

УДК 553.411.071

**МИНЕРАЛЫ СЕРЕБРА В КВАРЦЕВЫХ ЖИЛАХ
РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТА КРАСНОЕ (БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН)****Е.Е. Паленова, И.А. Блинов, М.В. Заботина***Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, palenova@mineralogy.ru***SILVER MINERALS FROM QUARTZ VEINS OF THE KRASNOE DEPOSIT
(BODAYBO ORE REGION)****E.E. Palenova, I.A. Blinov, M.V. Zabolina***Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, palenova@mineralogy.ru*

В статье приведена характеристика минералов серебра из галенит-кварцевых жил рудопроявления золота Красное (Бодайбинский район), залегающего в углеродистых терригенных отложениях позднего протерозоя. Среди них установлены: электрум ($AuAg$), гессит (Ag_2Te), кервеллеит (Ag_4TeS), бенлеонардит ($Ag_8(Sb,As)Te_2S_3$), точно не диагностированная сульфосоли серебра, Cd-фрейбергит ($(Cu,Ag)_{10}Cd_2Sb_4S_{13}$). Теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли серебра образуют включения и вроски в галените. Примесь серебра наблюдается в ассоциирующихся с галенитом сфалерите и халькопирите, которые замещаются вторичным акантитом (Ag_2S). В тесной ассоциации с минералами серебра находится гринокит.

Илл. 5. Табл. 1. Библ. 34.

Ключевые слова: месторождения золота в чёрных сланцах, Бодайбинский район, кервеллеит, сульфосоли серебра.

The paper characterizes silver tellurides, sulfotellurides and sulfosalts from the quartz-galena veins of the Krasnoe deposit (Bodaybo region), which is hosted by Upper Proterozoic carbonaceous clastic rocks. Electrum ($AuAg$), hessite (Ag_2Te), cervelleite (Ag_4TeS), benleonardite ($Ag_8(Sb,As)Te_2S_3$), unidentified silver sulfosalt, and Cd-freibergite ($(Cu,Ag)_{10}Cd_2Sb_4S_{13}$) form inclusions in galena. Sphalerite and chalcopyrite associated with galena are characterized by the presence of silver in their composition and are replaced by secondary acanthite (Ag_2S). Greenockite is closely associated with silver minerals.

Figures 5. Tables 1. References 34.

Key words: black shale-hosted gold deposits, Bodaybo region, cervelleite, silver sulfosalts.

Введение

Бодайбинский рудный район расположен в пределах Патомского нагорья и принадлежит к Ленской золотоносной провинции, на территории которой с середины XIX в. отрабатывается россыпное золото (Беневольский, 2002; Иванов, 2008). Источниками для россыпей являются коренные месторождения, в том числе уникальное по запасам Сухой Лог, а также Вернинское, Невское, Высочайшее (Голец Высочайший) (Иванов, 2008). Кроме того, известен ряд более мелких объектов, к которым принадлежит и рудопроявление Красное (рис. 1).

Изучение коренного золота в пределах Бодайбинского района началось в 50-х гг. XX в. Наиболее детально исследовано месторождение Сухой Лог, в меньшей степени Вернинское, Невское, Высочайшее и др. Несмотря на длительную историю изучения, до сих пор не существует единого взгляда на генезис этих месторождений. К настоящему времени разработаны две основные гипотезы их формирования: постагматически-гидротермальная и метаморфогенно-гидротермальная. Согласно первой основной этап концентрации золота в рудах и привнос хотя бы части цветных и благородных металлов связаны со становлением пост-

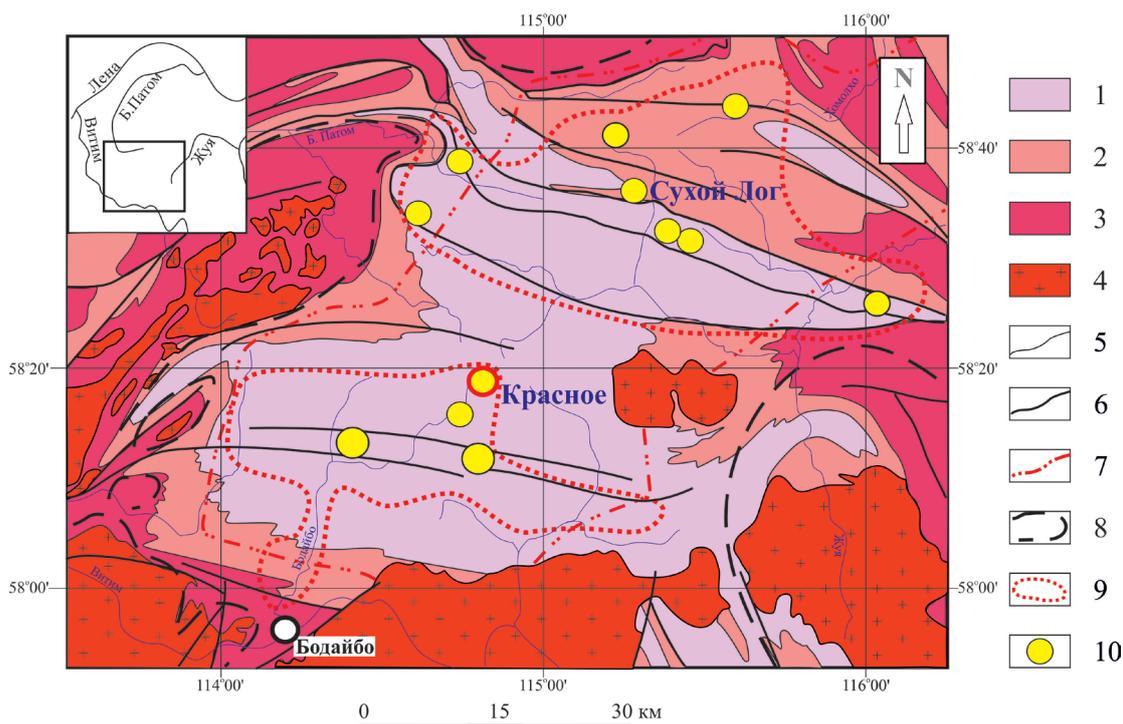


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Бодайбинского рудного района (по Иванову, 2008, с упрощениями).

