РУДНЫЕ ФАЦИИ, МИНЕРАЛЫ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТО-КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАЙМАКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН

В. В. Зайков, И. Ю. Мелекесцева, Н. Н. Анкушева

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, zaykov@mineralogy.ru

Введение. К девонским вулканогенным толщам Баймакского рудного района приурочены золото-колчеданно-полиметаллические месторождения (т. н. баймакский тип). Они располагаются в островодужных структурах и от колчеданных месторождений уральского типа отличаются присутствием в заметных количествах галенита и повышенными содержаниями благородных металлов.

В статье показаны особенности рудных фаций и минералогии типичных месторождений этого района. Методологической основой работы явился рудно-фациальный анализ колчеданных тел. Рудные фации — это промышленно значимые минеральные скопления со сходными текстурно-структурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования. На исследованных месторождениях авторам совместно с коллегами удалось выделить придонные гидротермальные, рудокластические, придонные гипергенные и гидротермально-метасоматические фации.

Также для рассматриваемого типа месторождений характерно множество минералов благородных минералов. Их исследование проведено с использованием аппаратуры лабораторий Института минералогии (JEOL JCXA-733, РЭММА-202М), Музея Естественной Истории, Лондон и Геологической службы Франции, Орлеан (Camebax SX 50), Фрайбергской горной академии, Германия (JEOL JCXA-8900RL). Оценка условий рудообразования проводилась методами термобарогеохимии (THMSG-600 (LINKAM), Миасс, ИМин УрО РАН; Екатеринбург, ИГГ УрО РАН).

Строение месторождений. Исследованные месторождения представлены сульфидными залежами различной сохранности, а также штокверковыми зонами с различной степенью эродированности. Несмотря на малые размеры, они эксплуатируются благодаря повышенным содержаниям золота и серебра. Месторождения Баймакского рудного района различаются позицией в пределах рудовмещающей андезит-дацит-риолитовой толщи, залегая в ее основании, в средней части разреза и в кровле под перекрывающими яшмами. *Месторождение Таш-Тау* не вскрыто на поверхности и является примером хорошо сохранившихся сульфидных холмов. Предположение о сходстве главного рудного тела с современными «черными курильщиками» было высказано около 20 лет назад. *Месторождения Вишневское, Северо-Уваряжское и Балта-Тау* приурочены к кровле риолит-дацитовых куполов, образовавшихся на заключительной стадии среднедевонского вулканизма. *Рудопроявление Утреннее* приурочено к склону риолит-дацитового купола, выше которого залегают яшмы и вулканомиктовые отложения живета.

Рудные фации. ***К придонной гидротермальной фации*** отнесены сплошные руды, образующие основной объем сульфидных холмов в Баймакском районе. Их формирование происходило в результате многократного отложения сульфидов в устьях горячих источников и последующего перераспределения минералов. Руды имеют сфалерит-пиритовый, халькопирит-пиритовый, галенит-сфалерит-пиритовый состав с многочисленными друзовыми пустотами, стенки которых покрыты кристаллами пирита. *Субфация рудоподводящих каналов или «кондуитов»* выявлена на месторождениях Таш-Тау и Вишневском и представлена рудами концентрического строения в осевой части гидротермальных систем. Встречаются как одиночные, так и сложные каналы. Их внешняя часть образована слоями гигантозернистых радиальных агрегатов шестоватого сфалерита с включениями «ихтиоглиптов» халькопирита, теннантита. Внутренняя стенка инкрустирована пластинчатыми кристаллами халькопирита. Рост кристаллов происходил от периферии к центру, центральная часть каналов заполнена баритом и карбонатом с включениями халькопирита, сфалерита.

