

Часть 5. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РУД

В. В. Масленников

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
mas@mineralogy.ru*

Перспективы и первые результаты разработки минералого-геохимических критериев поисков и глубокой переработки колчеданных месторождений

Благодаря работам А. Н. Заварицкого, С. Н. Иванова, В. А. Прокина, В. А. Коротеева, М. Б. Бородаевской, А. И. Кривцова, Н. К. Курбанова, Н. П. Лаверова, А. С. Лапухова, В. Н. Логинова, А. А. Малахова, В. М. Нечехина, А. П. Ширая, Л. Н. Овчинникова, Н. А. Перижняк, П. И. Пирожка, В. А. Попова, Ю. Я. Потапенко, Е. В. Праховой, В. Ф. Рудницкого, Д. В. Рундквиста, Г. В. Ручкина, И. Б. Серавкина, Н. Е. Сергеевой, Н. С. Скрипченко, В. В. Авдонина, Д. В. Аревадзе, Э. Н. Баранова, В. И. Будадзе, Н. И. Еремина, В. В. Зайкова, А. М. Виноградова и др. разработаны формационные, палеовулканологические, геолого-структурные, стратиграфические, литогеохимические, гидротермально-метасоматические и геофизические критерии прогнозирования колчеданных месторождений. На определенном этапе эти критерии показали свою эффективность – были открыты многочисленные колчеданные месторождения на Урале и в других колчеданосных регионах. Гораздо меньше известно о стратиграфо-литологических, литолого-фациальных, литолого-минералогических и литолого-геохимических критериях прогнозирования, которые в последние два десятилетия разрабатывались А. В. Пуркиным, Г. А. Злотник-Хоткевичем, В. В. Зайковым, В. В. Масленниковым и Н. Р. Аюповой. В последние годы литологические критерии активно используются канадскими (Дж. Питер, Дж. Слэк, С. Скотт, И. Джонассон) и австралийскими (Р. Ларж, Б. Геммел) геологами, а также геологами, занимающимися поиском колчеданосных систем на дне океанов. К настоящему времени стало очевидным, что литологические критерии должны быть усилены минералого-геохимическими исследованиями вулканогенно-осадочных горизонтов с применением революционных методов изучения вещества.

В условиях дефицита воспроизводства колчеданных месторождений огромное значение для развития рационального недропользования имеет повышение экономической ценности колчеданных руд. Изучение технологических свойств колчеданных руд традиционно предусматривает стандартные схемы структурно-минералогических исследований, включающих изучение зернистости, характера границ и степени сростаний минеральных индивидов. Необходимость более глубокого понимания технологических свойств колчеданных руд требует новых подходов, которые в последние годы выразились в изучении конкретных рудных фаций и их минералов, наделенных генетическими признаками.

В последние годы в Институте минералогии УрО РАН разрабатываются минералого-геохимические критерии повышения эффективности прогнозно-поисковых работ в колчеданосных регионах и увеличения экономической ценности перерабатываемых колчеданных руд на основе применения современных высокоразрешающих минералого-геохимических методов изучения вещества. Одной из задач исследований является выявление минералого-геохимических особенностей сульфидных и оксидно-железистых диагенитов, связанных с различными по составу рудоконтролирующими и безрудными вулканогенно-осадочными горизонтами (яшмовыми, черносланцевыми, силицитовыми, известковистыми и смешанными). На этой основе планируется создать систему литологических и минералого-геохимических критериев прогнозно-поисковых работ в различных седиментационных типах колчеданосных районов. Другая задача предусматривает проведение сравнительного анализа онтогенеза, минерального и химического составов, минералого-физических свойств генетических типов руд месторождений колчеданного семейства для разработки рекомендаций по комплексному и селективному использованию колчеданных руд применительно к различным рудно-формационным типам колчеданных месторождений (атлантическому, кипрскому, бесси, уральскому, алтайскому, баймакскому и куроко).

Эти задачи могут быть решены на основе современных минералогических и геохимических исследований генетических типов колчеданных руд или их рудных фаций, составляющих промышленно значимые части колчеданообразующих систем. Если ранее для изучения типохимизма сульфидов использовались малочувствительный микрорентгеноспектральный и полуколичественный лазерный спектральный анализы, то в последние годы революционным стало применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией – ЛА-ИСП-МС. Применение ЛА-ИСП-МС стало началом новой НТР, сказалось не только на понимании причин разнообразия месторождений колчеданного семейства, но и определило новую основу для совершенствования технологических схем обогащения руд.

