

ческий характер: во время затухания гидротермальной деятельности руды разрушались, переотлагались и подвергались окислению в субмаринных условиях с образованием слоистых сульфидных руд. Из-за продолжавшего функционировать рудоподводящего канала откладывались новые порции рудного вещества, а ранее отложенные руды и продукты разрушения подвергались переработке. Снос рудного материала происходил как в северном, так и в восточном и западном направлениях. На это указывает латеральное изменение размеров рудокластов, увеличение количества сульфидных песчаников и их диагенитов. Обнаружение обломков труб палеокурильщиков и пиритизированной и гематитизированной фауны на склонах и флангах сульфидной постройки свидетельствует о разрушении ядра сульфидного холма. Появление сплошных серноколчеданных руд в ядре сульфидного холма обязательно процессам автодиагенеза мощных слоев рудокластитов. Отличительной особенностью руд Ново-Шемурского месторождения являются высокие содержания Ga и присутствие Ga-содержащих минералов в гидротермальных и рудокластических фациях.

Работа выполнена при поддержке проекта Президиума УрО РАН № 18-5-5-48.

Литература

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

Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П., Третьяков Г. А., Мелекесцева И. Ю., Сафина Н. П., Белозуб Е. В., Ларж Р. Р., Данюшевский Л. В., Целуйко А. С., Гладков А. Г., Крайнев Ю. Д. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 340 с.

Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / *Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмаилов М. И. и др.* Свердловск: УНЦ АН СССР, 1988. 241 с.

Санкович П. П., Киркин Э. В., Кусков В. Н. и др. Ново-Шемурское медноколчеданное месторождение на Северном Урале. Отчет о результатах геологоразведочных работ с 1976 г. по 1986 г. с подсчетом запасов по состоянию на 1.09.86 года. Т. I. Ивдель, 1986ф. 297 с.

А. С. Целуйко^{1,2}

¹ – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

² – *Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, celyukoa@rambler.ru*

Минералого-геохимическая эволюция рудных фаций Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) (научный руководитель чл.-корр. В. В. Масленников)

Исследования последних нескольких десятков лет показали перспективность применения рудно-фациального анализа к рудам колчеданных залежей Урала [Жабин и др., 1974; Аюпова, Масленников, 2005; Зайков и др., 2001; Масленников, 2006; Целуйко и др., 2017]. Под рудной фацией понимаются промышленно значимые минеральные скопления со сходными текстурно-структурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования

[Масленников, Зайков, 2006]. Цель исследования – выявление минеральных ассоциаций и геохимических особенностей рудных фаций Второй залежи Юбилейного медноколчеданного месторождения. Метод рудно-фациального анализа применен во время полевых работ при картировании карьера Юбилейного месторождения. Оптические исследования руд проводились на микроскопе Olympus BX51. Диагностика редких минералов проведена на электронном микроскопе Tescan Vega 3 sbu с энергодисперсионным анализатором (аналитик И. А. Блинов) и рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA 733 (аналитик Ю. Д. Крайнев). Содержания элементов-примесей определены методом ЛА ИСП МС в Университете Тасмании (г. Хобарт, Австралия).

Юбилейное медноколчеданное месторождение находится в пределах Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги и залегает в породах баймак-бурибайской свиты, соответствующей раннедевонскому начальному циклу островодужного вулканизма [Медноколчеданные..., 1988; Косарев и др., 2014]. На месторождении установлено шесть рудных залежей. Нами изучена Вторая залежь, в рудах которой присутствуют придонная гидротермальная, донная гидротермальная, биогенная, кластогенная и субмаринная гипергенная рудные фации.

