

Палей И. П. Концентрация самородного селена в зоне окисления колчеданного месторождения // Геохимия. 1957. № 7. С. 640–641.

Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 332 с.

Трофимов О. В., Зайков В. В., Сергеев Н. Б., Масленникова С. П. Зона окисления Гайско-го медноколчеданного месторождения Миасс: ИМин УрО РАН, 1992. 63 с.

Belogub E. V., Novoselov K. A., Spiro B., Yakovleva B. Mineralogical and sulphur isotopic features of the supergene profile of Zapadno-Ozernoye massive sulphide and gold-bearing gossan deposit, South Urals // Mineralogical Magazine. 2003. Vol. 67. P. 339–354.

Belogub E. V., Novoselov K. A., Yakovleva V. A., Spiro B. Supergene sulphides and related minerals in the supergene profiles of VHMS deposits from the South Urals // Ore Geology Reviews. 2008. Vol. 33. Is. 3–4. P. 239–254.

Puchkov V. N. General regularities of localization of mineral deposits in the Urals: what, where, when and why // Ore Geology Reviews. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.005>.

А. С. Целуйко^{1,2}

¹ – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе

² – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
celyukoa@rambler.ru

**Минералы золота и серебра в рудных фациях
Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал)**
(научный руководитель проф. В. В. Масленников)

Золото и серебро в рудах колчеданных месторождений могут находиться в виде микровключений собственных минералов (самородное золото и теллуриды) и «невидимого» тонкодисперсного золота [Викентьев, 2004; Молошаг и др., 2004]. В рудах Юбилейного месторождения предшественниками установлены содержания благородных элементов в различных промышленных типах руд, а также обнаружены включения самородного золота без четкой привязки к парагенетическим минеральным ассоциациям [Воробьев и др., 1973ф; Викентьев и др., 2011]. Применяемая в данной работе рудно-фациальная классификация дает наиболее полную характеристику колчеданных руд, так как несет в себе информацию не только о текстурно-структурных признаках, минеральном и химическом составе, но и о генетической принадлежности руд [Масленников, Зайков, 2006]. Целью исследования является выявление закономерностей распределения минералов золота и серебра, а также определение вариаций их состава в различных рудных фациях второго рудного тела Юбилейного месторождения на Южном Урале.

Во время полевых работ при картировании карьера Юбилейного месторождения применялся метод рудно-фациального анализа. Под рудной фацией понимаются промышленно значимые минеральные скопления со сходными текстурно-структурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования [Масленников, Зайков, 2006]. Оптические исследования руд проводились на микроскопе Olympus BX51. Химический состав минералов опре-

делялся с помощью электронного микроскопа TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик И. А. Блинов) и рентгеноспектрального микроанализатора JEOL JXA 733 (аналитик Ю. Д. Крайнев). Исследования проводились на базе Южно-Уральского центра коллективного пользования в Институте минералогии УрО РАН.

Юбилейное медноколчеданное месторождение находится в пределах Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги и залегает в породах баймак-бурибайской свиты, соответствующей раннедевонскому начальному циклу островодужного вулканизма [Косарев и др., 2014]. Нами изучены руды второго рудного тела, которые залегают на базальтах и перекрываются гиалокластитамы основного и кислого составов, а также кислыми вулканитами. В рудах установлены рудные фации, характерные для колчеданных месторождений Урала: придонная гидротермальная, донная гидротермальная, биогеенная, кластогенная и субмаринная гипергенная.

Донные гидротермальные фации формировались в устьях гидротермальных источников и представлены пирит-халькопиритовыми, сфалерит-пирит-халькопиритовыми и халькопирит-пирит-сфалеритовыми трубами палеокурильщиков, а также диффузерами. Трубы палеокурильщиков размером 3–10 см имеют в срезе округлую или эллипсоидную форму с внутренней стенкой, выполненной друзовым халькопиритом или сфалеритом и внешней оболочкой, состоящей из халькопирита, пирита и сфалерита. Осевой канал в центре трубы заполнен кальцитом, кварцем, сульфидами или тальком.

