

УДК 553.2: 549.283

СОСТАВ ЗОЛОТА И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ РУД ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОПТО (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

Р.В. Кужугет¹, Н.Н. Анкушева^{2,3}, Ш.Н. Ооржак¹, Ю.В. Бутанаев¹

¹*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, ул. Интернациональная 117а, г. Кызыл, 667007 Россия; rkuzhuget@mail.ru*

²*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, 457317 Россия; ankusheva@mail.ru*

³*Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, ул. 8 июля 10, г. Миасс, 457301 Россия*

COMPOSITION OF GOLD AND FORMATION CONDITIONS OF ORES FROM THE KOPTO HYDROTHERMAL DEPOSIT (NORTHEAST TUVA)

R.V. Kuzhuget¹, N.N. Ankusheva^{2,3}, Sh.N. Oorzhak¹, Yu.V. Butanaev¹

¹*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, ul. Internatsional'naya 117a, Kyzyl, 667007 Russia; rkuzhuget@mail.ru*

²*Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, 456317 Russia; ankusheva@mail.ru*

³*South Urals State University, Miass Branch, ul. 8 Iyulya 10, Miass, 456301 Russia*

Рассмотрены минералого-геохимические особенности и условия формирования золота штокверкового месторождения Копто, наложенного на скарны и апоскарновые метасоматиты Тарданского рудного узла (северо-восток Республики Тува). Золоторудная минерализация генетически связана с дайками гранит-порфиров раннетаннуольского комплекса (O₁tn) и сопряжёнными с ними среднетемпературными метасоматитами березит-лиственитовой формации. По составу продуктивной минеральной ассоциации месторождение отвечает золото-пирит-халькопиритовому типу с электрумом, акантитом, самородным висмутом и баритом. Средняя пробность золота месторождения составляет 802 при вариациях от 969 до 524. Образование золото-сульфидно-кварцевых прожилков происходило при температурах 230–165 °С из растворов состава NaCl–H₂O, NaCl–KCl–H₂O и MgCl₂–H₂O с концентрациями солей 4–8 мас. % NaCl-экв.

Илл. 4. Табл. 1. Библ. 14.

Ключевые слова: самородное золото, месторождения золота, кварц, Тува.

The mineralogical and geochemical peculiarities and formation conditions of gold are considered for the Kopto gold stockwork deposit juxtaposed on skarns and metasomatites of the Tardan gold cluster (Northeast Tuva). Gold mineralization is confined to granite-porphyry dikes of the Early Ordovician Early Tannuola complex and associated beresite-listvenite metasomatites. In composition of productive mineral assemblage, the Kopto with electrum, acanthite, native bismuth and barite deposit belongs to gold-pyrite-chalcopyrite type. The fineness of native gold varies from 969 to 524 (802, on average). According to the fluid inclusion data, the gold-sulfide-quartz veins were formed at 230–165 °C from NaCl–H₂O, NaCl–KCl–H₂O and MgCl₂–H₂O fluids with salinity of 4–8 wt. % NaCl equiv.

Figures 4. Tables 1. References 14.

Key words: native gold, gold deposits, quartz, Tuva.

Введение

Геолого-съёмочные и поисковые работы 1963–1967 гг. на площади Тарданского рудного узла выявили золоторудные объекты в скарнах (Тардан, Копто, Соруглуг-Хем, Барсучий) и березитах (Тардан-2), а также ряд мелких проявлений и многочисленные точки минерализации золота. На месторождении Копто золоторудная минерализация была установлена в 1965 г. при проведении поисковых работ масштаба 1:10000 с применением площадной геохимической и геофизической съёмки в контактовой части Копто-Байсютского габбро-диорит-плагиогранитного массива раннетаннуольского комплекса (O_1tn). Предшественниками золоторудная минерализация месторождения отнесена к золото-скарновой формации (Кильчичаков и др., 1966). Поисково-оценочные работы проведены Тувинской геологоразведочной экспедицией в 1977 г., когда были околонтурены с поверхности рудные тела и оценены прогнозные ресурсы категории P_2 (Кильчичаков и др., 1977). В 1997 г. для проведения экспериментальных работ по извлечению золота из руд в скарнах Тувинским институтом комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (ТувИКОПР СО РАН) получена лицензия на опытно-промышленную отработку руд месторождения. По результатам работ 1997–1999 гг. получены новые сведения о морфологии, внутреннем строении рудных тел, их вещественном составе и качестве руд (Лебедев и др., 1998). Целью данной работы является установление минералого-геохимических особенностей золота и условий формирования руд месторождения Копто.