Колломорфный и тонкозернистый пирит-1 формируется в оболочках труб палеокурильщиков, диффузерах, придонных гидротермальных корках и в биоморфных рудах. Колломорфный пирит-1 образует почковидные, гроздьевидные, ламинарные, дендритовидные и массивные агрегаты, часто перекристаллизованные до тонко- и мелкозернистых. Обломки частично замещенных псевдоморфным халькопиритом агрегатов пирита-1 встречаются в сульфидных брекчиях, гравелитах, мелкообломочных турбидитах. С фрагментами халькопиритизированных агрегатов пирита-1 связаны включения галенита, блеклых руд, самородного золота, теллурувисмутита и колорадоита. Содержания Co, Se, Te, Bi и Au в колломорфном и тонкозернистом пирите-1 уменьшаются в ряду от пирит-халькопиритовых палеокурильщиков к сфалерит-пирит-халькопиритовым и халькопирит-пирит-сфалеритовым трубам при возрастании концентраций V, Mn, As, Sb, Ag, Ba и Pb. Для колломорфного пирита-1 характерны значительные вариации содержаний Te (2.4–408 г/т), Bi (0.01–103 г/т), Co (0.8–359 г/т) и других элементов-примесей. Колломорфный пирит-1 биоморфных руд характеризуется низкими концентрациями большинства элементов-примесей, за исключением Ni (10.5–21.7 г/т) и As (182.8–615 г/т).

Фрамбоидальный пирит-1 в виде сегрегаций и отдельных фрамбоидов встречается в составе оболочек труб палеокурильщиков, биоморфных рудах, цементе сульфидных брекчий и мелкообломочных турбидитов.

Пирит-2 образует суб- и эвгдральные грубозональные кристаллы. Их ядра часто содержат реликты почковидного и дендритовидного строения, а также фрамбоиды. В пирите-2 распространены тончайшие эмульсионные включения и пластинки сфалерита и халькопирита. Агрегаты пирита-2 совместно с колломорфным пиритом-1 формируют оболочку и инкрустируют осевой канал труб палеокурильщиков.

Пирит-3 образует незональные эвгдральные кристаллы, очень часто обрастает зерна пирита-2 в донных гидротермальных и кластогенных фациях. В рудах Второй залежи распространены комбинированные агрегаты *пирита-2,3*. Зерна пирита-2,3 замещаются халькопиритом, с прожилками которого связаны включения самородного золота, теллуридов, галенита и блеклых руд. В ряду от пирит-халькопиритовых до халькопирит-пирит-сфалеритовых палеокурильщиков в зернистом

пирите-2,3 убывают содержания Co, Se, Mo, Te, Bi и возрастают Mn, As, Ag и Sb. Сильные вариации содержаний Te (1.5–518 г/т), Ag (1.1–360 г/т), Au (0.1–68.7 г/т) и Bi (0.3–169.7 г/т) связаны с включениями самородного золота и теллуридов, в то время как Co (0.1–633.4 г/т), Ni (0.6–52.7 г/т), Se (0.7–531.5 г/т) и некоторые другие элементы входят в пирит в изоморфной форме. Пирит-2,3 биоморфных руд обладает низкими содержаниями большинства элементов-примесей. Пирит-халькопиритовые и сфалерит-халькопирит-пиритовые турбидиты наиболее обогащены Ni, Mo, Ag, Sb, Te, Au, Pb и Bi. Пирит-2,3 турбидитов обогащен Co, Ni, Te и Bi по сравнению с пиритом-2,3 труб палеокурильщиков. Пирит-2,3 сульфидных диагенитов и массивных руд характеризуется низкими и умеренными содержаниями большинства элементов-примесей.

Пирит-4 формирует зональные конкреции и метакристаллы размером до 5–7 мм в кремнистых алевропелитах и госсанитах. Микрoзернистый пирит-4-Д с многочисленными включениями кварца, хлорита, плагиоклаза и гидрослюд слагает ядро конкреций и метакристаллов. Периферия конкреций и метакристаллов состоит из субгедрального пирита-4-М без включений нерудных минералов, но с прожилками и вкрапленностью халькопирита, пирротина, сфалерита, галенита, самородного золота, петцита, гессита, теллурувисмутита, колорадоита и алтаита. Пирит-4 является носителем большинства сидерофильных (Si, Mg, Ti, V, Co, Ni, Mn) и халькофильных (Cu, Te, Bi, Pb, Au, Ag) элементов.

Тонкозернистый пирит-5 обрастает метакристаллы пирита-4, а также образует тонкие прожилки в гематит-кварц-карбонатной матрице госсанитов.