Самородное золото в трубах палеокурильщиков обнаруживается в колломорфном пирите оболочки, друзовом халькопирите внутренней стенки и сфалерите осевого канала труб. В колломорфном и тонкозернистом пирите палеокурильщиков золото имеет изометричную морфологию, иногда с кристаллографическими очертаниями, размер 5–30 мкм. Содержания серебра в золоте варьируют от 17.2 до 21.1 мас. % (табл.). Зерна золота часто содержат включения тонкозернистого пирита и ассоциируют с псевдоморфным халькопиритом, замещающим пирит. Зерна золота, обнаруженные в халькопиритовой стенке труб, характеризуются прожилковидной, удлиненной и округлой формой выделений (5–15 мкм) в сростках с галенитом, пиритом, блеклыми рудами и кальцитом. Содержание Ag составляет 14.7–17.8 мас. % (см. табл.). Многочисленные включения золота (5–30 мкм) в сростках с галенитом, блеклыми рудами и пиритом в друзовом и почковидном сфалерите осевого канала характеризуются удлиненной, прожилковидной, реже округлой и сглаженно-угловатой формами и содержат 16.4–25.9 мас. % Ag (см. табл.).

В друзовом сфалерите осевого канала сфалерит-пирит-халькопиритовых и халькопирит-пирит-сфалеритовых палеокурильщиков с тальком выявлены включения электрума удлиненно-изогнутой, прожилковидной и округлой форм размером 5–30 мкм в ассоциации с галенитом, блеклыми рудами. Электрум содержит 34.8–46.1 мас. % Ag и 2.1–5.34 мас. % Hg (см. табл.).

Кластогенные сульфидные фации представлены элювиальными и коллювиальными крупнообломочными брекчиями, гравийно-песчаными и мелкообломочными турбидитами различного минерального состава.

В мелкообломочных сульфидных турбидитах и гравелитах зерна самородного золота удлиненной, округлой и изометричной форм размером 5–20 мкм образуют включения в пирите, псевдоморфном халькопирите и сфалерите и часто ассоциируют

Т а б л и ц а

**Химический состав (мас. %) золота в рудных фациях второй залежи
Юбилейного месторождения**

Минеральная ассоциация	n	Au	Ag	Hg	Кристаллохимическая формула
Донная гидротермальная фация					
Колломорфный и тонкозернистый пирит оболочки труб	3	<u>77.9–82.8</u> 81.1(2.8)	<u>17.2–21.1</u> 18.6(2.2)	–	Au _{0.67–0.72} Ag _{0.28–0.33}
Друзовый халькопирит стенки труб	2	<u>82.2–5.3</u> 83.8(2.2)	<u>14.7–17.8</u> 16.2(2.2)	–	Au _{0.72–0.76} Ag _{0.24–0.28}
Друзовый и почковидный сфалерит осевого канала	8	<u>73.1–78.7</u> 76.3(3.2)	<u>21.1–25.9</u> 23.2(2.83)	–	Au _{0.61–0.67} Ag _{0.33–0.39}
Друзовый и почковидный сфалерит осевого канала талькосодеждающих труб	6	<u>48–62.5</u> 55.4(5.2)	<u>34.8–46.1</u> 41.0(4.0)	<u>2.1–5.3</u> 3.2(1.3)	Au _{0.35–0.49} Ag _{0.49–0.61} Hg _{0.02–0.04}
Кластогенная фация					
Сульфидные брекчии и гравелиты	4	<u>82.0–86.0</u> 83.9(1.7)	<u>14.0–18.1</u> 16.1(1.7)	–	Au _{0.71–0.77} Ag _{0.23–0.29}
Пирит-халькопиритовые турбидиты	33	<u>78.6–88.7</u> 81.9(2.3)	<u>10.9–21.4</u> 18.0(2.4)	<u>0.0–1.7</u> 0.0(0.3)	Au _{0.87–0.93} Ag _{0.06–0.13} Hg _{0.00–0.01}
Хлорит-кварцевые прослои пирит-халькопиритовых турбидитов	2	<u>85.2–87.1</u> 86.1(1.3)	<u>11.7–13.0</u> 12.4(0.8)	<u>1.0–1.8</u> 1.4(0.5)	Au _{0.77–0.80} Ag _{0.20–0.21} Hg _{0.01–0.02}
Сфалерит-халькопирит-пиритовые турбидиты	4	<u>71.0–74.0</u> 72.2(1.3)	<u>26.0–28.6</u> 27.1(1.3)	<u>0–3.0</u> 0.7(1.5)	Au _{0.56–0.61} Ag _{0.39–0.41} Hg _{0.00–0.02}
Пирит сульфидно-кремнистых диагенитов	4	<u>85.0–90.5</u> 88.2(2.6)	<u>9.5–15.0</u> 11.6(2.5)	–	Au _{0.76–0.84} Ag _{0.16–0.24}
Субмаринная гипергенная фация					
Гематит-кварц-карбонатные госсаниты	6	<u>43.5–63.0</u> 54.1(8.2)	<u>37.0–56.5</u> 45.9(8.2)	–	Au _{0.30–0.48} Ag _{0.52–0.70}
Борнитсодержащие руды	1	69.7	29.4	–	Au _{0.56} Ag _{0.44}