Методика исследований

Образцы руд отобраны из коренных выходов, разведочных канав и карьера (до 6 м глубиной), вскрывающего основное рудное тело № 1. Химический состав минералов определялся методом сканирующей электронной микроскопии (Tescan Vega 3 SBU с ЭДС Oxford Instruments X-act, Институт минералогии УрО РАН, аналитик И.А. Блинов). Фотографии в отражённых электронах выполнены с помощью СЭМ Tescan Vega 3 и Hitachi TM-1000 (ТувИКОПР СО РАН, оператор Р.В. Кужугет). Для характеристики золота и твёрдых растворов системы Au–Ag использована терминология, принятая в работе (Петровская, 1973): самородное золото 1000–700 (весьма высокопробное – 1000–950, вы-

сокопробное – 950–900, среднепробное – 900–800, низкопробное – 800–700), электрум 700–300 и кюстелит – 300–100, а также Au-содержащее серебро – с пробностью меньше 100. Условия формирования минеральных ассоциаций исследовались по индивидуальным флюидным включениям в кварце с помощью стандартных термобарогеохимических методов. Флюидные включения проанализированы в микротермокамере TMS-600 (Linkam), позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале –196 до +600 °С, с микроскопом Olympus BX 51 (лаборатория термобарогеохимии Южно-Уральского государственного университета, аналитик Н.Н. Анкушева). Программное обеспечение LinkSys 32 DV-NC. Солевой состав растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик (Борисенко, 1977). Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз по данным (Bodnar, Vityk, 1994). Обработка результатов измерений выполнена в программе Statistica 6.1.

Геологическое строение месторождения

Месторождение Копто расположено на водоразделе рек Копто и Бай-Сют на северо-востоке Республики Тува. Золото-сульфидно-кварцевое оруденение штокверкового типа локализовано в зоне дробления и интенсивной трещиноватости в скарнах, залегающих в виде линзовидных залежей среди диоритов Копто-Байсютского габбро-диорит-плагиогранитного массива раннетаннуольского комплекса (O_1tn) и вулканогенно-карбонатных пород туматтайгинской свиты ($R-C_1tm$). Протяжённость скарновой залежи составляет 800–850 м, мощность – 100–150 м. Простираение северо-западное (аз. 330–340°), падение, предположительно, крутое на северо-восток. Сложное внутреннее строение залежи обусловлено различной степенью контактово-метасоматических и гидротермальных изменений, наличием линзообразных даек гранит-порфиров раннетаннуольского комплекса (O_1tn) и интенсивным тектоническим воздействием на породы (рис. 1). Дайки гранит-порфиров внедрялись после образования скарнов. Дайки хлоритизированы, эпидотизированы, березитизированы и окварцованы с образованием золото-сульфидной минерализации. По составу скарны гранатовые, пироксеновые и пироксен-гранатовые с гематитом и магнетитом. Скарны гидротермально изменены (в основном, лиственилизированы) и содержат

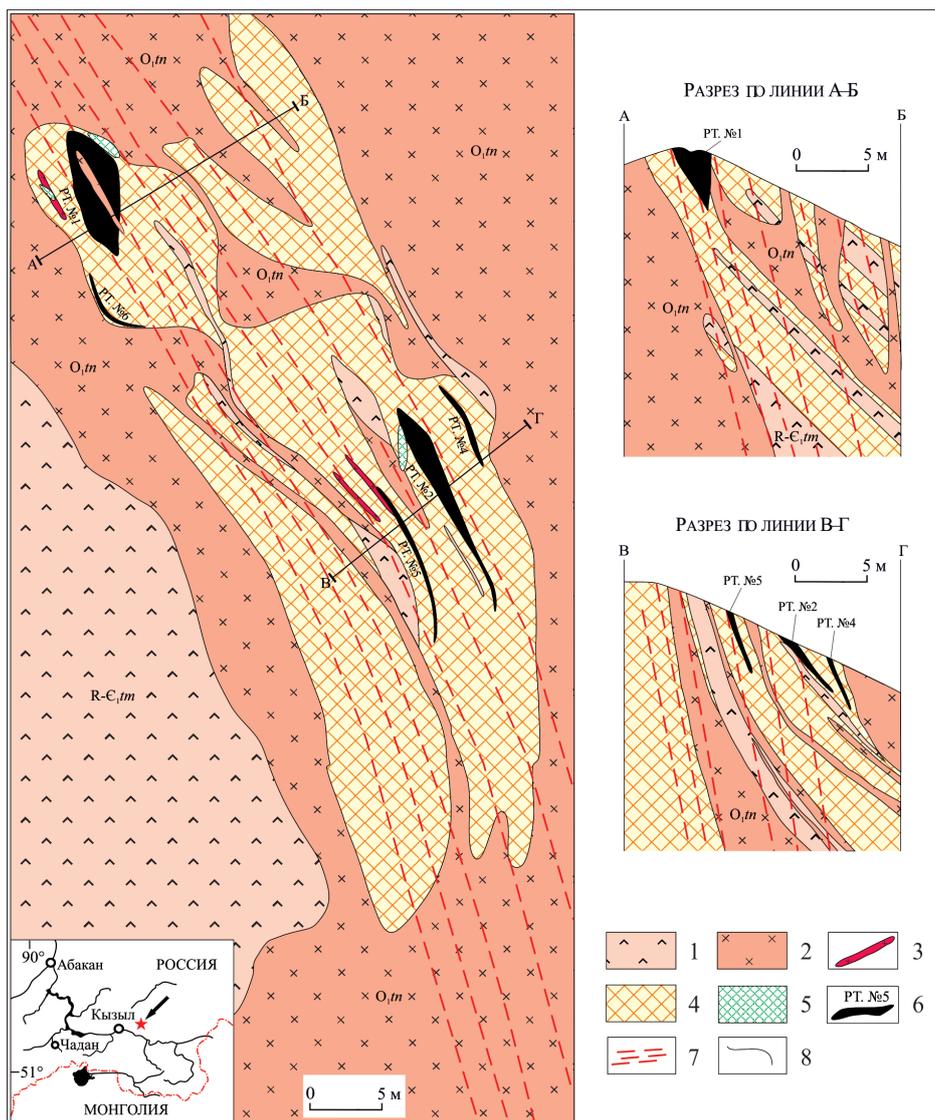


Рис. 1. Геологическая карта месторождения Копто по данным (Кильчицаков и др., 1977).