1–3 – рифейско-вендские отложения: 1 – венд, бодайбинская серия (аунакитская, вачская, анангрская, догалдынская, илигирская свиты), 2 – средний-верхний рифей, ныгринская серия (бужуихтинская, угаханская, хомолхинская, имняхская свиты), 3 – средний рифей, баллаганакская серия (хорлухтакская, хайвергинская, бугорихтинская, бодайбокская свиты); 4 – верхнепалеозойские гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса; 5 – геологические границы; 6 – разрывные нарушения; 7 – изограда биотита регионального метаморфизма; 8 – границы деформационных зон гранито-гнейсовых купольных структур; 9 – золотороссыпные районы; 10 – золоторудные месторождения.

Fig. 1. Simplified geological map of the Bodaybo ore region, after Ivanov (2008).

1–3 – Riphean to Vendian sediments: 1 – Vendian Bodaybo Group (Aunakit, Vacha, Anagra, Dogaldyn, Iligir formations), 2 – Middle to Upper Riphean Nygri Group (Buzhuikhta, Ugakhan, Khomolkho, Imnyakh formations), 3 – Middle Riphean Ballaganakh Group (Khorlukhtakh, Khaiverga, Bugorikhta, Bodaybo formations); 4 – granitoids of the Late Paleozoic Konrudera-Mamakan complex; 5 – geological boundaries; 6 – faults; 7 – biotite isograd of regional metamorphism; 8 – boundaries of deformation zones of granitic gneiss domes; 9 – gold placer regions; 10 – gold deposits.

метаморфических интрузий, в качестве которых рассматриваются как гранитоиды, так и гипотетические базитовые комплексы, залегающие на глубине (Кондратенко, 1977; Русинов и др., 2005, 2008; Distler et al., 2004; Лавёров и др., 2000, 2007; Юдовская и др., 2011). По метаморфогенно-гидротермальной гипотезе рудообразующие растворы генерировались при региональном метаморфизме исходно металлоносных углеродистых толщ (Буряк, 1982; Буряк, Бакулин, 1998; Large et al., 2007; Кряжев и др., 2009; Иконникова и др., 2009; Дубинина и др., 2010; Чугаев и др., 2014).

В настоящее время на рудопроявлении Красное, проводятся поисково-оценочные и разведочные работы с формированием ТЭО кондиций силами компании ООО «Красный», поэтому актуально изучение минерального состава руд и форм нахождения

благородных металлов. В статье приведены первые данные о минералогии серебра в кварцевых жилах рудопроявления Красное.

Геологическое строение рудопроявления Красное

Рудопроявление Красное принадлежит к Артёмовскому рудному узлу, расположено в 15 км к северо-востоку от пос. Артёмовский и в 75 км к северу от г. Бодайбо на водоразделе ручьёв Красный и Тёплый и приурочено к шарниру субширотной Рудной антиклинали сложного строения (Божко, Кузнецов, 2012ф; Кузьменко, 2013). В строении рудопроявления участвуют породы аунакитской (R_3au), вачской (R_3vc) и анангрской (Van) свит. Золотоносными являются отложения вачской и, возможно, аунакитской свит. Ближайшие к рудо-

проявлению гранитные массивы расположены на расстоянии 40–50 км – Энгажимино-Витимский (с юга), Джекдокарский (с северо-востока) и Чумаркойский (с северо-запада). В пределах рудного поля аномалии Au сопровождаются повышенными концентрациями Ag, As, Pb, в меньшей степени Cu и Zn (Кузьменко, 2013).

Рудовмещающая вачская свита (мощность 150–600 м) в разрезе верхнего рифея – венда Бодайбинского синклиория является ярким маркирующим горизонтом за счёт относительно однородного состава и повышенной углеродистости (Докембрий..., 1995). В пределах рудопроявления Красное породы смяты в антиклинальную складку, локально осложнённую флексурами. Рудопроявление сложено углеродсодержащими кварцевыми и кварцитовидными метапесчаниками, метаалевролитами, в меньшей степени углеродисто-глинистыми сланцами, а также участками тонкого переслаивания этих пород (рис. 2). Породы метаморфизованы в условиях серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации (Паленова и др., 2013).

Золотое оруденение приурочено к зонам рассеянной и линзовидной вкрапленности пирита, в меньшей степени к кварцевым жилам и прожилкам с сульфидной минерализацией. Второстепенными рудными минералами являются галенит, сфалерит, халькопирит, блёклые руды, ковеллин. Золото образует включения и вроски в пирите (Паленова и др., 2013).

На рудопроявлении развиты жилы нескольких типов: 1) мощные (1–8 м) седловидные в замках складок и флексур; 2) тонкие (1–5 см) согласные слоистости и сланцеватости прожилки и просечки; 3) секущие жилы различной мощности. Седловидные жилы сложены молочно-белым кварцем, часто с карбонатом или полевыми шпатами, практически не содержат сульфидной минерализации и не являются золотоносными. Тонкие пирит-кварцевые прожилки и просечки образуют штокверковые руды. Среди секущих наблюдаются кварцевые жилы небольшой мощности (2–10 см) с крупными гнёздами галенита, халькопирита, иногда блёклой руды с благороднометальной минерализацией.

