

Часть 3. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

И. В. Викентьев

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН, г. Москва
viken@igem.ru*

Метаморфизм колчеданных месторождений Урала

О существенном динамометаморфизме многих из колчеданных месторождений упоминает В. А. Обручев. На основании сопоставления данных о геологическом строении месторождений Среднего Урала, залегающих в «сланцевых полосах», и слабо нарушенных месторождений Южного Урала, А. Н. Заварицкий в 1936 г. обосновал гипотезу о связи подобных рудных объектов с вулканизмом и подтвердил заметную роль динамического метаморфизма в их преобразовании. Признаки динамометаморфизма руд описывали С. Н. Иванов [Иванов, 1939 и др.] и Т. Н. Шадлун [Шадлун, 1950]. Накоплены данные по изменению морфологии рудных залежей, структур и текстур руд [Иванов, 1939; Ракчеев, 1956; Медноколчеданные..., 1992; Система..., 1992]. Показано, что руды легко перекристаллизуются, а при определенных условиях испытывают пластическое течение и эволюцию состава минералов [Шадлун, 1950; Ярош, 1973; Викентьев, 2004].

Ключевые аспекты происхождения колчеданных залежей остаются дискуссионными: условия метаморфизма руд, участие метаморфогенных флюидов и их состав, дополнительный привнос металлов. Проблема метаморфической регенерации и новообразования колчеданных залежей для Урала по сути лишь обозначена [Сначев, 1982; Баранов, 1987; Prokin, Buslaev, 1999; Викентьев и др., 2009]. Не ясна природа современной вертикальной зональности крутопадающих рудных тел. Согласно [Кривцов и др., 1979; Баранов, 1987], она возникла при метаморфогенном перераспределении металлов, но ее механизм не рассмотрен. По мнению [Овчинников, Жабин, 1977], эта зональность – вторичная метасоматическая, наложенная на сингенетичные, прежде пологолежащие линзы «протопиритов».

Для крутопадающих рудных тел не до конца ясна природа современной вертикальной зональности, аналогичной пологим залежам, где вертикальная зональность совпадает с поперечной. Согласно [Сначев, 1982; Баранов, 1987], она – метаморфогенная, предполагается перераспределение металлов в пределах ранее образованных залежей медно-цинковых руд в процессе складкообразования; механизм же перераспределения (условия, формы переноса, причины отложения) не рассмотрен. По мнению Л. Н. Овчинникова и А. Г. Жабина [1977], зональность крутопадающих залежей – вторичная метасоматическая, наложенная на сингенетичные, прежде пологолежащие линзы серноколчеданных руд («протопириты»); природа зональности горизонтальных и слабонаклоненных залежей этими авторами считалась аналогичной вертикальным, т. е. вторичной.

Наблюдаемые признаки эпигенетического образования могут быть объяснены метаморфогенным преобразованием колчеданных залежей как в результате ремобилизации ранних вулканогенных сульфидных руд, так и мобилизации металлов, входящих в породообразующие силикаты, и серы из обширных ореолов рассеянной пиритовой вкрапленности с дальнейшим их концентрированным отложением (см., например, [Marshall, Gilligan, 1993]).

В целом, метаморфизм колчеданоносных вулканогенных формаций Урала невысокий и соответствует пренит-пумпеллиитовой фации (табл. 1). На Среднем Урале колчеданоносные поля тяготеют к зонам сланцев; слабоизмененных вулканитов здесь мало, и они появляются только на его севере, а также развиты на Северном Урале. В районе Карабаша метаморфизм достигает максимума (эпидот-амфиболитовая и амфиболитовая фации). Степень преобразования колчеданных месторождений коррелирует с фациями метаморфизма пород.

На большинстве крупных месторождений Урала (Гайское, Дегтярское, Учалинское, Ново-Учалинское, Сибайское) есть признаки наложенного динамометаморфизма, вплоть до появления гнейсовидных текстур и признаков пластического течения сульфидов. Роль метаморфического преобразования крупных колчеданных тел с локальным перераспределением химических элементов с обогащением Cu и особенно Zn их краевых частей и верхних выклинок (по восстанию крутопадающих линз) показана для объектов Тагильской мегазоны [Кривцов и др., 1979; Медноколчеданные..., 1992; Prokin, Buslaev, 1999], а для месторождений Южного Урала остается дискуссионной [Овчинников, Жабин, 1977; Баранов, 1987; Воробьев, 1995; Викентьев, 2004], наиболее очевидна она для Гайского месторождения.

