

Минералогия и геохимия диагенеза сульфидных турбидитов на колчеданных месторождениях островодужной системы Урала

Открытия в океанских рифтах подводных труб черных курильщиков и продуктов их подводного разрушения расширили и во многом изменили существующие представления о происхождении колчеданных месторождений. Оказалось, что лишь незначительная часть гидротермального вещества оседает вокруг источника в виде труб черных курильщиков, тогда как основной объем гидротермального сульфидного дыма рассеивается на огромных пространствах и окисляется, не участвуя в процессах рудоотложения [6]. Очевидно, незначительная часть сульфидных частичек оседает на склонах сульфидных холмов и участвует в процессах формирования колломорфных сульфидных корок и труб. Гидротермальные постройки разрушаются с формированием шлейфов рудокластических отложений.

В 70-е годы появились представления об образовании слоистых руд в результате придонного разрушения и переотложения придонных сульфидных тел [1–4, 7–8, 10]. Было показано, что большинство колчеданных залежей подвергалось процессам придонного разрушения. Продукты разрушения были подразделены на несколько субфаций: 1) рудный элювий; 2) рудный коллювий; 3) рудные флюксотурбидиты; 4) проксимальные рудные турбидиты или грейдиты; 5) ритмиты – переслаивание осадков и дистальных рудных турбидитов [8]. Кластогенные руды могут слагать полностью рудные залежи (Александринское, Балта-Тау) или располагаться на выклинивании сульфидных холмов в виде ритмично-слоистых горизонтов мощностью 0.5–5 м (Яман-Касы, Новый Сибай). Изучение строения рудных выклинок, с подразделением на сульфидные циклиты и ритмиты, позволило понять закономерности, отражающие обязательную историю роста и разрушения сульфидного холма Яман-Касинского медноколчеданного месторождения [8].

Мелкообломочные рудокластические слои сложены кристаллами, обломками агрегатов колломорфных образований и

кристаллов пирита, друзового и инкрустационного халькопирита и сфалерита, сегрегациями халькопирита, борнита, сфалерита, магнетита и гематита, замесившими пирит. В кровле слоев можно обнаружить примесь оруденелых радиолярий и ступки фрамбоидального пирита. Мелкие фрагменты пирита часто замещаются кварцем, поэтому цемент пиритовых песчаников базальный кварцевый. Степень замещения сульфидных фрагментов кварцем, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и гематитом увеличивается в кровле слоев. Обломочная природа сульфидных слоев подтверждается следующими фактами [2, 4, 7]: 1) срезанием зональности кристаллов и текстурным рисунком рудных обособлений; 2) совместным нахождением обломков различного состава, текстуры и структуры; 3) уменьшением размера обломков с удалением от холмообразной части рудной постройки в faciальном ряду: "рудные брекчии – рудные гравелиты с градационной слоистостью, характерной для проксимальных турбидитов – сульфидно-пелитолитовые ритмиты, типичные для отложений дистальных турбидитов; 4) присутствием обломков вулканитов, не замещенных сульфидами; 5) специфическими знаками нагрузки в подошве слоев, свойственными турбидитам. Часто наблюдается ритмичное переслаивание тонкообломочных кластогенных сульфидных прослоев с хлоритолитами, гиалокластогенными песчаниками, кремнистыми, гематит-кремнистыми породами и углеродистыми пелитолитами.

Нередко рудокластические ритмично-слоистые руды в значительной степени преобразованы и, поэтому на ряде месторождений типичные слоистые рудокластиты могут быть интерпретированы как гидротермально-хемогенно-осадочные, гидротермально-метасоматические или даже как полосчатые динамометаморфические типы. Такие полосчатые руды нередко обогащены цветными металлами, представленными халькопиритом, борнитом, теннантитом, галенитом и сфалеритом. Возможны два варианта Cu-Zn-Pb обогащения сульфидных турбидитов: 1) пострудный гидротермально-метасоматический и 2) диагенетический.