Методы исследования

Работа выполнена на материале, отобранном в ходе полевых исследований на рудопроявлении Красное сотрудниками Института минералогии УрО РАН из керна скважин и полотна разведочных

каналов, а также предоставленном геологами ООО «Красный». Результаты исследований представлены в отчётах поисково-оценочных и разведочных работ.

Оптические исследования проводились с помощью поляризационных микроскопов (AxioScope A.1, Olympus BX51) с цифровыми приставками. Спектры отражения рудных минералов получены на спектрофотометре МСФ-Р. Для определения химического состава минералов использовался растровый электронный микроскоп Vega3 Tescan с ЭДА (Институт минералогии УрО РАН, аналитик И.А. Блинов).

Минералогия серебра на рудопроявлении Красное

Благородные металлы на рассматриваемом рудопроявлении концентрируются преимущественно во вкрапленных пиритовых рудах, реже в наиболее поздних секущих кварцевых жилах небольшой мощности. Золото самородное, образует включения в пирите, также встречается в трещинах в пирите и в жильном кварце. Размер золотинок колеблется от первых до 600 микрон. В составе золота наблюдается примесь серебра 10–15 мас. %. Содержание серебра в рудах проявления незначительно, оно встречается преимущественно в виде примеси в золоте, редко в виде собственных минералов в составе поздних кварцевых жил.

Теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли серебра встречены впервые в галенит-кварцевой жиле мощностью 10 см, прорывающей кварцевые песчаники с рассеянной вкрапленностью пирита. Жила расположена в интервале переслаивания песчаников и алевролитов мощностью 26.4 м со средним содержанием золота 1.13 г/т (рис. 3). Галенит в жиле образует гнёзда ксеноморфных агрегатов размером до 5 см. Примеси в галените на уровне чувствительности СЭМ с ЭДА не зафиксированы.

Среди минералов серебра установлены электрум, гессит, кервеллеит, бенлеонардит, недиагностированная сульфосоль серебра и Cd-фрейбергит. Примесь серебра отмечена в ассоциирующих с галенитом сфалерите (0.42–2.2 мас. % Ag) и халькопирите (до 10.39 мас. % Ag), которые замещаются вторичным акантитом. В сфалерите наблюдается постоянная примесь Cd (0.85–8.3 мас. %), реже Fe (0.14–0.94 мас. %) и Sb (1.8 мас. %). В тесной ассоциации с минералами серебра находится гринокит.

Электрум AuAg образует зёрна овальной формы размером до 300 мкм в галените, сростается с квар-

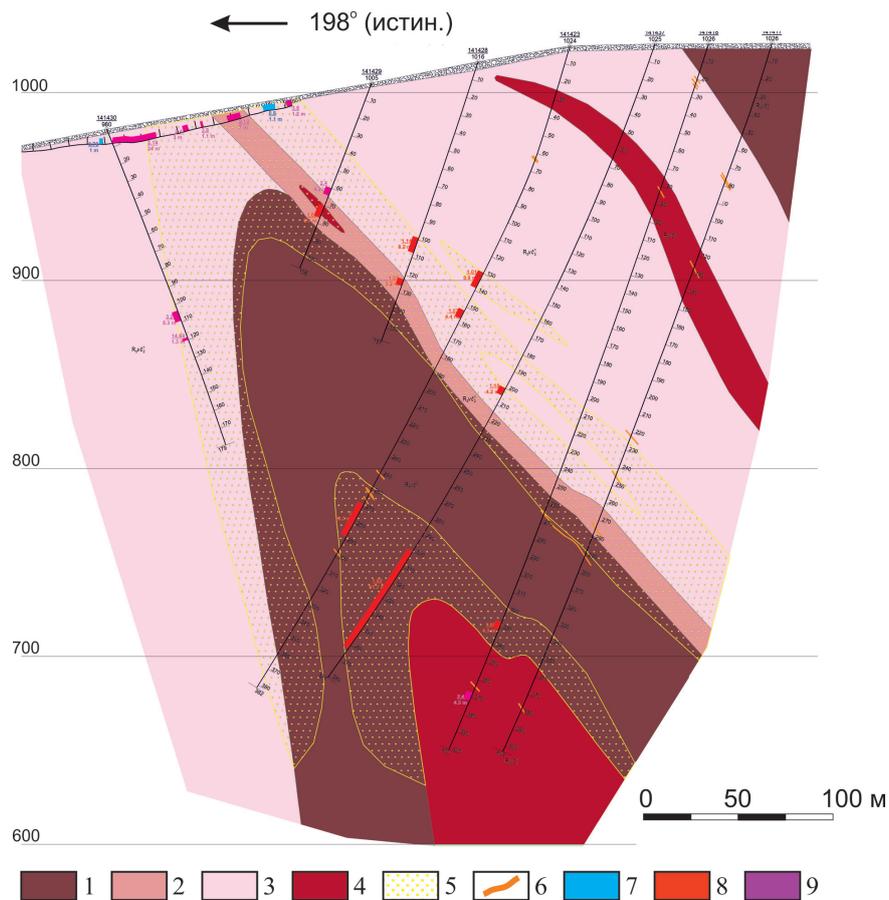


Рис. 2. Геологический разрез рудопоявления Красное (по Божко, Кузнецову, 2012ф).

1–4 – отложения вачской свиты: 1 – метаалевролиты, 2 – метапесчаники, 3 – грубое переслаивание метаалевролитов и метапесчаников, 4 – тонкое переслаивание метаалевролитов и метапесчаников; 5 – зоны пиритизации; 6 – кварцевые жилы; 7–9 – содержания золота: 7 – <math><1\text{ г/т}</math>, 8 – 1–2 г/т, 9 – >2 г/т.