Большинство колчеданных месторождений, залегающих среди вулканитов, приурочены к горизонтам вулканогенно-осадочных пород, которые отличаются от безрудных вулканогенно-осадочных горизонтов по составу металлоносных и других отложений. Апусульфидные оксидно-железистые отложения (госсаниты), образующие ареалы рассеяния вокруг колчеданных залежей, отличаются от безрудных джасперитов и яшм не только повышенными содержаниями большинства элементов-примесей колчеданной ассоциации, но и концентрацией элементов-гидролизатов (PЗЭ, Ti, P) [Maslennikov et al., 2012]. В гематитовых псевдоморфозах по рудокластам сохраняются реликтовые структуры и минералы колчеданных руд. Аутигенные разновидности самородного золота, электрума, галенита, борнита, реньерита, станноидита, айкинита, виттихенита, штромейерита, эмплектита, блеклых руд, теллуридов Bi, Hg, Ag, Au, селенидов Pb и Ag и касситерита также отличают госсаниты от джасперитов [Аюпова и др., 2013а, б].

Первые данные по Александринскому колчеданосному району показали, что для целей прогнозирования может оказаться полезной информация об элементах-примесях в пирите пелитоморфных вулканогенно-осадочных отложений [Ярославцева и др., 2008]. К настоящему времени установлена зависимость количества и состава элементов-примесей от структуры сульфидных и оксидно-железистых обособлений. Доказано, что особое значение для прогнозирования имеет сравнение однотипных по структуре компонентов, среди которых наиболее перспективными являются рудокла-

сты, фрамбоидальный пирит, пиритовые конкреции, гематитовые и магнетитовые псевдоморфозы по сульфидным рудокластам. Аналогичные геохимические данные получены по гематитовым и магнетитовым обособлениям рудоконтролирующих оксидно-железистых отложений. Сульфидные конкреции, встречающиеся в серпентинитовых песчаниках, госсанитах, карбонатных или черносланцевых алевропелитах рудоконтролирующих и надрудных слоистых пачек, отличаются от сходных конкреций безрудных осадочных толщ значительными вариациями содержаний Te, Bi, Au, Ag, Se, Pb и Sn, образующих устойчивую геохимическую ассоциацию.

Исследования генетических типов сульфидов методом ЛА-ИСП-МС позволяют определить концентрации и формы нахождения элементов-примесей в различных сульфидах применительно к различным рудным микрофациям и рудно-формационным типам. Этот подход позволяет оценить технологический потенциал колчеданных руд и является необходимым условием совершенствования схем обогащения руд. Исследования такого рода, проведенные на Октябрьском медно-цинково-колчеданном месторождении, позволили дать рекомендации к совершенствованию схем извлечения золота [Белогуб и др., 2013]. Установлено, что в рудах колчеданных месторождений происходит смена форм нахождения Au, Ag, Te, Se, Co, Ni по мере нарастания в геологическом разрезе количества кислых вулканитов и уменьшения роли подрудных базальтов в рудно-формационном ряду колчеданных месторождений. В рудах месторождений кипрского типа незначительное количество Au и Ag содержится лишь в колломорфном пирите *p*-типа, в основном, в изоморфной форме. Содержания золота в пирите *n*-типа низкие. Возможность разделения этих разновидностей пирита при флотации позволяет прогнозировать различия в получении золото-пиритовых концентратов применительно к месторождениям уральского и куроко типов [Гладков, Масленникова, 2014]. Далее в рудно-формационном ряду содержания Au и Ag в колломорфном пирите значительно возрастают. В рудах месторождений уральского типа Au и Ag обогащают как колломорфный пирит, так и халькопирит в теллуридной и самородной формах. В рудах месторождений куроко и баймакского типа Au и Ag концентрируются в гидротермально-осадочном колломорфном пирите и, чаще всего, в сфалерите в ассоциации с блеклыми рудами и галенитом. На месторождениях алтайского типа включения электрума распространены в эвгедральном пирите, встречающемся как в гидротермальном халькопирите, так и в сфалерите.

