

УДК 549:553.435

КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИЕ МИНЕРАЛЫ В РУДАХ МЕДНОРУДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛАХИТА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

В.И. Попова, В.А. Котляров, В.А. Попов

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; popov@mineralogy.ru

CO-BEARING MINERALS IN ORES FROM THE MEDNORUDYANSKOE MALACHITE DEPOSIT (CENTRAL URALS)

V.I. Popova, V.A. Kotlyarov, V.A. Popov

Institute of Mineralogy, Ural Branch of RAS

Охарактеризованы кобальтин и кобальтсодержащие пирит, халькопирит и вад в рудах Меднорудянского месторождения. Учтённые запасы кобальта (около 3 тыс т) были сконцентрированы в основном в минералах гипогенных руд – в пирите и халькопирите, содержащих примеси Со и сингенетичные вросстки кобальтина CoAsS . Кристаллы пирита зональны по содержанию Со: в центральной части около 0.4 мас. % Со, а в тонкой периферической зоне 3.8–9.2 мас. %. Халькопирит содержит 0.2–0.3 мас. % Со. Зональные микропочки вада содержат 5.15–10.88 мас. % CoO . Источником кобальта в вадах и малых примесей кобальта в некоторых гипергенных минералах являются растворы, обогащённые Со при окислении кобальтсодержащего пирита и халькопирита первичных руд месторождения.

Илл. 3. Библ. 10.

Ключевые слова: кобальтин, пирит кобальтсодержащий, халькопирит, вад, Меднорудянское месторождение малахита, Средний Урал.

Cobaltite, Co-bearing pyrite, chalcopyrite and wad in ores from the Mednorudyanskoe deposit are characterized. Reserves of cobalt (about 3 000 t) were mainly concentrated in the Co-bearing hypogene minerals: pyrite and chalcopyrite with syngenetic intergrowths of cobaltite. Pyrite crystals are zonal by Co contents: up to 0.4 and 3.8–9.2 wt. % in the centre and periphery, respectively. Chalcopyrite contains 0.2–0.3 wt. % Co. Zonal micronodules of wad contains 5.15–10.88 wt. % CoO . Co-bearing pyrite and chalcopyrite from hypogene ores of the deposit are the source of Co for supergene minerals.

Figures 3. References 10.

Key words: cobaltite, Co-bearing pyrite, chalcopyrite, wad, Mednorudyanskoe malachite deposit, Central Urals.

Введение

Меднорудянское месторождение, расположенное на Среднем Урале, на южном склоне горы Высокой в Нижнем Тагиле, структурно является продолжением Восточной (Верхней) зоны Высокогорского месторождения кобальтомедистых железных руд (Овчинников, 1998; и др.). Меднорудянское месторождение уже закрыто, а Высокогорское ещё

отрабатывается шахтным способом. В рудах Высокогорского месторождения отмечались сульфид кобальта – линнеит CoCo_2S_4 (без анализа состава, по оптическим характеристикам), а также примеси Со в некоторых минералах (мас. %): в пирите 0.1–0.8, редко 1.5–2; в магнетите в среднем 0.015 (Карасик, 1957). В «рабдионите» (ваде) Меднорудянского месторождения указывалось 5.1 мас. % CoO (Планер, 1876), т.е. ~ 4 мас. % Со, а в сульфидно-магнетито-

вом рудном концентрате – до 0.172 мас. % Co (Бабак, 1957). Учётные запасы кобальта в рудах на конец XX века составили: в Высокогорском месторождении – 6432.3 т, в Меднорудянском – 3059.6 т (Овчинников, 1998; в его книге ошибочно указано в тыс. т. – В. П.).

В процессе наших работ был получен ряд новых данных о кобальтсодержащих минералах Меднорудянского месторождения. После исследования образцов в отражённом свете и в обратно-рассеянных электронах (BSE) состав минералов анализирован на электронных микроскопах-микроанализаторах РЭММА-202М и SEM VEGA3 TESCAN (аналитики В.А. Котляров и И.А. Блинов, соответственно).

