

Тевелев А.В., Кошелева И.А., Бурштейн Е.Ф. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-41-XXV (Карталы). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. 175 с.

Plotinskaya O.Y., Azovskova O.B., Abramov S.S. et al. Precious metals assemblages at the Mikheevskoe porphyry copper deposit (South Urals, Russia) as proxies of epithermal overprinting // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 94. P. 239–260.

Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // *Economic Geology*. 2010. Vol. 105. P. 3–41.

А.С. Целуйко

*Южно-Уральский федеральный научный центр
минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия
celuykoa@rambler.ru*

Рудные фации Юбилейного медноколчеданного месторождения, Южный Урал (научный руководитель – член-корр. РАН В.В. Масленников)

A.S. Tseluyko

*South Urals Federal Research Center of
Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia*

Ore facies of the Yubileynoe massive sulfide deposit, South Urals

Abstract. The mineralogical-geochemical and textural-structural features of ore facies of the Yubileynoe deposit in the South Urals are described. The geochemical zonality and chemical features of sulfides of hydrothermal chimneys are similar with those of modern gray smokers of the western part of the Pacific Ocean. Diagenetic and catagenetic varieties of sulfides differ from hydrothermal sulfides in content of trace elements including the increasing content of elements of “high-temperature” association in pyrite.

В предшествующие десятилетия изучение колчеданных месторождений многими исследователями привело к пониманию связи магматизма и вулканизма с колчеданообразованием, и показана зависимость минералогических особенностей руд от состава определенных вулканогенных и осадочных формаций. Важным этапом изучения минералогических особенностей колчеданных месторождений стало обоснование важной роли метаморфизма в преобразованиях руд [Ярош, 1973; Викентьев, 2004]. Вместе с тем, еще на раннем этапе изучения колчеданных месторождений А.Н. Заварицкий [1943] подчеркивал, что их особенности связаны не только с процессами динамометаморфизма, но и первичными процессами рудоотложения. С годами появилось новое направление исследований, связанное с выявлением первичных генетических признаков колчеданных руд, в том числе, с привлечением данных по современному колчеданообразованию в сульфидообразующих системах черных курильщиков [Шадлун, 1991; Зайков, 2006; Масленникова, Масленников, 2007].

Седиментационные колчеданные залежи стали объектами рудно-фациального анализа, который наследует метод текстурно-структурного анализа колчеданных руд [Шадлун, 1991]. Под рудной фацией понимается закономерно расположенная часть рудного тела, которая отличается от другой части по текстурным, структурным, минералогическим, геохимическим и другим генетическим признакам, отражающим обстановку и условия рудообразования [Масленников, Зайков, 2006]. Рудно-фациальное направление исследований является актуальным, поскольку его комплексные результаты служат основой для выяснения причин разнообразия месторождений колчеданного семейства.

Цель данного исследования – выяснение минералого-геохимических особенностей рудных фаций Юбилейного медноколчеданного месторождения на Южном Урале в зависимости от условий локализации и эволюции рудных отложений. Задачи включали: 1) определение позиции рудных фаций в рудной залежи и выявление их текстурно-структурных и минералогических особенностей; 2) выявление особенностей минералого-геохимической зональности различных минеральных типов гидротермальных труб; 3) оценку влияния постседиментационных преобразований на химический состав сульфидов в рудокластических и околорудных кремнистых отложениях.

На Юбилейном месторождении обнаружены разнообразные донные гидротермальные, гидротермально-биогенные и кластогенные сульфидные отложения, а также продукты их придонного и гидротермального преобразования, характеризующиеся своими текстурно-структурными и минералогическими особенностями и занимающие закономерное положение в строении разрушенного сульфидного холма.