Кластогенная фация представлена обломочными рудами, развитыми на склонах и у подножья построек. Среди них преобладают халькопирит-сфалерит-пиритовые разности обломочной

текстуры, часто с градационной сортировкой сульфидных обломков. Состав обломков различен, и по минеральному составу можно выделить следующие типы: пиритовые, халькопирит-пиритовые, сфалерит-халькопирит-пиритовые, халькопиритовые, сфалеритовые. По размеру пиритовые обломки достигают 5 см в поперечнике, халькопиритовые — 2–2,5, а сфалеритовые — 0,1–0,3 см. Нередко обломки разбиты трещинами, которые залечены кварцем, кальцитом, хлоритом. В ряде случаев кластогенные руды содержат прожилки и вкрапленность галенита. Мощность горизонтов кластогенных руд, окружающих холмы, достигает 10 м, при средних значения 3–6 м. На месторождении Звездном отмечены прослои кластогенных руд с градационной слоистостью при мощности ритмов 10–15 см. Они имеют кварц-баритовый, глинисто-кварцевый цемент и чередуются с кремнистыми прослоями, содержащими диагенетический пирит.

Придонная гипергенная фация установлена в кровле тел гидротермальных и кластогенных руд. В наиболее полном виде она включает три зоны, возникшие при субмаринном гипергенезе кислотного профиля: полного окисления, выщелачивания и сульфидного обогащения. Зона гипергенеза приурочена к кровле рудных тел и имеет мощность 0,5–1,0 м. Ее подводное происхождение доказывается присутствием обломков руд этой зоны в перекрывающих морских отложениях и рядом геолого-минералогических признаков. В верхней части развиты продукты полного окисления в виде гематитовых, хлорит-гематитовых, гематит-баритовых образований с реликтами рудокластов. Ниже следуют пиритовые песчаники (подзона выщелачивания), которые сменяются подзоной вторичного сульфидного обогащения с борнит- и ковеллинсодержащими пирит-халькопиритовыми рудами. В них часто присутствуют халькозин, тетраэдрит, германит, гессит.

Штокверковые руды установлены в подрудных аподацитовых метасоматитах. Для них характерна вкрапленность, прожилки и жилы сульфидов, распространяющиеся вниз по разрезу на десятки – первые сотни м. Общей особенностью штокверков является субвертикальная ориентировка полосчатости сульфидных агрегатов, баритовых жилок и линзовидных включений метасоматитов, часто параллельная оси керна.

Минералогия. Список рудных минералов, выявленных на золото-колчеданно-полиметаллических месторождениях Урала, включает 56 минералов, в том числе 25 — сульфидов, 15 — арсенидов, сульфоарсенидов и сульфосолей, 5 — оксидов и сульфатов и 3 самородных элемента. Кратко охарактеризуем минералы золота и серебра из различных рудных фаций.

Самородное золото зональных сульфидных каналов. Их внешняя зона насыщена кристаллами пирита и сфалерита с единичными зернами золота размером первые микроны. Затем следует зона относительно чистого сфалерита с закономерным распределением халькопиритовых выделений, а по его периферии располагаются мелкие кристаллики золота. Далее следует зона инкрустации: халькопиритовые и пиритовые кристаллы, обрастаемые сфалеритом, с удлиненными зернами золота. Замечено, что чем дальше от участка инкрустации, тем выше пробность золота, а его содержание в золотинах меняется от 79–82 до 64–72% при увеличении содержания серебра с 14–18 до 26–31%.

В продуктах субмаринного окисления золото наблюдается в виде зерен поперечником до 4 мм в борнит-баритовой массе. Наиболее крупные зерна имеют чрезвычайно сложную морфологию и имеют сетчатую, сотовую или кружевную текстуру. В жилках, подчеркивающих сетчатую текстуру, наблюдается повышенное содержание серебра, достигающее 30%. Ориентировка их параллельна сколовым трещинкам в окружающих сульфидах, что является свидетельством влияния пострудных дислокаций на перераспределение металлов. Аналогичные микротекстуры золотин установлены при микрогеохимическом картировании самородного золота в зонах субмаринного окисления месторождений Александринского (Урал) и Урупского (Кавказ). Похожее строение золотин наблюдается в золоте сульфидных руд бассейна Лау, где они имеют чешуйчатое строение и их размеры достигают 21 мкм в сфалерите.