Результаты исследований

В Меднорудянском месторождении при среднем содержании в руде магнетита 30–35 % общее количество сульфидов составляло около 12 % (в основном, пирита и халькопирита – почти в равном количестве), прочие сульфиды – сфалерит, галенит, пирротин, марказит – менее проявлены (Карасик, 1957).

Пирит FeS_2 в составе первичных сульфидно-магнетитовых руд был распространён в «северных колчеданах» месторождения (Трушков, 1905; Еремеев, 1883) в агрегатах с халькопиритом, сфалеритом, магнетитом, кальцитом, эпидотом и прочими

минералами. В разных минеральных ассоциациях кристаллики пирита величиной 0.1–1.5 см частично огранены кубом с тонкой комбинационной штриховкой с пентагондодекаэдром, а также комбинациями пентагондодекаэдра с кубом и октаэдром. При электронно-микроскопических исследованиях халькопирит-пирит-магнетитового агрегата из участков обогащённой кобальтом руды нами в пирите выявлена периферическая кобальтсодержащая зона толщиной до 4–5 мкм, составляющая примерно десятую часть зерна пирита (рис. 1). В центральных участках кристаллов пирита нередко примесь Co до 0.4 мас. %. В составе периферической зоны разных кристалликов пирита определено 3.8–9.2 мас. % Co (РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров). В пирите встречаются вроски халькопирита, сфалерита и, реже, кобальтина, золота и теллуридов Ag, Pd и Bi (Попова и др., 2015). В зоне окисления по пириту образовались полные или частичные псевдоморфозы лимонита (Еремеев, 1894).

Халькопирит CuFeS_2 – главный минерал первичных медных и медисто-железных руд – образует агрегаты с пиритом, сфалеритом, магнетитом, хлоритом, эпидотом, кальцитом, кобальтином, золотом и другими минералами. По данным электронно-зондового микроанализа, в халькопирите определена примесь Co до 0.2–0.3 мас. % (РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров), а также вроски пирита и сфалерита. В зоне окисления халькопирит пересечён полизональными агрегатами гётита с купритом, медью, теноритом, халькозином и ковеллином, с преобладанием метасоматических зон.

Кобальтин CoAsS в рудах месторождений горы Высокой ранее не отмечался и нами вначале был принят за глаукодот. Кобальтин образует мелкие розовато-белые включения величиной 1–7 мкм в халькопирите (рис. 2), практически изотропные

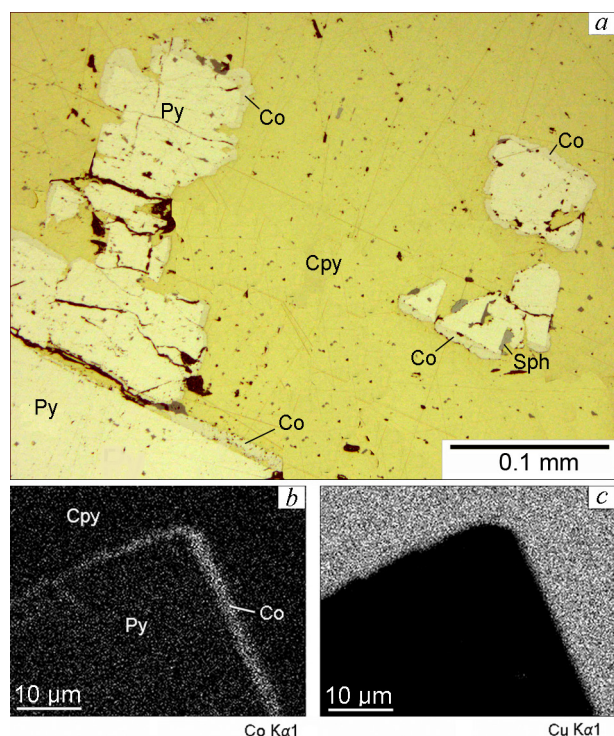


Рис. 1. Кристаллы пирита (Py) с периферической Co-содержащей зоной (Co) в сростании с халькопиритом (Cpy).

a – аншлиф, без анализатора; b – изображение в характеристическом излучении $\text{CoK}\alpha_1$ (b) и $\text{CuK}\alpha_1$ (c). Фото: В.А. Попов (a), В.А. Котляров (b–c).