При переходе от слабо преобразованных месторождений к сильно метаморфизованным, помимо резкого изменения морфологии рудных тел, происходит и заметное изменение их текстурно-структурных характеристик. В результате метаморфизма руды были перекристаллизованы и, в основном, утратили свой тонкозернистый, колломорфный («метаколлоидный») и брекчиевый облик. Заметно укрупняется золото, переходящее из «невидимой» формы в микронные и более крупные выделения самородного золота и Au-Ag теллуридов [Викентьев, 2004], на это «укрупнение» обратили внимание уже первые исследователи колчеданных руд Урала (И. Н. Масленицкий, В. М. Крейтер, Н. В. Петровская, Т. Н. Шадлун). В пирите, помимо золота (переходящего из дисперсной формы в видимую), уменьшается содержание и других примесных элементов – Ag, Te, Sn, Bi, Ge и некоторых других (как правило, кроме As и Co), которые образуют собственные минералы. Метаморфизм способствует улучшению качественных показателей обогатимости руды. В полной мере это относится к месторождениям, преобразованным тепловым воздействием крупных гранитоидных интрузивов (табл. 2).

Примером контактово-метаморфизованного месторождения служит месторождение Таш-Яр [Сначев, 1982; Баранов, 1987; Викентьев и др., 2009], локализованное на удалении 250–900 м от раннепермского Ахуновского массива. Линзообразные крутопадающие рудные тела протяженностью до 700 м и мощностью до 50 м оконтуриваются среди серицит-кварцевых метасоматитов, образовавшихся, в основном, по кислым вулканитам; во внешних частях метасоматических ореолов появляется хлорит, а на глубине и ЮВ фланге месторождения (ближе к гранитному массиву) – биотит. В них присутствуют контактово-метаморфические гранат, кордиерит, реже шпинель. Руды малосульфидные прожилково-вкрапленные цинково-колчеданные, содержат 1–14 мас. % Zn (среднее 1.3 мас. %), 0.05–2 мас. % Cu (среднее 0.1 мас. %),

Таблица 1

**Степень и характер метаморфического преобразования
колчеданных месторождений Урала**

Степень преобразования месторождений		Фация метаморфизма	T, °C	Примеры месторождений
1		2	3	4
Неметаморфизованные и слабо метаморфизованные		цеолитовая	100–200	Комсомольское, Блявинское, Яман-Касы, Кундызды, Галкинское
Слабо метаморфизованные	тектонически нарушенные	цеолитовая – пренит-пумпеллитовая	150–300	Бакр-Тау, Таш-Тау, Балта-Тау, Майское, Восточно-Семеновское <i>Юбилейное, им. XIX Партсъезда, Талганское, Вишневское, Бурибайское, Камаган</i>
	сильно тектонически нарушенные	пренит-пумпеллитовая*	150–350 (400)	Бабарык
	сильно тектонически нарушенные; локальный контактовый метаморфизм		150–300 (400)	Учалинское, Ново-Учалинское, Сафьяновское, Молодежное, Уваряж, Западно-Озерное, Султановское
	тектонически нарушенные; локальный контактовый метаморфизм		180–350 (400)	Узельгинское, Подольское, Александринское, Озерное, Осеннее
Умеренно метаморфизованные	тектонически нарушенные; локальный контактовый метаморфизм	пренит-пумпеллитовая до низов зеленосланцевой*	200–400	Новый Шемур, Шемур
	в зонах, сопряженных с ППУ			Валенторское
	сильно тектонически нарушенные; регионально-контактовый метаморфизм		200–400 (450)	Сибайское, Приорское
	сильно тектонически нарушенные; локальный контактовый метаморфизм		250–450	Джусинское, Барсучий Лог, Левиха, Октябрьское, Левобережное
Метаморфизм от умеренного до высокого	сильно тектонически нарушенные, в т. ч. в региональных зонах смятия	зеленосланцевая	250–450 (500)	Гайское, Дегтярское, Сан-Дonato
	сильно тектонически нарушенные в региональных зонах смятия; регионально-контактовый метаморфизм			Кабанское и Красноуральское поля, Ольховское, Зюзельское

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Сильно регионально метаморфизованные; локальный контактовый метаморфизм	верхи зеленосланцевой – амфиболитовая	350–500	<i>Летнее</i>
Сильно метаморфизованные в региональных зонах смятия; регионально-контактовый метаморфизм		350–600	<i>Карабаишское, Маукское, Сев. и Ю. Кузнечиха</i>
Регенерированные; регионально-контактовый метаморфизм		350–550 (650)	<i>Таш-Яр</i>
		350–700 (800)	<i>им. 50-летия Октября (Коктау), Тарньер, Весеннее, Авангард</i>