Наиболее распространены представления о первом способе обогащения колчеданных руд цветными металлами [5]. Предполагается, что отложение цветных металлов происходит при просачивании повторных порций гидротермальных растворов через слой сульфидного существенно пиритового осадка. Не отрицая теоретической возможности такого процесса, все же следует заметить, что в ряде случаев конкретной реализации этой модели противоречат следующие факты: 1) ритмично-слоистый характер Cu-Zn-Pb обогащения; 2) отсутствие признаков метасоматоза в не-

рудных осадках, преслаивающихся с сульфидами; 3) закономерная асимметричная зональность распределения металлов и соответствующих им минералов в ритмах: кровля слоев обогащена халькопиритом, галенитом или сфалеритом, подошва – реликтовым рудокластическим пиритом.

В ряде случаев, диагенетические преобразования рудокластических осадков являются интенсивными – они превращаются в прослой, сложенные кристаллами, конкрециями, фрамбоидами или сегрегациями сульфидов (пирита, халькопирита, сфалерита, галенита, теннантита, халькозина). Отличить их от гидротермально-метасоматических и гидротермально-осадочных и региональных осадочно-диагенетических прослоев порой бывает трудно. Иногда остаются лишь специфические знаки нагрузки (механоглифы) в подошве рудных слоев (верхняя граница сульфидов с осадками – постепенная). В том случае, когда рудокластиты полностью утратили облик кластогенного происхождения и приобрели минеральные ассоциации за счет диагенетических процессов, их целесообразно называть «диагенитами».

На стадии диагенеза рудокласты сажистого, колломорфного и фрамбоидального пирита, содержащие повышенные концентрации цветных металлов, превращались в кристаллически-зернистые агрегаты, и затем в эвгдральные кубические кристаллы с пойкилитами минералов цветных металлов (колчеданные месторождения Яман-Касы, Сибай, Александринское, Бакр-Тау, Таш-Тау и др.). В идеальном случае последовательность минералообразования при диагенезе рудокластитов представляется следующей: халькопирит-сфалерит-пиритовые рудокластиты первоначально замещались халькопиритом, затем сфалеритом, борнитом, теннантитом и галенитом. Процесс окислительного диагенеза (гальмиролиза) завершался формированием гидроокисидных фаз, которые в стадию позднего диагенеза и катагенеза превращались в гематит и магнетит.

Установлена зависимость между гранулометрическим и минеральным составами преобразованных рудокластитов: пиритом обогащены грубообломочные слои, халькопиритом среднеобломочные, сфалеритом и галенитом – тонкообломочные. Эта зависимость отражает более высокую зрелость диагенетических преобразований тонкообломочных рудокластических осадков по сравнению с крупнообломочными. Сульфидные пелитолиты быстрее замещались галенитом и сфалеритом по сравнению с грубообломочными рудокластитами. Это объясняет причины полиметаллической специализации тонкослоистых колчеданных залежей

(месторождения им. III Интернационала, Джусинское, Балта-Тау, Бабарык).

Для оценки влияния диагенеза на геохимическую дифференциацию микроэлементов проведен плазменный масспектрометрический лазерный микроанализ (LA-ICP-MS) гидротермальных кластогенных и диагенетических сульфидов (Яман-Касы, Александринское, Молодежное, Таш-Тау, Бакр-Тау, Сибай, Талганское, Маук, Зимнее, Балта-Тау, Сафьяновское). Некоторые микроэлементы отражают геохимическую специализацию руд месторождения в целом. Такими, например, оказываются пириты месторождения Маук, обогащенные кобальтом и сульфиды Александринского месторождения, обогащенные молибденом.

В других случаях, например, в слабо преобразованных турбидитах месторождения Яман-Касы, удалось определить некоторые особенности распределения микроэлементов в различных микроструктурных типах рудокластов. Обломки гидротермально-осадочных корок колломорфных, фрамбоидальных и сажистых пиритов, хорошо сохранившиеся в некоторых слоях сульфидных песчаников на месторождении Яман-Касы, характеризуются аномальными содержаниями (в г/т): Mn (76–360), Ag (16–492), Au (3.2–47.5). Максимальные содержания Pb (25.5–53.7 г/т) характерны для метакolloидных марказитовых рудокластов. В ранне-диагенетических монокристаллах пирита, образовавшихся на месте исходных рудокластов, содержания этих элементов на 1–2 порядка ниже. Еще на порядок меньшими содержаниями этих микроэлементов характеризуются позднедиагенетические или катагенетические пириты, представленные прожилками, пересекавшими литифицированный осадок. В сульфидных песчаниках, значительно преобразованных в стадию диагенеза, обломки сажистого апоангидритового пирита, также как и обломки колломорфного и фрамбоидального пирита отсутствуют. Можно было бы предположить, что в таких прослоях содержания Au, Bi, Ag, Pb должны быть минимальными. Однако, в целом, в преобразованных сульфидных турбидитах содержания рассеянных элементов обычно не уменьшаются, а иногда даже значительно возрастают. Это связано с переходом значительной части рассеянных элементов из пиритов в псевдоморфные халькопириты, сфалериты или галениты.