Fig. 2. Cross section modified after Bozhko and Kuznetsov (2012).

1–4 – Vacha Formation: 1 – metasiltstone, 2 – metasandstone, 3 – thick intercalation of metasiltstone and metasandstone, 4 – thin intercalation of metasiltstone and metasandstone; 5 – zone of pyritization; 6 – quartz veins; 7–9 – gold content: 7 – <math><1\text{ g/t}</math>, 8 – 1–2 g/t, 9 – >2 g/t.

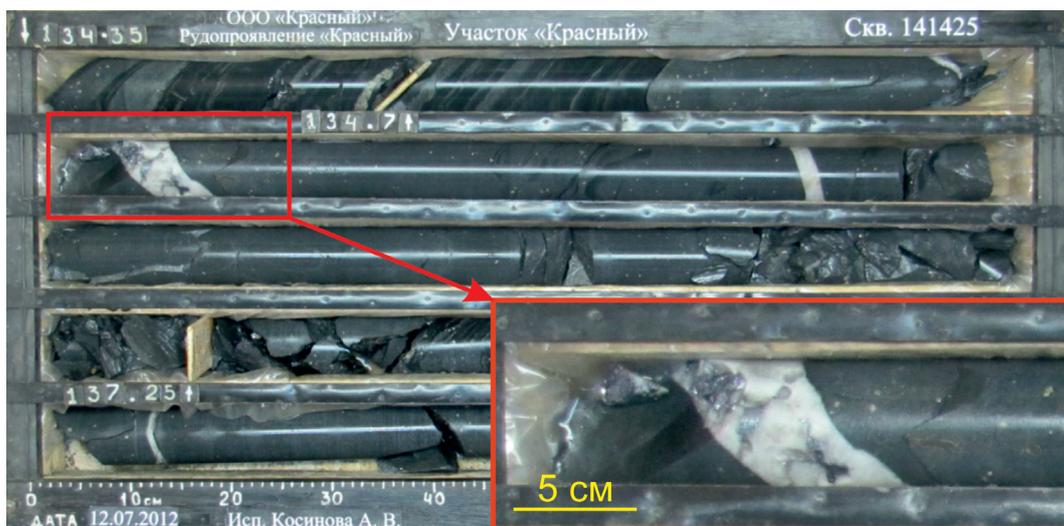


Рис. 3. Общий вид кварцевой жилы с галенитом и серебряной минерализацией.

Fig. 3. Quartz vein with galena and silver minerals.

цем, галенитом, а также серебристыми сфалеритом и халькопиритом. Довольно быстро затравливается на свету. В химическом составе наблюдается примесь меди до 1.16 мас. % (табл.). От центра к периферии доля серебра в электруме возрастает, на контакте с галенитом появляется примесь меди.

Гессит Ag_2Te встречается в виде включений в галените размером от 5 до 150 мкм и всегда тесно ассоциирует с Se-содержащим и селенистым кервеллеитом. Характерно образование «капель» сложного гессит-кервеллеитового состава размером 5–10 мкм, с которыми срastaются тонкие выделения гринокита (рис. 4а, б). Гессит характеризуется розовато-коричневым оттенком в отражённом свете, анизотропен, не содержит примесей в химическом составе (табл.).

Кервеллеит Ag_4TeS образует выделения размером до 10 мкм и ассоциирует с гесситом (см. рис. 4а, б).

Химический состав не стехиометричен. В составе минерала наблюдается до 2.27 мас. % Cu, а также примесь Se (2.3–8.84 мас. %), вплоть до образования фазы состава $(\text{Ag}_{3.76}\text{Cu}_{0.03})_{3.79}(\text{Te}_{0.97}\text{Se}_{0.67}\text{S}_{0.36})_{2.00}$ (табл., ан. 13525z). В системе Ag-Te-Se-S известны минералы близкие по структуре: гессит Ag_2Te (мон.), наумманит Ag_2Se (ромб.), аргентит Ag_2S (куб.), кервеллеит Ag_4TeS (куб.), агвиларит Ag_4SeS (мон.) (www.mindat.org). Cu-содержащий кервеллеит в ассоциации с гесситом и галенитом описан в колчеданных месторождениях Южного Урала (Novoselov et al., 2006) и в ассоциации с халькопиритом, галенитом и блёклыми рудами в медных рудах месторождения Мургул, Турция (Zaykov et al., 2006). Кервеллеитоподобные фазы золоторудного месторождения Фаннэн, Китай, описаны в работе (Gu et al., 2003). Фаза состава $\text{Ag}_2\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ была получена синтетическим путём (Drymiotis et

Таблица

Химический состав минералов серебра (мас. %)

Table

Chemical composition of silver minerals (wt. %)