Содержания Te и Se в пирите и халькопирите в пределах данного рудно-формационного ряда колчеданных месторождений существенно снижаются. В месторождениях кипрского типа теллур присутствует в изоморфной форме (Te^{2-}) в халькопирите. В гидротермальном халькопирите и сфалерите месторождений уральского и понтийского типов доминируют теллуриды. Теллур в месторождениях куроко типа концентрируется в виде изоморфной примеси в пирите (Te_2)²⁻ или в составе блеклых руд (Te^{4+}). Таким образом, в этом же ряду меняются формы накопления теллура в различных минералах по мере изменения соотношений кислых вулканитов и базальтов в подрудном геологическом разрезе [Maslennikov et al., 2013].

При изучении колчеданных месторождений кипрского и атлантического типов особое внимание должно быть уделено оценке возможности промышленных концентраций и форм нахождения Co и Ni в различных рудных фациях. Установлено, что Co и Ni в изоморфной форме концентрируются в гидротермально-крустификационном халькопирите, гидротермально-осадочном колломорфном пирите, а также в ранних псевдоморфозах пирита по пирротину. В диагенетическом (конкреционном)

пирите эти элементы почти исчезают. При пирротинизации рудокластов на их месте появляются сопутствующие аутигенные арсениды, сульфоарсениды и сульфиды Co и Ni.

Принципиально новым является изучение распределения олова. Олово обычно концентрируется в гидротермальных разновидностях халькопирита и сфалерита колчеданных месторождений атлантического и иберийского типов. Очевидно, ультрамафиты и органические илы этих месторождений обеспечивали сильно восстановительные условия, необходимые для эффективного переноса Sn^{2+} . На месторождениях уральского типа олово, в основном, концентрируется в виде сульфидов в борнитовых продуктах субмаринного гипергенеза обломочных руд.

Определение объемов и свойств рудных фаций, позволит дать рекомендации по раздельной добыче и селективному складированию соответствующих промышленно-генетических типов руд. Различия в типохимизме сульфидов, образующих либо медные и цинковые концентраты, либо пиритовые «хвосты» могут быть использованы при решении проблем комплексного и селективного использования колчеданных руд применительно к различным рудно-формационным типам колчеданных месторождений.

Исследования проводились при финансовой поддержке ОФИ УрО РАН, проект № 13-05-012.

Литература

Аюпова Н. Р., Масленников В. В., Котляров В. А. Сульфовисмутиты в окисдно-железистых продуктах субмаринного окисления обломочных руд медно-цинково-колчеданного месторождения Лаханос (Турция) // Записки РМО. 2013а. № 2. С. 83–93.

Аюпова Н. Р., Масленников В. В., Целуйко А. А. Акцессорные минералы в продуктах субмаринного окисления колчеданных руд // Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд. Екатеринбург: УрО РАН, 2013б. С. 5–8.

Белогуб Е. В., Масленников В. В., Цигалов А. М. Поведение золота при обогащении руд Октябрьского медно-цинково-колчеданного месторождения (Башкортостан) // Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. С. 8–11.

Гладков А. Г., Масленникова С. П. Связь термоЭДС с содержаниями в них золота и серебра в сульфидных трубах «черных курильщиков» медно-цинково-колчеданных месторождений Яман-Касы и Александринское // Металлогения древних и современных океанов–2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014 (настоящий сборник).

Ярославцева Н. С., Аюпова Н. Р., Масленников В. В., Масленникова С. П. Элементы-примеси в пирите пелитоморфных отложений как индикаторы колчеданного оруденения (на примере Александринского рудного района, Южный Урал) // Известия ВУЗов, Геология и разведка. 2008. № 6. С. 33–41.

Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Herrington R. J., Danyushevskiy L. V., Large R. R. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // Ore Geology Reviews. 2012. V. 47. P. 5–41.

Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V., Herrington R. J., Stanley C. J. Tellurium-bearing minerals in zoned sulfide chimneys from Cu-Zn massive sulfide deposits of the Urals, Russia // Mineralogy and Petrology, Special Issue: Ore deposits of the Urals. 2013. V. 107. P. 67–99.