

Schluter J., Klaska K-H., Adiwidjaja G., Gebhard G. Tsumgallite, GaO(OH), a new mineral from the Tsumeb mine, Tsumeb, Namibia // Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte. 2003. Vol. 11. P. 521–527.

И. А. Блинов¹, А. В. Бутняков²

*1 – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
blinov@mineralogy.ru*

2 – Уральский филиал ПМУК, г. Екатеринбург

Минералы зоны окисления Кабанского колчеданного месторождения (Средний Урал)

Введение. Группа Кабанских колчеданных месторождений приурочена к западной полосе Тагило-Магнитогорской зоны Среднего Урала и связана с риолит-базальтовой формацией [Puchkov, 2016]. Главные рудные минералы – пирит и халькопирит, реже встречаются сфалерит, арсенопирит, теннантит и галенит. Среди редких минералов отмечаются гипогенный борнит, «оранж-борнит» и энаргит [Логоинов, 1950]. На месторождении Кабан-1 развита зона окисления с типичной для колчеданных месторождений зональностью [Смирнов, 1955]. Верхняя часть зоны окисления (железная шляпа, зона выщелачивания) была отработана летом 2013 г. с целью извлечения золота.

Методика работ. Пробы для исследований были отобраны из железной шляпы (бурые железняки) и зоны выщелачивания (кварцевые и пиритовые сыпучки). Изучение морфологии и химического состава минералов проводилось в полированных образцах, смонтированных в эпоксидную смолу, методом растровой электронной микроскопии на приборе Tescan Vega 3 с энерго-дисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (аналитик И. А. Блинов).

Результаты исследований. В бурых железняках установлены самородное золото, ковеллин, касситерит, коронадит, йодаргирит и минералы семейства алунита, в кварцевых сыпучках – самородный селен, касситерит, барит и минералы семейства алунита. Особенность минерального состава пиритовых сыпучек – присутствие многочисленных зерен самородного селена, а также редких зерен науманнита и касситерита.

Самородное золото в виде зерен изометричной, чаще овальной или округлой формы размером до 2–3 мкм найдено среди гидроксидов железа только в бурых железняках. Золото характеризуется вариациями содержаний Ag (0.44–3.36 мас. %).

Самородный селен – распространенный минерал кварцевых и пиритовых сыпучек. По визуальной оценке, его содержания достигают 0.5–1 об. %. Размеры зерен не превышают 3 мкм. На ЭД-спектрах в составе минерала присутствуют линии Sn, S, Ti, Cu, Fe, K и Si. В пиритовых сыпучках выявлено несколько зерен самородного селена, на спектрах которых присутствуют линии Te.

Касситерит в бурых железняках встречается в виде идиоморфных кристаллов (до 3 мкм) или скрытокристаллических масс, заполняющих пустоты (рис. а). Гипергенное происхождение касситерита доказывается его расположением в трещинах (см. рис. б). Минерал диагностирован по качественному ЭД-спектру, на котором, кроме Sn и O, фиксируются V, Ti и Fe. В кварцевых сыпучках касситерит образует как

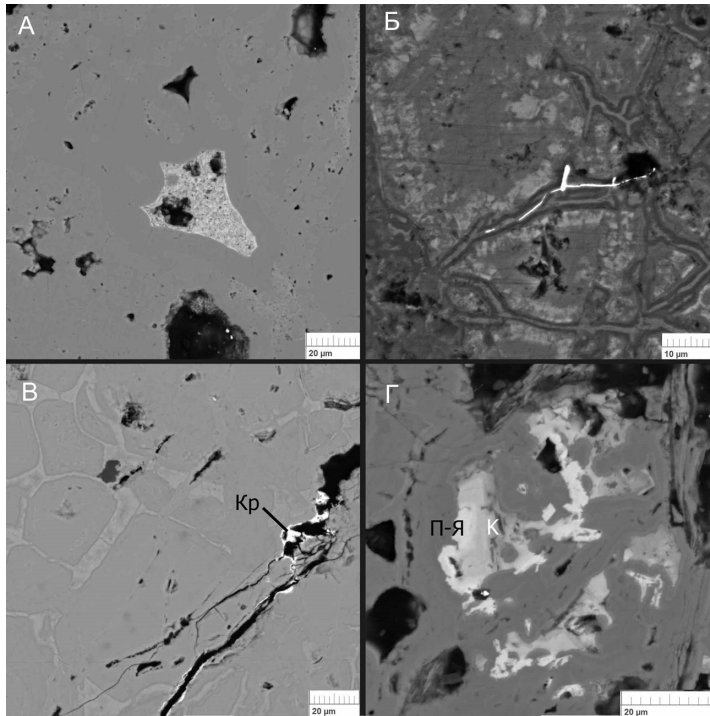


Рис. Минералы бурых железняков Кабанского месторождения.
 А, Б – касситерит, В – коронадит (Кр), Г – минералы семейства алунита (К – кинторейт, П-Я – плюмбопирозит). Изображения получены в отраженных электронах, ускоряющее напряжение 20 кВ.