№ п/п	№ лаб.	Cu	Ag	Au	Te	S	Se	Sb	As	Сумма	Формула минерала
1	13525b	–	37.38	62.62	–	–	–	–	–	100	$\text{Ag}_{0.52}\text{Au}_{0.48}$
2	13525c	0.41	40.78	58.81	–	–	–	–	–	100	$\text{Ag}_{0.55}\text{Au}_{0.44}\text{Cu}_{0.01}$
3	13525d	–	36.34	63.66	–	–	–	–	–	100	$\text{Ag}_{0.51}\text{Au}_{0.49}$
4	13525e	1.16	42.33	56.51	–	–	–	–	–	100	$\text{Ag}_{0.56}\text{Au}_{0.41}\text{Cu}_{0.03}$
5	13525f	–	35.15	64.85	–	–	–	–	–	100	$\text{Ag}_{0.50}\text{Au}_{0.50}$
6	13525t	–	62.11	–	36.91	–	–	–	–	99.02	$\text{Ag}_{1.99}\text{Te}_{1.00}$
7	13525x	–	62.37	–	36.86	–	–	–	–	99.23	$\text{Ag}_{2.00}\text{Te}_{1.00}$
8	13525y	–	62.48	–	36.69	–	–	–	–	99.16	$\text{Ag}_{2.01}\text{Te}_{1.00}$
9	13525s	2.27	66.76	–	23.41	4.51	2.3	–	–	99.26	$(\text{Ag}_{3.50}\text{Cu}_{0.20})_{3.70}(\text{Te}_{1.04}\text{S}_{0.80}\text{Se}_{0.16})_{2.00}$
10	13525z	0.36	67.39	–	20.56	1.9	8.84	–	–	99.04	$(\text{Ag}_{3.76}\text{Cu}_{0.03})_{3.79}(\text{Te}_{0.97}\text{Se}_{0.67}\text{S}_{0.36})_{2.00}$
11	13526c	4.31	59.12	–	18.19	8.86	–	8.8	–	99.29	$(\text{Ag}_{6.69}\text{Cu}_{0.83})_{7.52}\text{Sb}_{0.88}\text{Te}_{1.74}\text{S}_{3.38}$
12	13526e	5.07	57.91	–	19.62	8.67	–	8.13	–	99.39	$(\text{Ag}_{6.56}\text{Cu}_{0.97})_{7.54}\text{Sb}_{0.82}\text{Te}_{1.88}\text{S}_{3.30}$
13	13526b	4.65	58.2	–	19.02	8.3	–	3.85	5.02	99.03	$(\text{Ag}_{6.39}\text{Cu}_{0.87})_{7.26}(\text{As}_{0.79}\text{Sb}_{0.37})\text{Te}_{1.77}\text{S}_{3.07}$
14	13525p	6.79	61.46	–	8.77	12.03	–	9.96	–	99.01	$(\text{Ag}_{7.59}\text{Cu}_{1.42})_{9.02}(\text{Sb}_{1.09}\text{Te}_{0.92})_{2.01}\text{S}_{5.00}$
15	13525q	7.82	60.67	–	8.57	12.47	–	9.49	–	99.02	$(\text{Ag}_{7.23}\text{Cu}_{1.58})_{8.81}(\text{Sb}_{1.00}\text{Te}_{0.86})_{1.86}\text{S}_{5.00}$

Примечание. 1–5 – электрум; 5–8 – гессит; 9, 10 – селенистый кервеллеит; 11–13 – бенлеонардит; 14, 15 – недиагностированная сульфосоли серебра и меди. Прочерк – содержание элемента ниже предела обнаружения метода. Формулы рассчитаны: электрум $(\text{Au}+\text{Ag}+\text{Cu})=1$; гессит $\text{Te}=1$; кервеллеит $(\text{S}+\text{Se}+\text{Te})=2$; бенлеонардит $(\text{S}+\text{Se}+\text{Sb}+\text{As}+\text{Te})=6$; сульфосоли $\text{S}=5$. Лабораторные номера соответствуют точкам на рисунке 4.

Note. 1–5 – electrum; 5–8 – hessite; 9, 10 – Se-bearing cervelleite; 11–13 – benleonardite; 14, 15 – unidentified silver and copper sulfosalt. Dash, the content of element is below detection limit. Formulae are recalculated to sum of metals for electrum of 1, to one Te atom for hessite, to anion sum for cervelleite and benleonardite, and for five S atoms for sulfosalt. Laboratory numbers correspond to points in Figure 4.

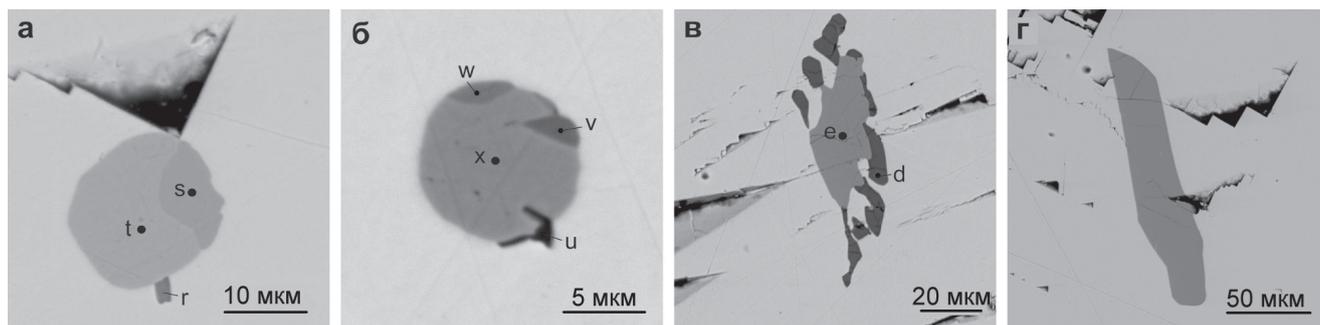


Рис. 4. Морфология выделений минералов серебра (фото в отражённых электронах): а – двухфазная «капля» гессита (t) и кервеллеита (s) в сростке с гринокитом (r) в галените; б – «капля» гессита (x) с бенлеонардитом (?) (v) и кервеллеитом (w) в сростке с гринокитом (u) в галените; в – бенлеонардит (e) в сростке с Cd-фрейбергитом (d) в галените; г – пластинчатое выделение недиагностированной сульфосоли серебра (анализ № 13525q) в галените.

Fig. 4. BSE-images of silver minerals: а – diphase «drop» of hessite (t) and cervelleite (s) intergrown with greenockite (r) in galena; б – «drop» of hessite (x) intergrown with benleonardite (?) (v), cervelleite (w) and greenockite (u) in galena; в – benleonardite (e) intergrown with Cd-freibergite (d) in galena; г – lath of unidentified silver sulfosalt (analysis 13525q) in galena.

al., 2013), в ряду $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{Ag}_2\text{Te}$ наблюдается разрыв смешимости при содержании Se более 17 ат. %.