В контактово-метасоматической субфации самородное золото присутствует в пирит-халькопирит-сфалеритовой руде на контакте с андезитом. Близ контакта чистый халькопирит сменяется сфалерит-халькопиритовой графикой с галенитом и гесситом на контактах зерен сфалерита и халькопирита. В халькопирите обнаружены зерна золота, в поперечнике достигающие 3–5 мкм (Au 80–84%; Ag 8–19%). Нередко контактовый халькопирит образует пластинчатые формы по актинолиту.

В пирит-халькопирит-сфалеритовом ксенолите в халькопирите найдены зерна золота 3–5 мкм (Au 80–82%; Ag 19%).

В прожилково-вкрапленных рудах Северо-Уваряжского месторождения зерна электрума встречаются как в сульфидной матрице, так и в баритовых жилках. Их размеры достигают 100 мк, зерна изометричные и часто имеют округлую форму. В «сульфидной» матрице электрум встречен в мелких зернах халькопирита, пирита, галенита. Несколько зерен размером первые микроны были найдены в акантатовой жилке, которая рассекает зерно халькопирита. В барите зерна электрума встречаются в ассоциации с самородным серебром.

По результатам микрозондового анализа электрум в баритовых жилках имеет более высокие содержания золота (70–81%), чем в матрице (44–66%). Содержания серебра соответственно варьируют от 19 до 27%, а в матрице от 30 до 51%. Это свидетельствует о том, что в баритовой жилке разделение золота и серебра было более активным; видимо, поэтому здесь мы встречаем самородное серебро.

Самородное серебро и акантит установлены в прожилково-вкрапленных рудах Северо-Уваряжского месторождения. Серебро обнаружено в сульфидных жилках на контакте с электрумом и имеет размер 20 мк в поперечнике. По результатам микрозондовых анализов оно содержит Ag 94–95%, значимые примеси представлены золотом, медью, теллуром и кадмием.

Акантит выявлен в баритовых жилках и в матрице. В жилке он находится вблизи зерен электрума и имеет причудливую мозаичную морфологию. В сульфидном субстрате одни зерна акантита окружают зерна электрума, а другие — образуют округлые включения в галените размером до 160 мкм и жилки, рассекающие халькопиритовые зерна. Согласно данным микрозондовых анализов жилки и включения акантита отличаются по содержаниям сурьмы (в %): в первых содержание ~0,07, а во вторых — меняется от 1 до 2. Примеси в акантите представлены As 2–6%, Te 0,1–1,1%, Cd 0,1–0,7%.

Гессит образует зерна размером десятки микрон в галените. Форма зерен вытянутая, поверхность шагреневая. Из примесей для него характерны висмут, ртуть, цинк, свинец. По составу гессит из разных участков рудоносной зоны имеет некоторые отличия: с глубиной количество серебра уменьшается от 69 до 59% при соответствующем возрастании содержаний теллура от 28 до 37% и мышьяка от 0,01 до 1,1%.

Кервеллеит находится среди зерен галенита и имеет сходный облик. Он установлен в придонной гидротермальной руде, сложенной полосами сфалерита, галенита, халькопирита. Примеси в минерале представлены свинцом (0,2–1,4%) и цинком (0,24–0,26%).

Штромейерит и ялпаит находятся в сростках размером 10–20 мкм среди борнитовых руд, где образуют жилки и выполняет интерстиции между зернами других минералов [Сопко и др., 1973]. Ялпаит, кроме того, наблюдается в сростках с галенитом среди кварц-баритовой массы. Форма выделений вытянутая, поверхность минерала шагреневая.

Волынскит образует пластинчатые кристаллы, размеры которых 0,03–0,05 мм. Он совместно с гесситом трассирует границу теннантита и кварца в кластогенных рудах. Результаты микрозондового анализа демонстрируют преобладание в составе Bi, Ag и Te, хотя кондиционные результаты из-за малых размеров выделений не получены.

Условия рудообразования. Начальная фаза рудообразования была связана с развитием рудоносных интрузивно-экструзивных куполов. В устьях минерализованных горячих источников отлагались сульфидные руды придонной гидротермальной фации. Гидротермальные растворы, судя по результатам термобарогеохмических исследований, имели температуру 125–280°C при солености 3–6,5 NaCl% (мас. экв).