1 – осадочно-вулканогенные породы туматтайгинской свиты (R-C₁tm): риолиты и их туфы с прослоями доломитов; 2–3 – раннетаннуольский габбро-диорит-плагιοгранитный комплекс (O₁tn): 2 – кварцевые диориты; 3 – дайки гранит-порфиров; 4 – скарны; 5 – метасоматиты березит-лиственитовой формации; 6 – рудные тела и их номера; 7 – зоны дробления; 8 – геологические границы.

Fig. 1. Geological map of the Kopto deposit after (Kilchichakov et al., 1977).

1 – volcanosedimentary rocks of the Tumat-Taiga Formation (R-C₁tm): rhyolites and their tuffs interbedded with dolomites; 2–3 – Early Tannuola diorite-tonalite-plagiogranite complex (O₁tn): 2 – quartz diorites; 3 – dikes of porphyry granites; 4 – skarns; 5 – beresites-listvenites; 6 – ore bodies and their numbers; 7 – fracture zones; 8 – geological boundaries.

прожилки кварца и вкрапленность пирита и халькопирита. Наложенная золото-сульфидно-кварцевая минерализация в скарнах образует прожилково-штокверковые тела с содержаниями сульфидов от 3 до 10 %, в среднем – 5 %. Сульфидно-кварцевые прожилки ориентированы субпараллельно друг другу. Кварц в прожилках мелкозернистый, с характерным жирным блеском.

В скарновой зоне выявлено пять рудных тел протяжённостью 30–100 м и мощностью 1.0–

11.0 м со средними содержаниями Au 4.7–12.9 г/т (при бортовых содержаниях 0.1–2.0 г/т). Все рудные тела вытянуты по простиранию зоны дробления. В скарнах вскрыта зона вторичного обогащения медью (с содержанием Cu до 3.0 мас. %) мощностью 10 м, погружающаяся, как и само прожилково-штокверковое тело № 1, на северо-восток под углом 70°.

В результате реализации лицензионного соглашения об «Опытно-промышленном извлечении зо-

лота и попутных компонентов из руд Коптинского месторождения» ТувИКОПР СО РАН рудное тело № 1 отработано опытным карьером, в среднем, до глубины 6 м. В результате установлено, что рудное тело № 3 является ответвлением рудного тела № 1 и на глубине соединяется с ним. На экспериментальном обогатительном комплексе гравитационного извлечения ТувИКОПР СО РАН во время полевого сезона 1999 г. переработано 2153 т руды с запасами золота 24.314 кг, из которых добыто 16.777 кг шлихового золота. Коэффициент извлечения составил 69 %. Хвосты переработки с остатком запасов золота 7.638 кг складированы в хвостохранилище для извлечения из них золота по другой технологии (Лебедев и др., 1998).

Распределение Au в рудах неравномерное. Наиболее крупное тело № 1 прожилкового типа имеет длину по простиранию 68 м и по падению 40 м и среднюю мощность 11 м. Средние содержания Au составляют 11.3 г/т (в единичных пробах до 616 г/т), Ag – 10–40 г/т, Cu – 1.6 мас. %.

Породы скарновой зоны интенсивно лимонитизированы. Гидроксиды железа развиты по магнетиту (слагающему как мономинеральные, так и кварц-магнетитовые прожилки и линзы), пириту и халькопириту. При изучении взаимоотношений жил и прожилков установлено, что благороднометаллическая минерализация на месторождении наложена на гранатовые, пироксеновые и гранат-пироксеновые скарны и апоскарновые метасоматиты и парагенетически связана с дайками гранит-порфиров раннетаннуольского комплекса (O_1tn) и сопряжёнными с ними метасоматитами березит-лиственитовой формации.

С поверхности руды месторождения окислены до глубины 80–90 м. В коре выветривания развиты лимонит, гётит, гидрогётит, гематит, малахит, азурит, иодаргирит и серебро. Вторичные сульфиды представлены халькозином, ковеллином, акантитом-II, ютенбогардтитом и петровскаитом.