Fig. 1. Pyrite crystals (Py) with high-Co margins (Co) in chalcopyrite (Cpy).

a – reflectef light; b – $\text{CoK}\alpha_1$ (b) and $\text{CuK}\alpha_1$ (c) images.

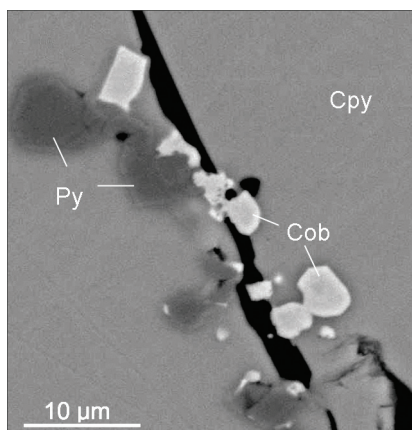


Рис. 2. Вростки кобальтина (Cob) в пирите (Py) и халькопирите (Cpy). Чёрное – силикаты. BSE-фото: И.А. Блинов.

Fig. 2. Inclusions of cobaltite (Cob) in pyrite (Py) and chalcopyrite (Cpy). Black – silicates. BSE-image I.A. Blinov.

в отражённом свете. Мельчайшие зёрна кобальтина есть и во внешней зоне пирита. В центральных участках разных по величине кристалликов кобальтина выявлены небольшие вариации состава (РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров). Один из 3-х близких анализов с составом, мас. %: Co 32.05; As 35.53; S 25.07; Fe 5.88; Cu 1.47; сумма 100.0, – даёт эмпирическую формулу $\text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.16}\text{Cu}_{0.03}\text{As}_{0.74}\text{S}_{1.22}$ (при расчёте на 3 единицы). Недостаток Co и As при некотором избытке S, Fe и Cu обусловлены малым размером зёрен кобальтина среди «подложки» халькопирита с вростками пирита. Периферическая зона кристаллов кобальтина, возможно, более «чистая» – с более высокими содержаниями Co и As и меньшими – Fe и Cu (более светлая в BSE), но очень тонкая (менее 1 мкм), что не позволило её проанализировать.

Кобальтсодержащий вад («асболоан») и **кобальтисто-медистый вад** («купроасболоан») представляют собой смеси разных водных оксидов и гидроксидов Mn, Co, Cu Fe (Дэна и др., 1951). Возможно, что исследовавшийся ранее землистый «рабдионит» в виде мягких чёрных сталактитов из окисленных руд Меднорудянка с составом, мас. %: Fe_2O_3 45.0; Al_2O_3 1.4; Mn_2O_3 13.1; MnO 7.61; CuO 14.0; CoO 5.1; H_2O 13.5 (Планер, 1876) – представлял собой так называемый *железный вад*. Ю.С. Соловьёв (1953) указывал некоторое сходство этих данных и свойств с «асболоаном», но в рудах им не был встречен. Примесь кобальта в чёрных меднорудянских «асболоанах» отмечалась и ранее (Заварицкий, 1929). В исследованных нами

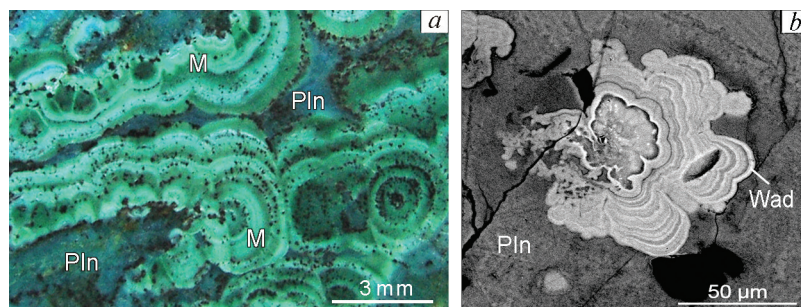


Рис. 3. Морфология вада (Wad) в рудах месторождения:
а – мелкие почки (чёрные) в зонах роста почковидного малахита (M) и в планшеите (Pln) (полированный образец; фото: В.А. Попов);
б – почковидный зональный вад в планшеите (BSE-фото: И.А. Блинов).