Формирование продуктов окисления руд происходило на поверхности сульфидных масс и в погребенных условиях. Данные по месторождению Таш-Тау позволяют предположить, что крупные золотины в неметаморфизованных колчеданных рудах образовались в результате придонного вторичного сульфидного обогащения. Реальность такого явления подтверждается прямыми находками самородного золота в окисленных черных курильщиках Срединно-Атлантического хребта и бассейна Лау в Меланезии. Формирование сетчатой текстуры обусловлено рассланцеванием агрегатов и перераспределением вещества в более позднее время.

Последующие процессы связаны с разрушением руд лавовыми потоками и дайками. В их контактах происходило образование контактово-метасоматических пород с графическими текстурами. Для них характерны выделения золота несколько повышенной пробности (Au 80–84, Ag 18–19%).

Авторы благодарят коллег, принимавших участие в изучении и рудно-фациальном анализе золото-колчеданно-полиметаллических месторождений: В.В. Масленникова, Ю.В. Кулешова, Е.С. Попову.

Работы были выполнены при поддержке РФФИ (07-05-00260), Министерства образования и науки РФ (РНП.2.1.1.1840), Интеграционного проекта УрО – СО РАН.

КРУПНЫЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫЕ, ИЛЬМЕНИТОВЫЕ И СКАРНОВО-МАГНЕТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РИФЕЯ И ПАЛЕОЗОЯ В РИФТОВЫХ СТРУКТУРАХ УРАЛА И ИХ ГЕНЕЗИС

В. В. Холоднов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Рифей-венд-палеозойские рифтовые структуры Урала являются ведущими петро- и рудогенерирующими структурами при формировании крупных титаномагнетит-ильменитовых и собственно титаномагнетитовых и скарново-магнетитовых магматогенных месторождений и важных рудных провинций Урала. Различия в составе, масштабах и условиях образования таких месторождений обусловлены особенностями геодинамической позиции самих рудогенерирующих рифтовых структур, степенью деплетирования магматических источников, составом и режимом флюидов, а также формированием месторождений в условиях различных фаций глубинности, определяющих характер и интенсивность накопления рудного вещества в ходе процессов магматической дифференциации.

Образование крупных зон рифтогенеза в эти периоды связано с подъемом к поверхности и эволюцией глубинных мантийных плюмов. Специфика их в том, что плюмовый магматизм проявляется на фоне различной степени деплетированности литосферной мантии, усиливающейся от раннего рифея к раннему палеозою. Связь с плюмами имеет и важный минерагенический аспект, поскольку производные плюмового магматизма продуктивны на крупные концентрации многих рудных элементов.

В среднерифейское время (1400–1380 млн. лет) в период интенсивной деструкции древнего доуральского палеократона формируются наиболее насыщенные титаном месторождения западного склона Урала, особенностью которых является их специализация либо на высокотитанистые титаномагнетиты (Юбрышкинское м-ние), либо на ильменитовые руды в парагенезисе с титаномагнетитами, различающимися по содержанию титана (кусинско-копанская группа). В малоглубинных месторождениях этой группы (Копанское, Маткальское, Медведевское м-ния), формирующихся при низком флюидном давлении и высоких температурах, содержание TiO_2 в титаномагнетитах составляет 10–15 вес.%, в глубинном типе (Кусинское м-ние) — падает до 1–6 вес.%, при резком усилении в рудообразующем процессе активности хлора и воды, с появлением в составе руд повышенных содержаний Cr и Ni, наличием других минералого-геохимических особенностей [Ферштатер и др., 2001, 2005]. Сухие малоглубинные системы наиболее благоприятны для формирования крупного ильменитового оруденения. Для таких систем характерно наиболее позднее формирование остаточных рудоносных магм, ограниченных составами, крайне бедными магнием. В малоглубинных рифейских месторождениях содержание MgO в титаномагнетитовых и ильменитовых рудах составляет 5–7 вес.%. Это указывает на то, что формирование руд в малоглубинном типе происходит на значительно более позднем этапе эволюции рудно-магматических систем. Обогащенность титаном и тяжелыми РЗЭ габброидов кусинско-копанского комплекса свидетельствует о генезисе малоглубин-