Бенлеонардит $\text{Ag}_8(\text{Sb,As})\text{Te}_2\text{S}_3$ образует обособленные включения в галените и сростки с ним и ассоциирует с гринокитом и Cd-фрейбергитом (рис. 4в). Местами наблюдаются фрагменты огранки (?) зёрен. Минерал характеризуется отчётливым оливковым оттенком и анизотропией. Химический состав не стехиометричен (табл.). Наблюдается значительное содержание Cu (~5 мас. %). Обнаружены две разновидности бенлеонардита: «сурьмяная» в виде включений в галените, в том числе, в ассоциации с Cd-фрейбергитом, и «сурьмяно-мышьяковая» в сростке с галенитом и в непосредственной близости от зерна гринокита (см. табл.).

Недиагностированная сульфосоли серебра и меди образует крупные пластинчатые выделения размером 100–120 мкм (рис. 4г), а также сростки пластинок. Характеризуется отчётливым зеленоватым оттенком, сильно анизотропна, оптически однородна. Отражение низкое, спектры отражения представлены на рисунке 5. По химическому составу не отвечает ни одной из известных формул минералов серебра (www.mindat.org). В составе фиксируется значительное содержание меди (до 7.82 мас. %), анионная группировка представлена S, Sb и Te (см. табл.).

Серебросодержащие блёклые руды (Cd-фрейбергит) $(\text{Cu,Ag})_{10}\text{Cd}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ассоциируют с бенлеонардитом и образуют мирмекитоподобные вросстки в галените (см. рис. 4в). Рассчитанная на S_{13} формула имеет вид: $(\text{Cu}_{8.70}\text{Ag}_{1.04}\text{Pb}_{0.09})_{9.84}\text{Cd}_{2.01}(\text{Sb}_{3.95}\text{As}_{0.16})_{4.10}\text{S}_{13.00}$.

Новообразованный акантит Ag_2S , в виде хлопьевидных агрегатов замещает Ag-содержащие халькопирит и сфалерит в лабораторных условиях, интенсивно выгорает под пучком электронов.

Обсуждение результатов

На рудопроявлении Красное теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли серебра в ассоциации с электрумом, галенитом, гринокитом и серебросодержащими сфалеритом, халькопиритом и блёклыми рудами образуются в позднюю стадию рудоотложения. Наиболее ранние сульфиды на Красном представлены тонкозернистым и фрамбоидальным пиритом сингенетического и диагенетического происхождения, формирующим послынную вкрапленность во вмещающих углеродистых терригенных породах. В процессе катагенеза и метаморфизма происходило переотложение металлов с образованием мелко-среднезернистой вкрапленности ангедрального до эвгедрального пирита, а также ассоциации сульфидов, сульфосолей полиметаллов и кобальта и никеля (Паленова и др., 2013, 2015). Кварцевые жилы нескольких генераций являются продуктом метаморфизма, динамометаморфизма и складкообразования. Ассоциация минералов серебра с галенитом встречается в наиболее поздних «секущих» кварцевых жилах.

В целом, минералогия руд месторождений золота Бодайбинского района, в том числе, рудопроявления Красное, довольно однообразна (Вуд, Попов, 2006; Large et al., 2007; Гаврилов, Кряжев, 2008;

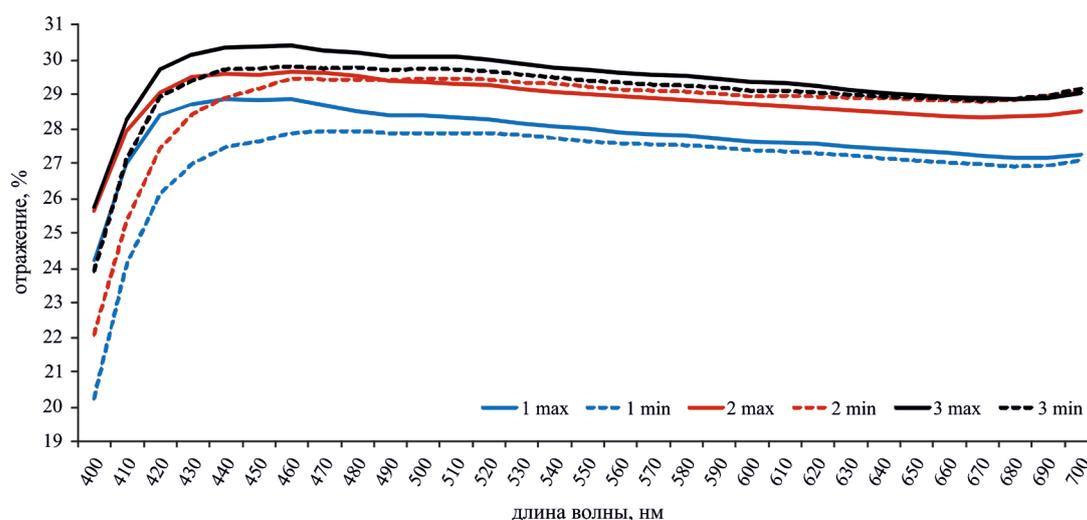


Рис. 5. Спектры отражения недиагностированной сульфосоли серебра и меди. 1–3 – порядковые номера измеренных зёрен; max, min – измерение при максимальном и минимальном показателе отражения для данного сечения.

Fig. 5. Reflectance spectra of unidentified silver sulfosalt. 1–3 – serial numbers of measured grains; max, min – spectra of the highest and lowest reflectance for the given section.