Примечание. В числителе указаны пределы содержаний химических элементов (мас. %), в знаменателе – средние арифметические и стандартные отклонения (в скобках) содержаний; n – количество анализов.

с колорадоитом, гесситом, теллурувисмутитом и другими теллуридами. Зерна золота в пирите мелкообломочных пирит-халькопиритовых турбидитов содержат 10.9–21.4 мас. % Ag и 1.7 мас. % Hg, в халькопирите хлорит-кварцевых прослоев – 11.9–13.0 мас. % Ag и 1.0–1.8 мас. % Hg (см. табл.). Сходный состав золотин характерен для сульфидных брекчий и гравелитов: содержания Ag варьируют от 14.0 до 18.1 мас. % и отсутствует примесь Hg (см. табл.). Зерна золота из сфалерит-халькопирит-пиритовых песчаников отличаются повышенными содержаниями Ag (26.0–28.9 мас. %) и Hg (до 3 мас. %) (см. табл.).

С мелкообломочными сульфидными турбидитами часто переслаиваются сульфидно-кремнистые и сульфидно-кварц-хлоритовые отложения с рассеянной пиритовой вкрапленностью. Подобные тонкообломочные сульфидные слои, почти полностью утратившие свой первоначальный обломочный облик в результате диагенеза, предложено называть «сульфидные диагены» [Масленников, 2006]. Самородное золото в сульфидно-кремнистых диагенитах образует сростки округлой и удлиненной формы размером до 10 мкм в пирите в ассоциации с петцитом, гесситом и алтаитом. Для золота характерны относительно низкие содержания Ag 9.5–15 мас. % (см. табл.).

Субмаринные гипергенные фации включают фации выщелачивания, вторичного сульфидного обогащения и продукты полного или частичного субмаринного окисления – госсаниты [Масленников, 2006]. Госсаниты второго рудного тела месторождения представлены красными гематит-кварц-карбонатными породами с наложенной и реликтовой сульфидной минерализацией. К фациям вторичного сульфидного обогащения можно отнести сфалерит-борнит-халькопирит-пиритовые руды, вероятно, развитые по сульфидным брекчиям кровли рудной залежи. В выявленных субмаринных гипергенных фациях установлен электрум (Ag 29.4–56.5 мас. %) в ассоциации с гесситом, медистым кервеллеитом, алтаитом, петцитом и колорадоитом.