Состав самородного золота

В зоне окисления скарнов и руд отмечаются лимонит-кварцевые и слабоокисленные золото-сульфидно-кварцевые прожилки с пиритом, халькопиритом, пирротинном и акантитом-I и зёрнами золота размером до 5 мм в кварце. Цвет зёрен золота варьирует от золотисто-жёлтого до серебристого с желтоватым оттенком. Для золота характерны комковидные, комковидно-ветвистые,

трещинно-прожилковые, интерстициальные, ячеистые, удлинённые, дендритовидные (плоские, трёхмерные), смешанные формы (рис. 2а, б). Реже отмечаются идиоморфные кристаллы с комбинацией куба и октаэдра, пентагондодекаэдрического облика и их срастания (см. рис. 2г–е). Золото и электрум ассоциируют с акантитом-I (зёрна до 30 мкм), который отмечается в кварце и халькопирите. Химический состав акантита-I (мас. %): Ag 85.96–86.91; S 12.67–13.10, формула (расчёт на 3 атома) – $Ag_{2.01-1.98}S_{1.02-0.99}$.

По данным предшественников (Лебедев и др., 1998) и собственным исследованиям, гранулометрический состав золота прожилковых руд в скарнах и апоскарновых метасоматитах на месторождении варьирует незначительно: количественно преобладают фракции <0.1 мм (58.37 %), 0.25–0.10 мм (35.58 %), и, в меньшей степени, 0.5–0.25 (4.99 %), 1.0–0.5 мм (0.87%) и >1 (0.19 %).

По классификации Н.В. Петровской (1973) самородное золото месторождения Копто представлено:

- 1) весьма высокопробным золотом (969–957): (Au 95.71–96.61 мас. %; Ag 3.04–4.34 мас. %);
- 2) высокопробным золотом (928–902): (Au 89.61–92.23 мас. %; Ag 7.06–9.71 мас. %);
- 3) среднепробным золотом (899–800): (Au 80.26–89.98 мас. %; Ag 10.06–20.01 мас. %);
- 4) низкопробным золотом (798–704): (Au 69.87–79.73 мас. %; Ag 20.14–29.38 мас. %);
- 5) электрумом (692–524): (Ag 30.63–47.56 мас. %; Au 52.42–69.00 мас. %; Cu 0.00–0.90 мас. %).

Для зёрен золота характерна зональность: содержание Au от центра зерна к периферии уменьшается на 3–13 мас. % при увеличении Ag (табл., рис. 3).

Зёрна весьма высокопробного золота отмечены только в лимоните по халькопириту; высокопробного, среднепробного и низкопробного золота и электрума – в кварце, пирите, халькопирите и гидроокислах железа (см. рис. 3). Отмечаются сложные агрегаты низкопробного золота и электрума в срастании со среднепробным золотом (см. рис. 3е). Основываясь на наблюдениях текстурно-структурных особенностей и возрастных взаимоотношений минеральных агрегатов в рудах, установлена последовательность образования минеральных парагенезисов продуктивной стадии: кварц + пирротин + пирит → халькопирит + арсенопирит + галенит + весьма высокопробное золото (969–957) → высокопробное золото (928–

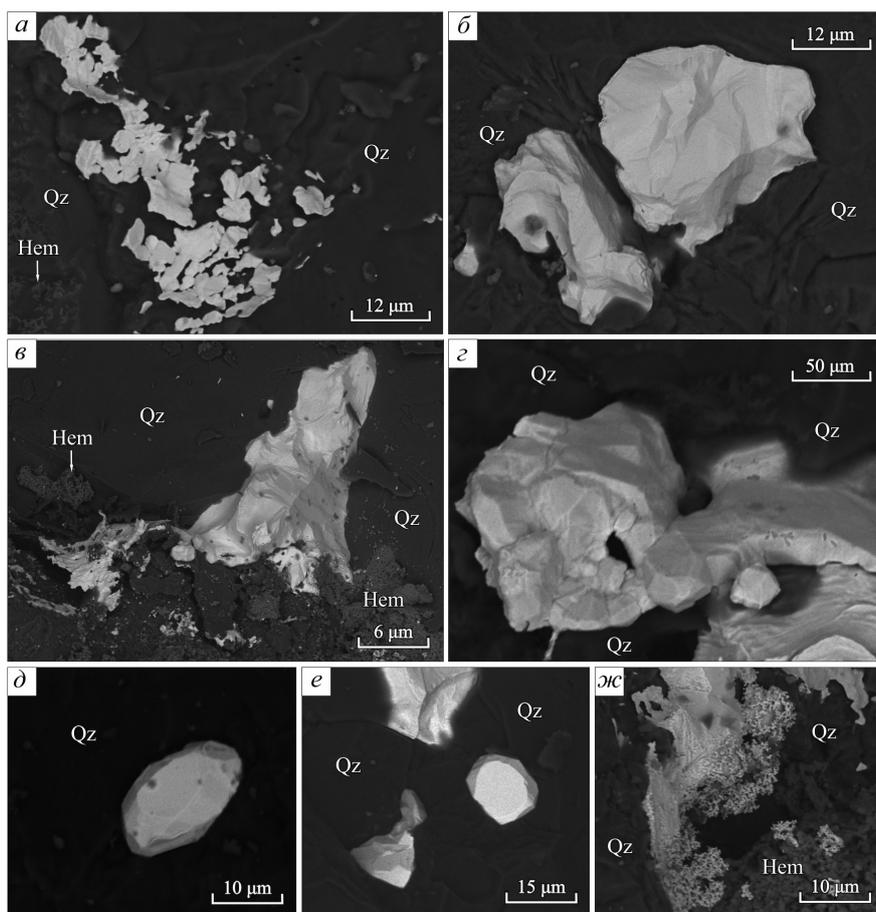


Рис. 2. Морфология золота в кварце (Qz) и гематите (Hem). BSE-фото, СЭМ Hitachi TM-1000.
 Fig. 2. Morphology of gold in quartz (Qz) and hematite (Hem). BSE-photo, SEM Hitachi TM-1000.