Иванов, 2008, 2009; Котов, 2013; Паленова и др., 2013, 2015). Главный рудный минерал пирит, иногда пирит и арсенопирит, пирит и пирротин. К второстепенным относятся пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит. На Красном распространены блёклые руды: теннантит и тетраэдрит (Паленова и др., 2013). В список редких минералов, как правило, входят сульфиды и сульфоарсениды кобальта и никеля, молибденит, сульфосоли полиметаллов. Золото находится в самородной форме, серебро – в качестве примеси в золоте, а также в халькопирите, сфалерите и галените (Гаврилов, Кряжев, 2008). Теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли благородных металлов не характерны для объектов района. На месторождении Сухой Лог известны находки микровключений теллуридов золота в пирите (Large et al., 2007), а также микро- и нановключения штюцита Ag_7Te_4 , гессита Ag_2Te , калаверита $AuTe_2$, петцита Ag_3AuTe_2 , кервеллеита Ag_4TeS , наумманита Ag_2Se , эвкайрита $CuAgSe$ (Гаврилов, Кряжев, 2008). Однако, всё это минералогические редкости, не влияющие на балансовые содержания металлов.

Значительно больший вклад в ресурсы золота и серебра ассоциация теллуридов, сульфотеллуридов и сульфосолей благородных металлов вносит на месторождении Урях, расположенном в Муйском районе Ленской золотоносной провинции в зоне влияния Сюльбанского разлома, проходящего на стыке осадочно-метаморфических образований патомской серии среднего-верхнего рифея и вулка-

ногенной толщи муйской серии верхнего рифея. На площади развиты интрузии кислого, среднего и основного состава. Золотое оруденение приурочено преимущественно к кварцевым жилам и штокверковым зонам, залегающим в интенсивно березитизированных породах (Молочный, Гончарук, 2008ф; Кучеренко, Гаврилов, 2012). Рудная минерализация представлена гнездовой вкрапленностью сульфидов и сульфосолей полиметаллов с включениями золота, электрума, теллуридов и сульфотеллуридов золота и серебра (Бортников и др., 2012ф).

На рудопроявлении Красное поздняя полиметаллическая ассоциация с теллуридами, сульфотеллуридами и сульфосолями серебра развита слабо. Главный тип руд – вкрапленная пиритовая минерализация с самородным золотом, характерна и для других объектов Бодайбинского района. Несмотря на некоторое сходство жильной минерализации Красного с рудами месторождения Урях, для которых характерна связь с процессами березитизации, утверждать, что в формировании рудопроявления Красное принимал участие магматический флюид, по-видимому, не обосновано. По данным петрографических и геохимических исследований, признаки наложенных гидротермально-метасоматических процессов, связанных с внедрением гранитных интрузий, на рудопроявлении выявлены не были (Паленова и др., 2013; Palenova et al., 2014; Belogub et al., 2014). Вероятно, описанная минеральная ассоциация является продуктом перетложения металлов на поздних стадиях динамо-

метаморфизма и отражает специфические состав и термодинамические параметры растворов.

Заключение

Таким образом, минералы серебра: электрум, гессит, кервеллит, бенлеонардит, недиагностированная сульфосоль серебра и Cd-фрейбергит, в ассоциации с галенитом, халькопиритом, сфалеритом, гринокитом в кварцевых жилах являются продуктом единой стадии минералообразования на рудопроявлении Красное. По отношению к основным золото-сульфидным рудам во вмещающих углеродистых толщах эта полиметаллическая ассоциация является наиболее поздней.

Благодарности

Авторы благодарят коллектив ООО «Красный» за помощь во время полевых работ, отдельная благодарность д.г.-м.н. Е.В. Белогуб за поддержку на всех этапах работ. Исследования проводились в рамках бюджетной темы ГР № 01201350139 лаборатории минералогии рудогенеза ИМин УрО РАН.

Литература

- Беневольский Б.И.* Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. М.: ООО «Геоинформмарк», 2002. 464 с.
- Божко Е.Н., Кузнецов А.Ю.* Информационный отчёт по результатам поисково-оценочных работ на рудопроявлении «Красное» в 2011–2012 гг. (лицензия № ИРК 2804 БР). Бодайбо, 2012ф. 150 с.
- Бортников Н.С., Коваленкер В.А., Лобанов К.В., Плотинская О.Ю., Киселёва Г.Д., Грознова Е.О., Борисовский С.Е., Грибоедова И.Г.* Минералогическая характеристика кварцевожильных руд, зон штокверковой минерализации в березитах и золото-серебряных руд в карбонат-кварцевой жиле в зоне Сюльбанского разлома, развитых на Уряхском рудном поле (Иркутская область, Бодайбинский район). М.: ИГЕМ РАН, 2012ф. 198 с.
- Буряк В.А.* Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.
- Буряк В.А., Бакулин Ю.И.* Металлогения золота. Владивосток: Дальнаука, 1998. 403 с.
- Вуд Б.Л., Попов Н.П.* Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 3. С. 315–341.
- Гаврилов А.М., Кряжев С.Г.* Минералогическая особенность руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. 2008. № 8. С. 3–16.
- Докембрий Патомского нагорья / А.И. Иванов, В.И. Лившиц, О.В. Перевалов и др. М.: Недра, 1995. 352 с.*
- Дубинина Е.О., Иконникова Т.А., Чугаев А.В.* Неоднородность изотопного состава серы пирита на месторождении Сухой Лог и определяющие ее факторы // Доклады АН. 2010. Т. 435. № 6. С. 786–790.
- Иванов А.И.* Месторождение «Ожерелье» – новый тип коренных месторождений в Бодайбинском рудном районе // Известия СО РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2008. Т. 32. № 6. С. 14–26.
- Иванов А.И.* Месторождение «Ыканское» – новый тип коренных месторождений золота сульфидного типа в Бодайбинском рудном районе // Известия СО РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2009. Т. 34. № 1. С. 27–36.
- Иконникова Т.А., Дубинина Е.О., Сароян М.Р., Чугаев А.В.* Изотопный состав кислорода жильного кварца и вмещающих пород на месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 560–567.
- Кондратенко А.К.* Магматические комплексы центральной части Ленской провинции и их металлогеническая специализация. М.: Недра, 1977. 144 с.
- Котов А.А.* Структурные особенности формирования Вернинского месторождения, Бодайбинский золоторудный район // Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. С. 205–209.
- Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А.* Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. 2009. № 10. С. 1108–1118.
- Кузьменко А.А.* Золотое оруденение в пределах Артёмовского рудного узла на примере месторождения «Красное» (Бодайбинский район, Восточная Сибирь) // Материалы Третьей Российской молодежной Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». М.: ИГЕМ РАН, 2013. С. 146–150.
- Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю.* Структурно-динамические режимы образования золото-сульфидно-кварцевой минерализации в Сюльбанской золоторудной зоне (бассейн среднего течения реки