Таким образом, самородное золото из рудных фаций второй залежи Юбилейного месторождения отличается широким разбросом содержаний Ag (9.5–28.9 мас. %) и присутствием примеси Hg. Содержания Ag в самородном золоте палеокуруильщиков варьируют в различных минеральных ассоциациях и близки таковым в самородном золоте труб Яман-Касинского (14–19 мас. % Ag) и Валенторского (15–22 мас. % Ag) месторождений [Масленникова, Масленников, 2007]. Самородное золото, обнаруженное в кластогенных фациях, характеризуется вариациями состава в различных минеральных типах отложений. Максимальные содержания серебра в самородном золоте характерны для сфалерит-халькопирит-пиритовых мелкообломочных турбидитов, а минимальные – для сульфидных брекчий, гравелитов и халькопирит-пиритовых турбидитов. По содержаниям Ag золото сопоставимо с таковым из труб палеокуруильщиков, но отличается присутствием примеси Hg. Помимо самородного золота, в кластогенных рудах обнаружены многочисленные теллуриды благородных металлов: гессит, петцит, вольтскит, калаверит и штютцит. Количество теллуридов возрастает в пирите сульфидно-кремнистых диагенитов, где включения петцита и гессита преобладают над самородным золотом. Состав самородного золота кластогенных фаций Юбилейного месторождения близок золоту сульфидных турбидитов Яман-Касинского месторождения, где также отмечается присутствие Hg [Сафина и др., 2010]. Характерной чертой самородного золота субмаринных гипергенных фаций является широкий разброс содержаний Ag (37–56.5 мас. %) и ассоциация с включениями теллуридов и кервеллеита. Изменение состава самородного золота в кластогенных и гипергенных фациях связано с наличием обломков различных исходных гидротермально-осадочных руд и существованием поздних аутигенных генераций золота.

Автор благодарит В. В. Масленникова и Н. Р. Аюпову за консультации и всестороннюю помощь в ходе исследований. Работа поддержана проектом Президиума РАН № 15-11-5-23.

Литература

- Викентьев И. В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
- Викентьев И. В., Саенко А. Г., Карелина Е. В. и др.* Минералогические особенности руд медноколчеданного месторождения Юбилейное (Южный Урал) // Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования. 2011. № 1. С. 84–89.
- Воробьев В. В., Попов Е. В., Сапонов А. В. и др.* Отчет о детальной разведке Юбилейного медноколчеданного месторождения на Южном Урале в 1969–73 гг. Бурибай. Т. 1. 1973ф.
- Косарев А. М., Серавкин И. Б., Холоднов В. В.* Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности магнитогорской колчеданоносной 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.
- Масленникова С. П., Масленников В. В.* Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург – Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.
- Молошаг В. П., Грабежев А. И., Викентьев И. В., Гуляева Т. Я.* Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфириновых месторождений Урала // Литосфера. 2004. № 2. С. 30–51.
- Сафина Н. П., Аюпова Н. Р., Мелекесцева И. Ю., Котляров В. А.* Типохимизм золота в обломочных рудах колчеданных месторождений Урала // Мат. конф. «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований». М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 190–192.

Е. И. Ярцев^{1,2}, В. Д. Абрамова²

¹ – *Московский государственный университет, г. Москва*

² – *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва*
evgenyrtsev@mail.ru

Элементы-примеси в составе сульфидов на контакте даек габбро-порфиритов и руд Джусинского месторождения (Южный Урал)

(научные руководители А. А. Бурмистров, И. В. Викентьев)

Объектом изучения является Джусинское колчеданно-полиметаллическое месторождение, расположенное в Теренсайском рудном районе в 70 км от г. Орск (Оренбургская область). Месторождение, состоящее из 18 столбообразных залежей, локализовано в мощной пачке вулканитов андезит-дацитового состава среднедевонского возраста [Медноколчеданные..., 1988]. Широким распространением пользуются жильные габбро-порфириты (дорудные и пострудные), рассматриваемые в составе субвулканического комплекса и возрастного аналога карамальташской свиты (эмс-эйфель), а также пострудные диоритовые дайки магнитогорского нижнекаменноугольного интрузивного комплекса. Тесная пространственная связь оруденения с