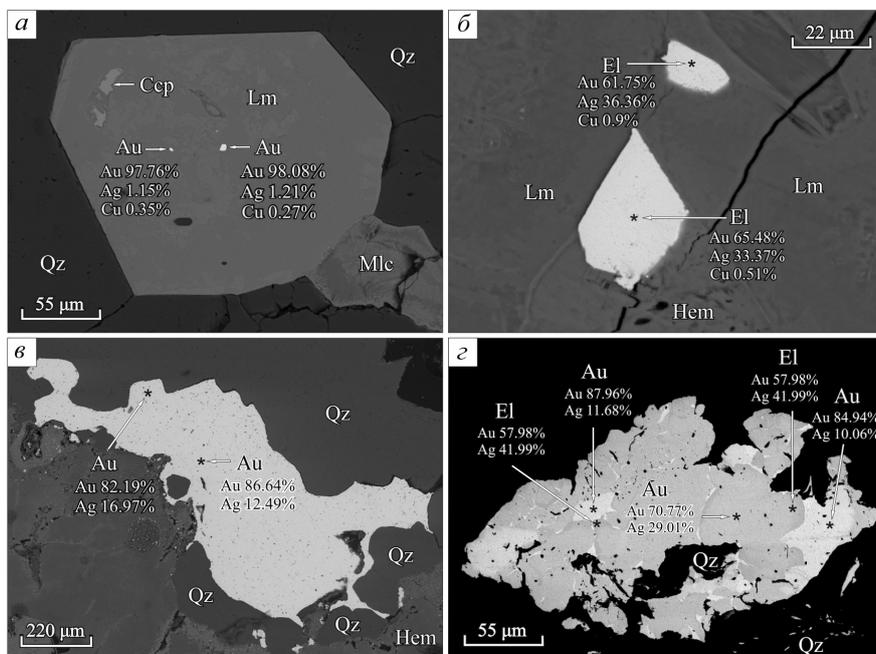


Рис. 3. Зёрна золота (Au), электрума (El) в кварце (Qz), лимоните (Lm) и гематите (Hem) по халькопириту (Cep). Чёрное – эпоксидный клей. BSE-фото, СЭМ Tescan Vega 3.

Fig. 3. Grains of gold (Au), electrum (El) and petrovskite in quartz (Qz), limonite (Lm) and hematite (Hem) after chalcopyrite (Cep). Black – epoxy resin. BSE-photo, SEM Tescan Vega 3.

Таблица

Химический состав золота (мас. %)

Table

Chemical composition of gold (wt. %)

Образец	№ ан.	Зона	Au	Ag	Cu	Сумма	Пробность
КП-1	18046d	центр	61.75	36.36	0.90	99.01	624
	18046e	центр	65.48	33.37	0.51	99.37	659
КП-2	18040i	центр	85.71	14.91	–	100.62	852
	18040j	центр	83.67	15.81	–	99.49	841
	18040k	край	76.46	22.55	–	99.01	772
КП-3	18041i	центр	89.73	9.54	–	99.27	904
	18041g	край	78.65	20.52	–	99.17	793
	18041c	центр	89.98	10.24	–	100.22	898
	18041d	край	76.66	23.26	–	99.92	767
	18041e	центр	88.99	10.94	–	99.93	891
	18041f	край	83.06	17.09	–	100.15	829
	18041a	центр	86.64	12.49	–	99.13	874
	18041b	край	82.19	16.97	–	99.16	828
КП-5	18041j	центр	81.25	18.26	–	99.52	816
	18041k	край	74.66	24.90	–	99.56	750
	18039o	центр	96.24	3.59	–	99.83	964
	18039p	край	95.95	4.13	–	100.08	959
	18039c	центр	95.74	4.34	–	100.07	957
	18039d	край	95.71	3.87	–	99.58	961
	18039j	центр	92.23	7.06	–	99.29	929
	18039i	край	81.40	18.20	–	99.60	817
	18039l	центр	85.31	14.39	–	99.70	856
	18039k	край	79.06	20.14	–	99.20	797
	18039m	центр	81.68	18.06	–	99.73	819
	18039n	край	77.28	22.13	–	99.41	777
	18039t	центр	84.03	16.22	–	100.25	838
	18039u	край	75.81	23.80	–	99.61	761
	18039r	центр	80.26	20.01	–	100.27	800
	18039s	край	73.36	26.61	–	99.96	734
18039b'	центр	82.16	17.79	–	99.95	822	
18039a'	край	69.87	29.38	–	99.25	704	
18040h	центр	70.68	28.73	–	99.41	711	
18040g	край	57.98	41.99	–	99.97	580	
18039x	центр	69.00	30.63	–	99.64	692	

Примечание. Прочерк – не обнаружено.

