстановительных условий минералообразования как при поступлении новых порций гидротермальных растворов, так и в глубоких зонах субмаринного гипергенеза, обедненных кислородом. Одной из причин дополнительного субмаринного гипергенного формирования сульфидов, теллуридов, арсенидов, сульфоарсенидов и самородных элементов может быть примесь минералов, содержащих сильные восстановители такие, как  $Fe^{2+}$ . К таким минералам относятся железистые разновидности оливина и пироксена. В этих условиях возникают благоприятные восстановительные условия не только для формирования вторичных моносульфидов и дисульфидов железа, но и для других аксессуариев. Вероятно, примером этому могут служить сульфидно-арсенидные ассоциации Ишкининского кобальт-медноколчеданного месторождения, охарактеризованные в монографиях И. Ю. Мелекесцевой [2007] и В. В. Зайкова [2006]. В целом, намеченная проблема вторичного образования аксессуарных минералов в рудах колчеданных месторождений требует дальнейшего решения.

Авторы благодарят профессора д.г.-м.н. В. В. Зайкова и к.г.-м.н. Н. П. Сафину, без помощи которых многие проблемы минералогии субмаринного гипергенеза сульфидных отложений остались бы нерешенными. Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ (08-05-00731а).

#### Литература

*Зайков В. В.* Минералы золота и серебра в зонах субмаринного и континентального гипергенеза медно-колчеданных месторождений Южного Урала // Уральский минералогический сборник № 7. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. С. 33–53.

*Зайков В. В., Масленников В. В., Зайкова Е. В., Херрингтон Р.* Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.

*Зайков В. В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 2006. 429 с.

*Масленников В. В.* Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

*Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

*Масленникова С. П., Масленников В. В.* Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.

*Мелекесцева И. Ю.* Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М.: Наука, 2007. 245 с.

*Сафина Н. П., Масленников В. В.* Литолого-минералогическая зональность сульфидных циклитов Яман-Касинского и Сафьяновского колчеданных месторождений (Урал) // ДАН, 2008. Т. 419. № 6. С. 804–806.

*Сафина Н. П., Масленников В. В.* Последовательность минералообразования в кластогенных рудах Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // ЗРМО, 2008. Ч. СXXXVII. № 4. С. 89–103.

***О. С. Теленков, В. А. Котляров, Ю. М. Нерослов***  
*Институт минералогии УрО РАН*  
*telenkov@mineralogy.ru*

### **Информационное обеспечение проведения электронно-микроскопических исследований в центре коллективного пользования Института минералогии УрО РАН**

В рамках развития корпоративной информационной системы Института минералогии УрО РАН [Коржавин, 2001, 2003; Теленков, 2007] в 2008 году было разработано программное обеспечение для центра коллективного пользования (ЦКП) аналитическими методами исследования минерального вещества. Программное обеспечение, реализованное в составе web-сервера Института минералогии УрО РАН, предполагает его удаленное использование в сети интернет на основе распределенного доступа к функциональным возможностям и данным, как заказчиками, так и аналитическим персоналом ЦКП.

На стартовой странице сайта ЦКП (рис. 1) предлагается выбор метода аналитических исследований с приведением описания применяемого оборудования, параметров и условий проводимых исследований, способов подготовки проб и препаратов, информации о персональном составе аналитических лабораторий. Использование коммуникационных сервисов сайта, построенных по типу социальных сетей (web-почта, система обмена мгновенными сообщениями, IP-телефония, видеоконференция), позволяет организовать эффективное взаимодействие персонала ЦКП с заказчиками на всех стадиях проведения аналитических исследований. За основу такого взаимодействия принята система поэтапного документооборота, представляющего собой замкнутый цикл прохождения заказов на производство анализов – от первоначального формирования заказа, через передачу его в аналитическую лабораторию с последующим получением результатов исследований. Для всех видов анализов эта система является однотипной и различается лишь в части представления результатов, в соответствии со спецификой метода. Здесь мы рассмотрим работу системы на примере проведения электронно-микроскопических исследований с использованием электронного микроскопа РЭММА-202МВ с энергодисперсионной приставкой для качественного и количественного микроанализа элементного состава.