Картирование карьера с составлением литологических колонок Второй рудной залежи позволило реконструировать ее как сульфидный холм, имеющий типичную рудно-фациальную зональность. Массивные гидротермально-преобразованные руды тяготеют к ядру и подошве Второй рудной залежи. Среди массивных руд в верхней части рудной залежи встречены участки с реликтами древних гидротермальных построек – донных гидротермальных сульфидных отложений, представленных гидротермальными трубами, сульфидными корками, диффузерами и их линзами.

В рудах Второй залежи гидротермальные трубы размером 2–12 см различной степени сохранности залегают в положении *in situ*, а также в составе грубообломочных сульфидных отложений. В зависимости от минерального состава сульфидные трубы подразделяются на пирит-халькопиритовые, пирит-сфалерит-халькопиритовые и пирит-сфалеритовые, образующие непрерывный ряд, в котором возрастает количество сфалерита и галенита при сокращении относительного содержания халькопирита. В сульфидах труб часто отмечаются микровключения галенита, минералов блеклых руд, самородного золота, колорадоита, теллурувисмутита и штюцита.

В непосредственной близости от сульфидных диффузеров и гидротермальных труб в колломорфных кварц-кальцит-пиритовых рудах обнаружены скопления оруденелых биоморфоз по трубчатым червям. На склонах реконструированного сульфидного холма залегают крупнообломочные сульфидные брекчии. На выклинках они сменяются гравийно-песчаными и алевро-песчаными сульфидными турбидитами и диагенитами, переслаивающимися с сульфидсодержащими кремнистыми алевропелитами. Сульфидные брекчии состоят из фрагментов массивных кристаллически-зернистых руд, колломорфных корок, гидротермальных сульфидных труб и диффузеров и фрагментов оруденелой фауны хорошей сохранности. Акцессорные минералы в рудокластитах наследуют состав исходных гидротермальных руд, т. е. они могут быть как обогащены, так и обеднены акцессорными минералами.

Алевро-песчаные и гравийно-песчаные сульфидные турбидиты гораздо более преобразованы, чем сульфидные брекчии. Степень преобразования увеличивается в тонкообломочных слоях. Зависимость степени преобразования сульфидных турбидитов от мощности их слоев и, соответственно, гранулометрии свидетельствует в пользу доминирования придонного характера преобразований с формированием диагенитов [Сафина, Масленников, 2009].

Обломки гидротермальных сульфидов в тонкообломочных сульфидных турбидитах почти полностью растворены. Иногда после структурного травления в пирите обнаруживаются реликты колломорфного и дендритовидного строения. На начальной стадии преобразования,

которая рассматривается как диагенетическая, появляются пиритовые фрамбоиды, радиальные и массивные тонкозернистые пиритовые конкреции, псевдоморфозы халькопирита по агрегатам колломорфного пирита. Редко обнаруживается сдвойникованный аутигенный сфалерит. На следующей стадии появляются субгедральные и эвгедральные кристаллы незонального пирита, которые, как и псевдоморфозы микрозернистого халькопирита, встречаются в отложениях современных гидротермальных полей [Сафина, Масленников, 2009; Русаков и др., 2015]. Появляются новые генерации самородного золота, теллуридов и минералов группы блеклых руд. Стадия субмаринного гипергенеза сульфидных брекчий в некоторых случаях сопровождалась появлением борнита и колусита. Полное окисление обломочных сульфидов при смешении с пелитовыми илами привело к формированию гематит-кремнистых госсанитов – продуктов гальмиролиза сульфидно-гиалокластитовых смесей.

На месторождении обнаружены фрагменты гидротермальных труб, которые по геохимической зональности и типохимизму сульфидов являются близкими аналогами современных серых курильщиков, локализующихся в островодужных бассейнах Западной Пацифики. В минералогическом ряду труб по мере уменьшения количества халькопирита и увеличения объема сфалерита в сульфидах уменьшаются содержания элементов «высокотемпературной» ассоциации (Se, Bi, Te, Co), и возрастает роль элементов «низкотемпературной» ассоциации (Pb, Ni, Tl, As).