Примечание. Курсивом выделены месторождения, на которых присутствуют какие-либо признаки регионального и/или динамического метаморфизма, включая метаморфическую перекристаллизацию, порфиробласты пирита и др. новообразования, будинаж руд, тени давления, локальную и приразломную (и приконтактовую) линейность и гнейсоватость, складки волочения, а также общую тектоническую нарушенность рудных тел. Дополнительно жирным шрифтом показаны месторождения, где метаморфизованные руды преобладают. ППУ – Платиноносный Пояс Урала. *, в локальных зонах (обычно на глубоких горизонтах) – до верхов зеленосланцевой фации.

Таблица 2

Геологические условия контактового метаморфизма колчеданных месторождений Урала

Тип контактового метаморфизма	Характер контактового метаморфизма	Примеры месторождений
Локальный	Контакты единичных, в т.ч. мощных, даек основного и среднего состава	Учалинское, Ново-Учалинское, Блява, Молодежное, Левиха, Александринское, Октябрьское, Султановское, Галкинское
	Поля (рои) даек основного и среднего состава	Гайское, Узельгинское, Подольское, Новый Шемур, Шемур, Озерное, Летнее, Осеннее, Приорское, Джусинское, Барсучий Лог
Регионально-контактовый	Региональные тектонические зоны, сопряженные с ППУ	Валенторское
	Рудные поля в контактовом ореоле крупных гранитоидных плутонов и сопряженные с региональными зонами смятия	Кабанское поле, Красноуральское поле, Левихинское поле; Зюзельское, Ольховское, Таш-Яр
	Рудные поля в контактовом ореоле крупных гранитоидных плутонов	им. 50-летия Октября (Коктау), Тарньер, Весеннее, Авангард

0.1–0.7 г/т Au, 5–35 г/т Ag. На юге месторождения, ближе к гранитам, в руде повышены содержания Cu, а на северо-западе и севере отмечается Pb (0.01–0.05, до 2 мас. %). Длительность воздействия высокотемпературного и высокоградиентного поля оценивается в 1 млн лет [Сначев, 1982]. На дометаморфическое отложение основной массы рудного вещества указывают дробление пирита и сфалерита, растаскивание их фрагментов и обтекание пластичным кварц-серицит-хлоритовым агрегатом. Зерна пирита обнаруживают признаки роста в направлении минимального сжатия, что свидетельствует об их синметаморфической перекристаллизации. Вместе с тем, наложение обогащенных сфалеритом кварц-сульфидных жил на первичную рассеянную и послонную синвулканическую существенно пиритовую вкрапленность отражает частичный привнос цинка.

На участие метаморфического перераспределения вещества указывают общая подчиненность «стержневых» кварц-сфалеритовых жил (главных составляющих рудных тел) ориентировке крутопадающих зон расланцевания, а также отдельных гнезд и прожилков сульфидов. Внедрение гранитов сопровождалось перекристаллизацией и переотложением синвулканических сульфидов в тепловом поле интрузии с формированием растянутой на сотни метров латеральной зональности (с удалением от массива) $Cu \rightarrow Zn \rightarrow Pb, Ag$, соответствующей падению температур [Баранов, 1987; Викентьев, 2004]. В связи с коллизией, в пермское время в торцевой части Ахуновского массива, действовавшего при широтном сжатии как гигантская будина, происходили интенсивные деформации. Они сопровождали правосторонние смещения вдоль субмеридиональной зоны, огибающей северное окончание массива с запада. Крутопадающие структуры растяжения СВ простирания способствовали миграции гидротермальных флюидов и образованию кварц-сфалеритовых жил. Метаморфическая природа флюидов, отложивших продуктивные кварц-сульфидные ассоциации, подчеркивается установленными высокими давлениями минералообразования [Викентьев и др., 2009]. Более сильный метаморфизм, вплоть до частичного плавления, испытали руды месторождений Тарньер и им. 50-летия Октября (Коктау) [Медноколчеданные..., 1992].

Метаморфогенная миграция химических элементов проявлялась в рудах Урала на различных масштабных уровнях: от уровня минеральных зерен (перераспределение микропримесей в сульфидах и сульфосолях, образование полосчатых и гнейсовидных текстур течения) до месторождения (возникновение вторичной геохимической зональности). Доказанным является перенос металлов на расстояния первые сотни метров.