Гидротермальный халькопирит-1 слагает внутреннюю стенку и заполняет осевой канал труб палеокурильщиков. Для него характерны крупнозернистые агрегаты, сложенные угловатыми, удлиненными и копьевидными друзовыми кристаллами. В оболочке труб палеокурильщиков, пиритовых гидротермальных корках, диффузерах, биоморфных рудах и их обломках развиты прожилки среднезернистого халькопирита-1, которые цементируют агрегаты крупно- и среднезернистого пирита. Гидротермальный крупнозернистый халькопирит-1 содержит включения эвгедрального пирита-2, сфалерита, блеклых руд, а также мелкую вкрапленность галенита, гессита, колорадоита, теллурувисмутита и самородного золота. Халькопирит-1 также образует обломки в сульфидных брекчиях и мелкообломочных сульфидных турбидитах. Содержания Co, Se, Mo, Sn, Sb и Bi в халькопирите-1 снижаются в ряду от пирит-халькопиритовых к сфалерит-пирит-халькопиритовым и халькопирит-пирит-сфалеритовым трубам палеокурильщиков. Для халькопирита биоморфных руд характерны минимальные содержания элементов-примесей за исключением Mn, As, Sn. Прожилковый халькопирит массивных руд близок по содержаниям элементов-примесей к халькопириту сфалерит-пирит-халькопиритовых палеокурильщиков, но отличается повышенными концентрациями Mo, V, Mn.

Псевдоморфный мелко- и тонкозернистый халькопирит-2 замещает коллоидный и тонкозернистый пирит-1 и зернистый пирит-2,3 в сульфидных брекчиях и турбидитах. Прожилки халькопирита-2 развиты в мелкообломочных сульфидных турбидитах, где они цементируют зерна и агрегаты пирита-2,3. С халькопиритом и сфалеритом ассоциируют многочисленные микровключения самородного золота, гессита, колорадоита, теллурувисмутита, раклиджита, петцита и других теллуридов. Псевдоморфный халькопирит-2 мелкообломочных турбидитов характеризуется высокими и умеренными содержаниями Te, Bi, Co, Ag, Au, As и Se, наследуемыми от замещаемого пирита. По сравнению с халькопиритом-1, халькопирит-2 обогащен

практически всеми элементами-примесями, а по содержанию Co и Se соответствует таковому из пирит-халькопиритовых труб.

Халькопирит-3 формирует мелкие прожилки и вкрапленность в конкрециях и метакристаллах пирита-4 в ассоциации с пирротином, сфалеритом, галенитом, петцитом, гесситом, теллурависмутитом, колорадоитом и алтаитом.

Крупнозернистый халькопирит-4 формирует тонкие (от долей до 1–2 мм) прожилки, развитые по субсогласным трещинам кливажа в сульфидных слоях мелкообломочных турбидитов, как правило, не содержит включений аксессуарных минералов и обеднен элементами-примесями.

Сфалерит-1 формирует крупнозернистые почковидные, дендритовидные и друзовые агрегаты в осевых каналах и оболочке труб палеокурильщиков. В сульфидных брекчиях и гравелитах встречаются обломки сфалерит-халькопиритовых почек. Для зерен сфалерита-1 характерна эмульсионная вкрапленность халькопирита и блеклых руд. Сфалерит-1 содержит включения халькопирита, пирита, галенита, блеклых руд, электрума, самородного золота и теллуридов. Друзовый и почковидный сфалерит-1 сфалерит-пирит-халькопиритовых труб палеокурильщиков характеризуется низкими концентрациями Co (0.001–0.05 г/т), Ni (0.01–0.5 г/т) и высокими содержаниями As (11.5–1405 г/т), Pb (49.8–11376 г/т), Ag (41–1409 г/т) и Au (0.07–1069 г/т). Сфалерит-1 халькопирит-пирит-сфалеритовых труб палеокурильщиков характеризуется значительными вариациями концентраций Ag (3–828.7 г/т) и Pb (0.03–1195), но при этом низкими содержаниями остальных элементов-примесей.