Note. Dash – not detected.

902) → среднепробное золото (899–800) + Zn-теннантит-тетраэдрит → низкопробное золото (798–704) → электрум (692–524) + барит + акантит-I ± самородный висмут.

Средняя пробность золота месторождения Копто составляет 802 (65 ан.) при вариациях от 524 до 969. В целом, в рудах количественно преобладает среднепробное (40 %) и низкопробное золото (32.3 %), в меньшей степени, электрум (12.3 %), менее распространено весьма высокопробное (10.8 %) и высокопробное золото (4.6 %) (рис. 4).

Условия формирования жил

Образование наложенного золото-сульфидно-кварцевого оруденения на скарны, апоскарновые метасоматиты, пропилизированные породы и дайки гранит-порфиров на месторождении Копто происходило в течение трёх стадий: 1) *дорудная березит-лиственитовая* (кварц, пирит, серицит, фуксит, кальцит, анкерит, доломит и т.д.); 2) *продуктивная золото-сульфидно-кварцевая* (кварц, пирит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, галенит, золото, электрум, акантит-I, барит, самород-

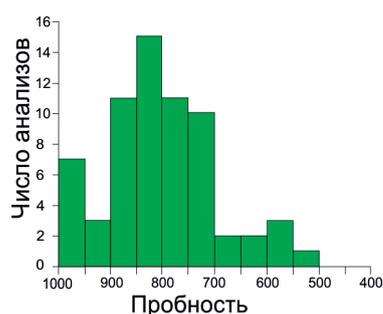


Рис. 4. Гистограмма пробности самородного золота месторождения Копто.

Fig. 4. Histogram of finenesses of native gold of the Kopto deposit.

ный висмут ± Zn-теннантит-тетраэдрит); 3) **пост-рудная карбонат-кварцевая** (кальцит, анкерит и кварц).

Термобарогеохимическими методами были исследованы флюидные включения в кварце сульфидно-кварцевых жил продуктивной стадии северного фланга рудного тела № 1 месторождения. Включения имеют удлинённую, близкую к треугольной, форму с извилистыми границами, иногда проявлены элементы кристаллографических граней. Были изучены наиболее крупные двухфазные (до 15 мкм) обособленные включения, не связанные с видимыми трещинами в кварце, отнесённые к первичным (первично-вторичным) по классификации Н.П. Ермакова (1972) и Э. Реддера (1978). В кварце присутствуют однофазные жидкостные и газовые включения, а также цепочки мельчайших (до 3 мкм) вторичных включений, трассирующих трещины в зёрнах.

Установлено, что включения содержат растворы с температурами эвтектики от -23.0 до -36.4 °C ($n = 60$), что указывает на присутствие в водно-солевом растворе $MgCl_2$, $NaCl$ и KCl (Борисенко, 1977). Температуры плавления последнего кристалла льда во включениях варьируют от -2.7 до -6.0 °C, соответственно, значения солёности составляют 4.0–7.6 мас. % $NaCl$ -экв. (Bodnar, Vytik, 1994). Включения гомогенизировались в жидкую фазу при температурах от 165 до 230 °C.

Обсуждение результатов

Присутствие сложных агрегатов низкопробного золота и электрума в сростании со среднепробным золотом может указывать на отложение золота в течение нескольких стадий или образование в течение одной стадии в нестабильной обстановке малых глубин (Петровская, 1973; Нико-

лаева, Яблокова, 2007). Зональность зёрен золота, обусловленная только примесью Ag (см. табл. 3), и широкий разброс пробности золота (969–524) подтверждают их образование на малых глубинах (2–3 км) в течение одной стадии минералообразования. По данным Л.А. Николаевой, С.В. Яблоковой (2007), месторождения, образовавшиеся в стабильных термостатированных условиях больших и средних глубин, характеризуются низкой дисперсией пробности в отличие от низкотемпературных месторождений, формировавшихся в нестабильной обстановке малых глубин (менее 3 км), где дисперсия пробности обычно высокая.

Формирование минерализации золота происходило в течение одной стадии, и по составу продуктивной минеральной ассоциации оруденение отвечает золото-пирит-халькопиритовому типу с электрумом, акантитом, баритом и самородным висмутом. В рудах месторождения наблюдается стандартный тренд (ряд при снижении температуры) золота от высокопробного золота до электрума в ассоциации с Ag_2S , характерный для малоглубинных низкотемпературных золото-кварцевых месторождений. Так, в некоторых зёрнах золота от центра к периферии состав изменяется от высокопробного золота (Au 89.61, Ag 9.71 мас. %) до электрума (Ag 28.73, Au 57.98 мас. %). Вероятно, в конце продуктивной стадии при резком снижении температуры рудоносных растворов с высоким отношением Ag:Au на месторождении активно отлагались низкопробные минералы ряда Au–Ag.