самостоятельные зерна, так и вкрапления в мусковите или других минералах. Размер зерен может достигать 10 мкм. Минерал не содержит примесей. В пиритовых сыпучках зерна касситерита размером около 2 мкм ассоциируют с *науманнитом*.

Единичные зерна *станноидита* ($\text{Cu}_{7.88}(\text{Fe}_{3.06}\text{Zn}_{0.81})_{3.87}\text{Sn}_{1.88}\text{S}_{12.00}$) в бурых железняках размером около 5 мкм приурочены к кварцу. Единичное зерно *коронадита* ($(\text{Pb}_{0.82}\text{Ba}_{0.10}\text{Ca}_{0.04})_{0.95}(\text{Mn}_{5.78}\text{Fe}_{1.74}\text{Si}_{0.30}\text{Al}_{0.18})_{8.00}\text{O}_{16}$) размером 35 мкм найдено в трещине в агрегатах гидроксидов железа (рис. в). *Йодаргирит* в виде изометричных пористых зерен размером до 5 мкм также приурочен к гидроксидам железа в бурых железняках. *Барит* обнаружен в кварцевых сыпучках в виде зерен размером 3–5 мкм.

Минералы *семейства алунита* представлены сульфатами и сульфатофосфатами (табл.). В бурых железняках размеры их зерен могут достигать 20–50 мкм. Встречаются также неоднородные зерна, часть которых представлена преимущественно фосфатами, другая – сульфатами. Главными катионами являются Pb и Fe^{3+} . Состав минералов варьирует от *ку-биверита* до *коркита* и *кинторейта*. В кварцевых сыпучках минералы семейства алунита представлены серией от *плюмбопирозита* до *кинторейта*. Размер зерен варьирует от 3 до 20 мкм. Особенностью химического состава минералов является присутствие Ba и Ca, а также высокие содержания Al. В частности, отмечаются находки минерала, наиболее близкого по составу к *коркиту* (группа *бедантита*) (см. табл.).

Т а б л и ц а

**Состав минералов семейства алунита из бурых железняков (1–6)
и кварцевых сыпучек (7) Кабанского месторождения**

№ п/п	Лаб. номер	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CuO	BaO	PbO	Сум-ма	Эмпирическая формула, минерал
1	14089i	0.66	0.51	16.16	–	–	33.43	1.00	–	28.93	80.69	Pb _{1.03} (Fe _{3.54} Cu _{0.11} Al _{0.11}) _{3.76} (P _{1.93} Si _{0.07} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ кинторейт
2	14089j	0.21	0.26	0.37	25.57	2.04	32.41	6.33	–	19.72	86.91	(Pb _{0.50} K _{0.26}) _{0.76} (Fe _{2.45} Cu _{0.48} Al _{0.02}) _{2.95} (S _{1.94} Si _{0.03} P _{0.03} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ Cu-биверит
3	14089h	–	–	11.60	9.54	–	32.30	1.41	–	27.74	83.70	Pb _{0.82} (Fe _{2.85} Cu _{0.13} Zn _{0.10}) _{3.08} (P _{1.16} S _{0.84} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ коркит
4	14088b	0.55	–	6.19	18.60	2.22	38.57	–	1.34	18.62	89.34	(Pb _{0.48} K _{0.29} Sr _{0.08} Ba _{0.05}) _{0.96} (Fe _{2.97} Al _{0.07}) _{3.03} (S _{1.43} P _{0.54} As _{0.03} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ коркит
5	14089e	0.66	1.03	2.09	17.73	1.92	45.82	1.44	–	15.79	86.48	(Pb _{0.49} K _{0.30}) _{0.79} (Fe _{4.27} Cu _{0.13} Al _{0.10}) _{4.50} (S _{1.65} P _{0.22} Si _{0.13} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ Cu-биверит
6	14089f	0.66	0.21	1.08	24.27	1.94	31.55	6.53	–	20.98	87.22	(Pb _{0.54} K _{0.26}) _{0.80} (Fe _{2.44} Cu _{0.51} Al _{0.08}) _{3.00} (S _{1.88} P _{0.09} Si _{0.02} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ Cu-биверит
7	14128d	11.20	1.33	10.27	14.06	1.96	20.99	0.45	1.57	16.07	78.53	(Pb _{0.39} K _{0.24} Ca _{0.07} Ba _{0.06}) _{0.76} (Fe _{1.53} Al _{1.28} Cu _{0.03}) _{2.80} (S _{1.03} P _{0.84} Si _{0.13} O ₄) _{2.00} ×(ОН,Н ₂ O) ₆ коркит