Сфалерит-2 образует линзовидные прослои, сгустки и обособления в мелкообломочных сфалерит-халькопирит-пиритовых турбидитах, диагенитах и госсанитах. Он сложен мелко- и среднезернистыми агрегатами полисинтетических двойников с редкой эмульсионной вкрапленностью халькопирита. Мелкие прожилки и вкрапленность сфалерита-2 в пирите-2,3 ассоциируют с халькопиритом, галенитом, теллуридами и самородным золотом. Сфалерит-2 мелкообломочных сфалерит-халькопирит-пиритовых турбидитов отличается от гидротермального сфалерита повышенными содержаниями Co (0.3–351 г/т), Ni (0.1–32.3 г/т), Te (1.3–97.2 г/т) и Bi (5.2–205 г/т) и пониженными содержаниями Au (0.2–3.0 г/т), Ag (6.6–64.0 г/т), Pb (45.1–555 г/т). Сфалерит-2 сульфидных диагенитов характеризуется низкими содержаниями элементов-примесей, за исключением Mn и Ag.

Сфалерит-3 образует мелкие прожилки в конкрециях и метакристаллах пирита-4 в ассоциации с пирротином, халькопиритом, галенитом и теллуридами.

Изученные донные гидротермальные, кластогенные и гипергенные фации представляют собой продукты естественного ряда разрушения сульфидного холма в субмаринных условиях. Минеральный состав и содержания элементов-примесей в сульфидах обломочных руд Юбилейного месторождения, сложенных фрагментами массивных руд, труб палеокурильщиков, диффузеров, гидротермальных корок, оруденелой фауны, существенно отличаются. Сульфиды донных гидротермальных и кластогенных фаций характеризуются значительным минеральным разнообразием и в большей мере обогащены элементами-примесями по сравнению с массивными колчеданными рудами. Гальмиролиз и диагенез сульфидных осадков обусловил растворение колломорфного и тонкозернистого пирита-1 и широкое развитие псевдоморфного халькопирита-2 в сульфидных рудокластитах. Процессами позднего диагенеза, катагенеза и, вероятно, метагенеза обусловлено появление прожилков халькопирита и конкреций пирита-4, содержащих теллуриды.

Автор благодарит В. В. Масленникова, Н. Р. Аюпову и С. П. Масленникову за консультации и всестороннюю помощь в ходе исследований. Работа поддержана проектом Президиума РАН № 18-5-5-48.

Литература

- Аюпова Н. Р., Масленников В. В.* Гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. 199 с.
- Жабин А. Г., Шарфман В. С., Самсонова Н. С.* Реконструкция обстановки девонского вулканогенно-осадочного сульфидоотложения // Геология рудных месторождений. 1974. Т. 13. № 2. С. 60–75.
- Зайков В. В., Масленников В. В., Зайкова Е. В., Херрингтон Р.* Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.
- Косарев А. М., Серавкин И. Б., Холоднов В. В.* Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности магнитогорской колчеданосной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. 2014. № 2. С. 3–25.
- Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В., Зайков В. В.* Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 224 с.
- Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / Прокин В. А., Булаев Ф. П., Исмагилов М. И. и др.* Свердловск: УрО РАН, 1988. 241 с.
- Целуйко А. С., Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П.* Минеральные и текстурно-структурные особенности рудных фаций Юбилейного медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 50–56.

Т. В. Серавина

*Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва
tanyaseravina@gmail.com*

Положение колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири в вулканогенном разрезе (на примере Рудноалтайской, Салаирской, Кызыл-Таштыгской и Приаргунской минерагенических зон)

Генезис месторождений является важнейшим вопросом при прогнозных исследованиях: от него зависит применение того или иного комплекса предпосылок и признаков, а также направление поисковых работ. Поисковые критерии и признаки колчеданно-полиметаллических месторождений вытекают из геологических обстановок их нахождения. Рудные объекты в своем размещении подчиняются формационному, стратиграфическому, литолого-фациальному и структурному контролю. Кроме того, они сопровождаются околорудными метасоматитами, геохимическими и геофизическими аномалиями [Кузнецов и др., 2014].

Важнейшим фактором образования крупных запасов колчеданных руд является связь с контрастными или последовательно дифференцированными вулканогенными