В ряду от пирит-халькопиритовых к существенно сфалеритовым гидротермальным трубам в колломорфном пирите снижаются медианные концентрации Se, Te, Bi и возрастают содержания Sb и Ag. С возрастанием количества сфалерита в сульфидных трубах в гидротермальном халькопирите уменьшаются концентрации Se, Te, Bi и Mo. Содержания Sn и Ag в халькопирите сфалеритсодержащих труб, наоборот, выше, чем в пирит-халькопиритовых разновидностях. Повышенные концентрации Co в колломорфном пирите и Se в халькопирите могут быть признаком высоких температур гидротермальных флюидов, формировавших пирит-халькопиритовые трубы курильщиков [Butler, Nesbitt, 1999]. Содержание Se в халькопирите, образовавшемся по оболочке трубы ниже, чем в халькопирите крустификации канала трубы. Снижение концентраций Bi в ряду от халькопиритовых к существенно сфалеритовым гидротермальным трубам может быть связано с уменьшением температур минералообразования из-за различных температур переноса и отложения Cu и Zn в гидротермальном растворе [Monecke et al., 2016].

По мере преобразования сульфидных турбидитов в ряду от диагенетических к метагенетическим разновидностям пирита снижаются содержания элементов-примесей «низкотемпературной» ассоциации (Mn, Tl, Pb, As, Ag) и возрастает роль элементов «высокотемпературной» ассоциации (Se, Bi, Te, Co). Напротив, в халькопирите и сфалерите на стадии диагенеза увеличивались содержания элементов-примесей по сравнению с рудокластами, а затем на стадии метагенеза содержания большинства элементов-примесей существенно снижались, особенно в динамометаморфическом халькопирите.

В кремнистых алевропелитах рудоконтролирующего вулканогенно-осадочного горизонта Юбилейного месторождения обнаружены зональные вкрапленники пирита, которые, так же как и сульфидные рудокласты, эволюционируют с последовательным образованием тонкозернистых пиритовых конкреций, их частичным замещением халькопиритом, пирротинном и сфалеритом в ассоциации с теллуридами и самородным золотом и последующим обрастанием метагенными каймами субгедрального пирита. В конкрециях выявляются, как минимум, две-три геохимические зоны, отражающие стадии минералообразования: диагенетическое ядро характеризуется высокими содержаниями как халькофильных, так и литофильных элементов, тогда как метагенетическая оболочка как

обеднена, так и спорадически обогащена элементами-примесями высокотемпературной ассоциации (Se, Bi и Te, Co и Au).

Работа выполнена при поддержке государственного задания ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН «Геохимия минералогенеза в рудообразующих системах древних и современных островоужно-океанических комплексов».

Литература

Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.

Заварицкий А.Н. О генезисе колчеданных месторождений // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1943. № 3. С. 3–18.

Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири. 2-е изд. М.: Наука, 2006. 429 с.

Масленников В.В., Зайков В.В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 224 с.

Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 317 с.

Русаков В.Ю., Рыженко Б.Н., Рощина И.А. и др. Девонские рудокластические турбидиты на примере медноколчеданного месторождения «Молодежное» (Южный Урал) // Геохимия. 2015. № 7. С. 624–650.

Сафина Н.П., Масленников В.В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: УрО РАН, 2009. 260 с.

Шадлун Т.Н. О некоторых сростаниях сульфидов, характерных для современных океанических и древних колчеданных руд // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 110–117.

Ярош П.Я. Диагенез и метаморфизм колчеданных руд на Урале. М.: Наука, 1973

Butler I.B., Nesbitt R.W. Trace element distributions in the chalcopyrite wall of black smoker chimney: insights from laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) // Earth Planetary Science Letters. 1999. Vol. 167. P. 335–345.

Monecke T., Petersen S., Hannington M.D. et al. The minor element endowment of modern sea-floor massive sulfides and comparison with deposits hosted in ancient volcanic successions // Economic Geology. 2016. Vol. 18. № 8. P. 245–306.