Таким образом, сохранению и частичному преобразованию синвулканических сульфидных месторождений Урала способствовал низкоградный метаморфизм, вызвавший изменение морфологии рудных тел с разлинзованием, образованием уплощенных крутопадающих и столбообразных залежей; перекристаллизацию руд (с укрупнением сульфидов) и вынос кварца и барита, что привело к улучшению их обогатимости по сравнению с непреобразованными; переход золота из невидимой сульфидной формы в свободную с образованием самостоятельных, обычно в первые десятки микрометров, выделений самородного золота и редких минералов, среди которых преобладают теллуриды; локальную, до первых сотен метров миграцию металлов (Cu, Zn, Pb, Ag, Au) с их концентрированным переотложением в зонах палеорастяжения и по восстанию рудных тел. Наиболее кардинально преобразованы руды месторождений, испытавших регионально-контактный метаморфизм, вплоть

до их регенерации с образованием новых сульфидных залежей и частичным плавлением сульфидного субстрата.

Решению рассматриваемых вопросов способствовала кооперация с В. П. Молошагом и Л. Н. Шишаковой. Сбор качественного каменного материала был бы невозможен без помощи геологов экспедиций и рудников Урала. Автор благодарен за советы и дружескую поддержку Н. С. Бортникову, Н. И. Еремину, В. В. Масленникову, И. Б. Серавкину, В. В. Зайкову и Е. В. Белогуб. Добрым словом хотелось бы вспомнить помощь и наставления Э. Н. Баранова, Ф. П. Буслаева, Ю. С. Каретина, Е. П. Ширая, В. И. Смирнова. Финансовая поддержка геологических работ оказана Президиумом РАН (1.4П), РФФИ (№ 15-05-5873). Минералогические исследования и анализ состава сульфидов проведены в рамках проекта РНФ № 14-17-00693.

Литература

- Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. М.: Наука, 1987. 296 с.
- Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 340 с.
- Викентьев И. В., Карпухина В. С., Носик Л. П., Еремин Н. И. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал // Доклады академии наук. 2009. Т. 428. № 5. С. 633–636.
- Воробьев Ю. К. Руды Сибя как отражение процесса кристаллизации минералов в вязкой среде // Записки ВМО. 1995. Ч. СХХIV. № 1. С. 52–62.
- Иванов С. Н. Метаморфизм уральских колчеданных месторождений // Советская геология. 1939. № 2. С. 46–56.
- Кривцов А. И., Гераков А. Н., Шишаков В. Б. Рудная и метасоматическая зональность колчеданных месторождений Урала. М.: ВИЭМС, 1979. 47 с.
- Медноколчеданные месторождения Урала: условия формирования / Прокин В. А., Серавкин И. Б., Буслаев Ф. П. и др. Екатеринбург: Наука, 1992. 308 с.
- Овчинников Л. Н., Жабин А. Г. Геохимические условия рудоотложения в гетерогенных колчеданных месторождениях // Проблемы геохимии эндогенных процессов. Новосибирск: Наука, 1977. С. 130–145.
- Ракчеев А. Д. Метаморфизм пород зеленокаменной полосы и его отношение к колчеданному и медно-цинковому оруденениям в районе Южного Кузнецкого месторождения на Среднем Урале // Советская геология. 1956. № 51. С. 189–238.
- Система геологических наблюдений при прогнозе и поисках месторождений колчеданных руд / Под ред. М. Б. Бородаевской, Д. И. Горжевского, Г. В. Ручкина. М.: ЦНИГРИ, 1992. 225 с.
- Сначев В. И. К вопросу о контактово-метаморфических преобразованиях Таш-Ярского медно-колчеданного месторождения // В кн.: Вопросы магматизма и метаморфизма Юж. Урала. Уфа: УФАН СССР, 1982. С. 73–78.
- Шадлун Т. Н. Особенности минералогического состава, структур и текстур руд некоторых колчеданных месторождений Урала // В кн.: Колчеданные месторождения Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1950. С. 117–147.
- Ярош П. Я. Диагенез и метаморфизм колчеданных руд на Урале. М.: Наука, 1973. 226 с.
- Marshall B., Gilligan L. B. Remobilization, syn-tectonic processes and massive sulfide deposits // Ore Geology Reviews. 1993. Vol. 8. P. 39–64.
- Prokin V. A., Buslaev F. P. Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 1999. Vol. 14. P. 1–69.