Fig. 3. Morphology of wad in ores from the deposit:
а – small nodules (black) in growth zones of nodular malachite (M) and plancheite (Pln) (polished section); image: V.A. Popov;
б – nodular wad in plancheite (BSE-image: B.A. Blinov).

образцах предполагаемые кобальтсодержащие вады образуют мягкие чёрные включения в зонах роста почек зелёного малахита и в тёмно-голубом планшеите $\text{Cu}_8\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 3). В составе зональных микропочек вада среди планшеита определены вариации содержаний, мас. %: SiO_2 13.71–16.88; MnO 16.08–20.77; CoO 6.74–10.88; CuO 28.57–31.83; FeO 0–2.52; CaO 0.69–1.52; ZnO 0–0.56; SO_3 0–0.69; Cl 0–0.16; сумма 71.60–77.16 (по 11-ти анализам; РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров; вода и CO_2 не определялись). Никель в этих вадах («асболоанах» или «купроасболоанах») не обнаружен. Можно предполагать, что при анализе плоских микропочек вада (очень тонких) на результаты анализа существенно повлияла «подсветка» планшеита (доля его ~ 40 % в суммарных анализах).

Выводы

Учтённые запасы кобальта в рудах Меднорудянского месторождения (около 3 тыс т) были сконцентрированы в основном в минералах первичных (гипогенных) руд – в пирите и халькопирите, содержащих как примеси Co, так и сингенетичные вростки кристаллов кобальтина.

Кобальт в вадах («асболоанах») и малые примеси кобальта в некоторых гипергенных минералах был извлечён в основном при окислении кобальтсодержащего пирита и халькопирита первичных руд месторождения.

Авторы благодарны И.А. Блинову за BSE-фото.

Исследования проведены по Программе УрО РАН № 15-11-5-23 «Разработка минералого-геохимических критериев увеличения эффективности эксплуатации сульфидсодержащих месторождений (на примере Урала)».

Литература

Бабак В.К. Обогащение сульфидно-магнетитовых руд в целях комплексного их использования / Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района. Свердловск: УФАН СССР, 1957. С. 123–139.

Дэна Дж.Д., Дэна Э.С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Т. 1. 2-й полутом. Оксиды и гидроксиды. Перевод с англ. М.: ИЛ, 1951. 419 с.

Еремеев П.В. О псевдоморфозах из Меднорудянского рудника на Урале // Зап. СПб Минералогического об-ва. 1883. Ч. 18. Протоколы заседаний. С. 265–266.

Еремеев П.В. О псевдоморфозах некоторых окисленных и сернистых медных руд из русских месторождений // Зап. Минералогического об-ва. 1894. Ч. 31. С. 398–400.

Карасик М.А. Промышленные типы контактово-метасоматических магнетитовых месторождений в Тагило-Кушвинском районе и особенности распределения элементов-примесей в рудах этих месторождений / Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района. Свердловск: УФАН СССР, 1957. С. 64–98.

Овчинников Л.Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформмарк, 1998. 413 с.

Планер Д.И. О вновь открытых и вновь исследованных минералах // Горный журнал. 1876. № 6. С. 349–400.

Попова В.И., Блинов И.А., Котляров В.А. Редкометалльные и редкоземельные минералы в рудах Меднорудянского месторождения (Средний Урал) // Уральский геологический журнал. 2015. № 5 (107). С. 67–70.

Соловьёв Ю.С. К минералогии зоны окисления Меднорудянского месторождения // Труды Горногеолог. ин-та УФАН СССР, вып. 20. Минералогический сборник № 2. М.: АН СССР. 1953. С. 87–106.

Трушков Н.И. Краткий очерк месторождения Рудянского рудника в Н. Тагиле // Горный журнал. 1905. Т. 1. № 3. С. 359–393.

Поступила в редакцию 12 февраля 2016 г.