Примечание. Коэффициент ОН и Н₂O – теоретический, формулы рассчитаны на стехиометрическое количество анионов. Минералы также содержат (мас. %) 0.63 CaO (ан. 14128d); 0.31 Na₂O, 1.66 As₂O₅ и 1.28 SrO (ан. 14088b); 1.11 ZnO (ан. 14089h). Прочерк – примесь не обнаружена.

Для обнаруженных минералов семейства алуниита характерно зональное строение: ядро сложено кинторейтом, а периферия плюмбоярозитом (рис. г). Зональные кристаллы минералов семейства алуниита известны на колчеданных и стратиформных полиметаллических месторождениях Урала [Блинов, 2015].

Обсуждение и выводы. Значительная часть обнаруженных гипергенных минералов в верхней части зоны окисления месторождения Кабан-1 типичны для зон окисления колчеданных месторождений. Так, самородное золото – главный экономически ценный минерал железной шляпы. Более редкий самородный селен давно известен в зонах окисления колчеданных месторождений [Палей, 1957]. Науманнит и йодаргирит также ранее были установлены в зонах окисления колчеданных и стратиформных полиметаллических месторождений [Геохимия..., 1964а, б; Трофимов и др., 1992; Belogub et al., 2003; 2008; Блинов, 2015]. Барит редко встречается в зонах окисления колчеданных месторождений [Belogub et al., 2003; Блинов, 2015] и присутствует как реликтовый минерал [Смирнов, 1955].

Находка коронадита в зоне окисления колчеданных месторождений является первой. Ранее минерал был установлен в тяжелом концентрате золотоносных кварц-иллитовых жильных пород золото-сульфидного месторождения Ик-Давлят (Учалинский район) [Белогуб, 2009]. Также, впервые для зон окисления колчеданных месторождений установлено присутствие касситерита. Минералы семейства алуниита являются характерными для зон окисления колчеданных месторождений [Смирнов, 1955].

В целом, в зоне окисления Кабанского месторождения отмечается сочетание гидроксидов железа, минералов семейства алуниита, сульфидов, селенидов и самородного селена. Подобное сочетание минералов наблюдается на большинстве колчеданных месторождений [Смирнов, 1955; Belogub et al., 2003; 2008], на стратиформных полиметаллических месторождениях [Блинов, 2015] и в техногенных зонах окисления сульфидных месторождений [Мягкая и др., 2013].

Авторы выражают благодарность В. В. Масленникову за помощь в организации работ и Е. В. Белогуб – за консультации. Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы «Минералогия и геохимия рудных и рудоносных фаций как отражение геологической истории гидротермальных и гипергенных систем» (№ АААА-А16-11-6021010244-0) и программы президиума РАН № 0433-2015-011.

Литература

Белогуб Е. В. Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Миасс, 2009. 537 с.

Блинов И. А. Самородные металлы, селениды, галогениды и ассоциирующие минералы из бурых железняков Амурского и Верхне-Аршинского месторождений (Южный Урал) // Литосфера. 2015. № 1. С. 65–74.

Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 1. Геохимия редких элементов / Под ред. К. А. Власова. М.: Наука, 1964а. 686 с.

Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 2. Минералогия редких элементов / Под ред. К. А. Власова. М.: Наука, 1964б. 830 с.

Логинов В. П. Геология Кабанских колчеданных месторождений (Средний Урал) и некоторые черты их генезиса и метаморфизма. М.: Изд-во АН СССР, 1950. С. 148–192.

Мягкая И. Н., Лазарева Е. В., Густайтис М. А., Заякина С. Б., Полякова Е. В., Жмодик С. М. Золото в системе сульфидные отходы и торфяник как модель поведения в геологических процессах // Доклады академии наук. 2013. Т. 453. № 2. С. 201–206.

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-