Часть рудокластов, сложенных гидротермальным друзовым халькопиритом являются относительно чистыми от микропримесей. Исключение составляют гидротермальные халькопириты, содержащие теллуриды (Яман-Касы). Они характеризуются аномально высокими содержаниями Au, Ag, Bi, иногда Co. В отличие от гидротермальных халькопиритов во многих псевдоморфных

раннедиагентических разностях, кроме аномальных концентраций Ag (105–272 г/т), Bi (151–922 г/т), Ag (10–74 г/т), Co (21–652 г/т), появляются высокие содержания Mn (149–1331 г/т), Tl (11.1–21.4 г/т) и As (190–1237 г/т). В более поздних борнитах и теннантитах и галенитах особенно выражено накопление Ag (191–627 г/т) (Александринское, Балта-Тау, Молодежное).

Таким образом, в стадию диагенеза гидротермально-осадочные колломорфные, сажистые и фрамбоидальные пириты, богатые рассеянными элементами, растворяются. Их место занимают кристаллически-зернистые разности, обедненные Au, Ag, Tl, Mn. Напротив халькопириты, борниты и теннантиты и галениты приобретают аномальные содержания элементов. В целом, изучение типохимизма сульфидов методом LA-ICP-MS имеет большие перспективы и позволит в будущем установить новые тенденции геохимической дифференциации элементов на разных стадиях литогенеза.

Автор благодарен Л. Данюшевскому, Р. Ларжу за предоставленную возможность выполнения LA-ICP-MS сульфидов в Центре по изучению генезиса рудных месторождений (Университет Тасмании). Автор признателен С. П. Масленниковой за помощь в выполнении анализов. Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ (проект 02–05–64821), программы Университета России (УР.09 01.028), фонда Интеграция (проект П-0035), гранта Европейского Сообщества (funded by the European Communities, Cordis-RTD projects, 5 Framework Programme INCO-2, project ICA2-2000-10011). Автор благодарен Фонду поддержки отечественной науки за предоставленный грант по программе «Выдающиеся ученые, молодые доктора и кандидаты наук».

Работа выполнена в рамках Президиума РАН № 14 «Мировой океан: геология, геодинамика, физика, биология».

Литература

1. *Бородаевская М. Б., Злотник-Хоткевич А. Г., Пирожок П. И., Ширай Е. П.* Условия локализации и формирования колчеданных руд на примере Учалинского месторождения (Южный Урал) // Советская геология. 1984. № 3. С. 25 – 35.
2. *Жабин А. Г.* Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: 1979. 261 с.
3. *Зайков В. В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 1991. 206 с.
4. *Иванов С. Н., Рокачев С. А.* Еще раз о сульфидных обломках в надрудных толщах и о генезисе колчеданных месторождений Урала // Геол. рудн. месторождений. 1970. Т.Х. № 6. С. 122–129.

5. Колчеданные месторождения Мира /Под ред *В. И. Смирнова*. М.: Недра, 1979. 284 с.
6. *Лисицын А. П., Богданов Ю. А., Гурвич Е. Г.* Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.:Наука, 1990. 256 с.
7. *Масленников В. В.* Литологический контроль медноколчеданных руд. Свердловск: УрО РАН, 1991. 140 с.
8. *Масленников В. В.* Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
9. *Мацукума Т, Хорикоси Е.* Месторождения типа куроко // Вулканизм и рудообразование. М.: Мир, 1973. С. 129–151.
10. *Constantinou G.* Genesis of conglomerate structure, porosity and collomorphic textures of massive sulphide ores of Cyprus // *Geol. Assoc. Canada. Spec. Paper*, 1976. Vol.14. P. 187–210.