Витим). Ч. 2. Урянское рудное поле // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 1. С. 19–27.

Лавёров Н.П., Лишневицкий Э.Н., Дистлер В.В., Чернов А.А. Модель рудно-магматической системы золото-платинового месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) // Доклады АН. 2000. Т. 375. № 5. С. 652–656.

Лавёров Н.П., Чернышёв И.В., Чугаев А.В., Бацирова Э.Д., Гольцман Ю.В., Дистлер В.В., Юдовская М.А. Этапы формирования крупномасштабной благороднометальной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия): результаты изотопно-геохронологического изучения // Доклады АН. 2007. Т. 415. № 2. С. 236–241.

Молочный В.Г., Гончарук Д.С. Проект на проведение поисковых и оценочных работ на Урянском рудном поле (рудное золото). Иркутск, 2008ф. 74 с.

Паленова Е.Е., Белогуб Е.В., Новосёлов К.А., Заботина М.В. Минералого-геохимическая характеристика углеродистых толщ золоторудных объектов Артёмовского узла (Бодайбинский район) // Известия СО РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2013. Т. 43. № 2. С. 29–36.

Паленова Е.Е., Белогуб Е.В., Плотинская О.Ю., Новосёлов К.А., Масленников В.В., Котляров В.А., Блинов И.А., Кузьменко А.А., Грибоедова И.Г. Эволюция состава пирита на золоторудных месторождениях в черносланцевых толщах Копыловское и Кавказ (Бодайбинский район, Россия) по данным РСМА и ЛА-ИСП-МС // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 1. С. 71–92.

Русинов В.Л., Русинова О.В., Борисовский С.Е., Алышева Э.И. Состав метасоматических минералов золоторудного месторождения Сухой Лог как критерий его генетической связи с базит-гипербазитовым магматизмом // Доклады АН. 2005. Т. 405. № 5. С. 661–665.

Русинов В.Л., Русинова О.В., Кряжев С.Г., Щегольков Ю.В., Алышева Э.И., Борисовский С.Е. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 1. С. 3–46.

Чугаев А.В., Плотинская О.Ю., Чернышёв И.В., Котов А.А. Неоднородность изотопного состава Pb в сульфидах различных парагенетических ассоциаций на золоторудном месторождении Вернинское (Байкало-Патомское нагорье, Россия) // Доклады АН. 2014. Т. 457. № 3. С. 1–6.

Юдовская М.А., Дистлер В.В., Родионов Н.В., Мохов А.В., Антонов А.В., Сергеев С.А. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 1. С. 32–64.

Belogub E.V., Palenova E.E., Chugaev A.V., Plotinskaya O.Yu. Origin of gold ores in black-shale hosted deposits of the Bodaybo region, Russia // Acta Geologica Sinica (English Edition). 2014. V. 88 (supp. 2). P. 252–253.

Distler V.V., Yudovskaya M.A., Mitrofanov G.L., Prokof'ev V.Yu., Lishnevskii E.N. Geology, composition and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia // Ore Geology Reviews. 2004. V. 24. P. 7–44.

Drymiotis F., Day T.W., Brown D.R., Heinz N.A., Snyder G.J. Enhanced thermoelectric performance in the very low thermal conductivity $\text{Ag}_2\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ // Applied Physics Letters. 2013. V. 103. 143906. doi: 10.1063/1.4824353.

Gu X.P., Watanabe M., Hoshino K., Shibata Y. New find of silver tellurosulphides from the Funan gold deposit, East Shandong, China // European Journal of Mineralogy. 2003. V. 15. P. 147–155.

Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V., Zhaoshan C. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log Deposit, Lena gold province, Russia // Economic Geology. 2007. V. 102. P. 1233–1267.

Novoselov K.A., Belogub E.V., Zaykov V.V., Yakovleva V.A. Silver sulfotellurides from volcanic-hosted massive sulfide deposits in the Southern Urals // Mineralogy and Petrology. 2006. V. 87. P. 327–349.

Palenova E.E., Belogub E.V., Lebedeva S.M., Shtenberg M.B., Mironov A.B., Khvorov P.V. Florencite from gold bearing black shale from Lena gold province, Eastern Siberia, Russia // XXI Meeting of the International Mineralogical Association (IMA-2014). Johannesburg, 2014.

Zaykov V., Novoselov K., Kotlyarov V. Native gold and tellurides in the Murgul and Cayeli volcanogenic Cu deposits (Turkey) // Au-Ag-Te-Se deposits. Proceedings of the field workshop. Izmir, Turkey, 2006. P. 167–172.

Поступила в редакцию 20 октября 2014 г.