Минералогические данные, указывающие на образование руд месторождения Копто на малых глубинах на фоне снижения температур, согласуются с результатами термобарогеохимических исследований, по данным которых установлено, что руды формировались при низких температурах (230–165 °C). Рудоотложение шло с накоплением Ag, о чём свидетельствуют эволюция состава самородного золота (золото → электрум) и появление позднего акантита-II. Экспериментально установлено (Paľyanova et al., 2012), что осаждение Ag_2S происходит при отношении $Ag/Au > 10$.

По минералого-геохимическим особенностям и условиям образования руд месторождение Копто близко золото-сульфидно-кварцевому рудопроявлению Тардан-2 Тарданского рудного узла в березитизированных плагиогранитах (Кильчицаков и др., 1966). По составу продуктивной минеральной ассоциации Тардан-2 отвечает золото-халькопирит-сульфосольному типу с минералами ряда Au–Ag–

Hg (золотом, электрумом, ртутистым электрумом и кюстелитом), сульфидами Ag и Bi (AgBiS_2 , Bi_2S_3), самородным висмутом и баритом. Кристаллизация минеральных ассоциаций продуктивной стадии данного рудопроявления происходила в условиях гипабиссальной фации глубинности ($P \sim 0.73\text{--}0.98$ кбар; $\sim 2.1\text{--}3.0$ км) при температурах $280\text{--}139$ °C из Na-K-Mg-хлоридных растворов с солёностью 1.4–6.8 мас. % NaCl-экв (Кужугет и др., 2018). Для самородного золота Тардан-2 характерны широкие вариации пробности (845–201, в среднем, 598), и эволюция состава золота от среднепробного золота до ртутистого кюстелита через низкопробное золото, электрум и ртутистый электрум. Данный тренд, характерный для малоглубинных объектов, наблюдается в пределах одного зерна золота (Петровская, 1973; Спиридонов, 1991, 2010; Кужугет и др., 2015).

Если принять, что глубины формирования месторождения Копто и близкорасположенного рудопроявления Тардан-2, сходны, то формирование руд Копто происходило на глубинах $\sim 2.1\text{--}3.0$ км. На это также указывают типоморфные особенности самородного золота месторождения, а также близкие минералого-геохимические особенности и условия образования рудопроявления Тардан-2.

Заключение

Таким образом, месторождение Копто с пост-скарновой гидротермальной минерализацией золота штокверкового типа по минералого-геохимическим особенностям руд и типоморфным свойствам золота относится к малоглубинной плутоногенной золото-сульфидно-кварцевой березит-лиственитовой формации, а по составу продуктивной минеральной ассоциации – к золото-пирит-халькопиритовому минеральному типу с электрумом, акантитом, баритом и самородным висмутом.

Самородному золоту месторождения свойственны широкие вариации пробности (928–524, среднее 802), образующие стандартный ряд (тренд), характерный для малоглубинных золото-кварцевых месторождений от весьма высокопробного золота до электрума. Самородное золото и электрум ассоциируют с пирротинном, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, галенитом, Zn-теннантит-тетраэдритом, баритом, самородным висмутом и акантитом-I. Рудоотложение происходило на малых глубинах ($\sim 2.1\text{--}3.0$ км) с накоплением Ag, о чём свидетельствуют типоморфные

особенности самородного золота, и, прежде всего, эволюция состава самородного золота (весьма высокопробное золото \rightarrow электрум) и появление позднего акантита-I. Руды месторождения интенсивно окислены до глубины 80–90 м с образованием каркасно-лимонитовых руд. В коре выветривания развиты гипергенные минералы Ag и Au: иодаргирит, гипергенное серебро, акантит-II, ютенбогардит, петровскит и др.

Кварц золото-сульфидно-кварцевых прожилков из рудных тел месторождения Копто кристаллизовался при понижении температур от 230 до 165 °C из Na-K-Mg-хлоридных флюидов с солёностью в интервале от 4 до 8 мас. %. Комплексный хлоридный состав растворов предполагает участие глубинных (магматических) флюидов в процессе минералообразования.

Авторы благодарны И.А. Блинову за проведение электронно-микроскопических исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 17-45-170970 p_a). Термобарогеохимические исследования поддержаны з/б темой № АААА-А16-116021010244-0.

Литература

- Борисенко А.С.** (1977) Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии. *Геология и геофизика*, **8**, 16–28.
- Ермаков Н.П.** (1972) Геохимические системы включений в минералах. М., Недра, 376 с.
- Кильчичаков К.М., Токунов В.Ф., Плеханов А.И.** (1966) Результаты оценки Тарданского золоторудного месторождения и поисков золота в бассейне р. Бай-Сют. Кызыл, 150 с.
- Кильчичаков К.М., Плеханов А.М., Кацапов А.Н.** (1977) Результаты поисково-оценочных работ на рудное золото в районе Тарданского месторождения. Кызыл, 139 с.
- Кужугет Р.В., Зайков В.В., Лебедев В.И., Монгуш А.А.** (2015) Золоторудная минерализация Хаак-Сайрского золото-кварцевого рудопроявления в лиственитах (Западная Тува). *Геология и геофизика*, **9**, 1693–1712.
- Кужугет Р.В., Прокопьев И.Р., Редина А.А.** (2018) Минералого-геохимические особенности и РТХ-условия формирования золото-сульфидно-кварцевого рудопроявления Тардан-2 (Северо-Восточная Тува). *Геология, магматизм и металлогения Центра Азии. 2018: Рудно-магматические системы Сангилены (щелочные интрузивы, карбонатиты): Материалы I Всероссийской полевой конференции с международным участием*. Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 53–57.
- Лебедев В.И., Каминский Ю.Д., Самданчип Т.Х.** (1998) Новые процессы извлечения полезных компонентов из руд и технологии глубокой переработки гор-

нородного и техногенное сырьё Тувы и Монголии с использованием нетрадиционных методов обогащения руд и техногенных отходов, содержащих благородные и редкие металлы. *Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии, геоэкология природной среды и общества*. Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. Кызыл, Изд-во ТувИКОПР СО РАН, 14–20.

Николаева Л.А., Яблокова С.В. (2007) Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геологоразведочных работах. *Руды и металлы*, **6**, 41–57.

Петровская Н.В. (1973) Самородное золото. М., Наука. 348 с.

Реддер Э. (1978). Флюидные включения в минералах. М., Мир, Т. 1. 360 с.

Спиридонов Э.М. (2010) Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации. *Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов: Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции, посвящённой 80-летию Кольского НЦ РАН. Апатиты*. Изд-во К&М, 143–171.

Спиридонов Э.М. (1991) Самородное ртутистое золото Северного Казахстана. *Новые данные о минералах*, **37**, 108–127.

Bodnar R.J., Vityk M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions. *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena, 117–130.

Pal'yanova G.A., Kokh K.A., Seryotkin Y. (2012). Formation of gold-silver sulfides and native gold in Fe–Ag–Au–S system. *Russian Geology and Geophysics*, **4**, 347–355.

References

Borisenko A.S. (1977) [Study of salinity of fluid inclusions in minerals using cryometry]. *Geologiya i geofizika*, **8**, 16–28 (in Russian).

Bodnar R.J., Vityk M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions. *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena, 117–130.

Ermakov N.P. (1972) [Geochemical systems of inclusions in minerals]. Moscow, Nedra, 376 p. (in Russian).

Kilchichakov K.M., Tokunov V.F., Plekhanov A.I. (1966) [Results of evaluation of the Tardan gold deposit and prospecting for gold in the Bai-Syut River basin]. Kyzyl, 150 p. (in Russian).

Kilchichakov K.M., Plekhanov A.M., Katsapov A.N. (1977) [Prospecting for gold in the area of the Tardan deposit]. Kyzyl, 139 p. (in Russian)

Kuzhuget R.V., Zaikov V.V., Lebedev V.I., Mon-gush A.A. (2015) [Gold mineralization of the Khaak-Sair gold–quartz ore occurrence in listwänites (Western Tuva)]. *Russian Geology and Geophysics*, **9**, 1332–1348.

Kuzhuget R.V., Prokopyev I.R., Redina A.A. (2018) [Mineralogical-geochemical features and PTX formation conditions of the Tardan-2 gold-sulfide-quartz occurrence (Northeast Tuva)]. *Geologiya, magmatizm i metallogeniya Central'noy Azii*. 2018: *Rudno-magmaticheskie sistemy Sangilena (shchelochnye intruzivy, karbonatity): Materialy I Vserossiyskoy polevoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Geology, magmatism and metallogeny of Central Asia. 2018: Ore-magmatic systems of Sangilen (alkaline intrusives, carbonatites): Proceedings of the first All-Russian field conference with international participation]. Kyzyl, TuvIENR SB RAS, 53–57. (in Russian).

Lebedev V.I., Kaminsky Yu.D., Samdanchap T.H. (1998) [New processes of extraction of valuable components from ores and technology of deep mining and technogenic raw materials of Tuva and Mongolia using non-traditional methods of ore and technogenic waste with noble and rare metals]. *Sostoyanie i osvoenie prirodnikh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii, geoekologiya prirodnoy sredy i obshchestva* [State and exploration of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia, geoecology of natural environment and society]. Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 14–20. (in Russian).

Nikolaeva L.A., Yablokova S.V. (2007) [Typomorphic features of native gold and their implication for geological prospecting]. *Rudy i Metally [Ores and Metals]*, **6**, 41–57 (in Russian)

Pal'yanova G.A., Kokh K.A., Seryotkin Y. (2012). Formation of gold-silver sulfides and native gold in Fe–Ag–Au–S system. *Russian Geology and Geophysics*, **4**, 347–355.

Petrovskaya N.V. (1973) [Native gold]. Moscow, Nauka, 348 p. (in Russian)

Redder E. (1978) [Fluid inclusions in minerals]. Moscow, Mir, V. 1. 360 p. (in Russian).

Spiridonov E.M. (1991) [Primary Hg-bearing gold of northern Kazakhstan]. *Novye dannye o mineralakh [New data on minerals]*, **37**, 108–127. (in Russian)

Spiridonov E.M. (2010) [Review of gold mineralogy in main types of Au mineralization]. *Zoloto Kol'skogo poluostrova i sopredel'nykh regionov: Trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchyonnoy 80-letiyu Kol'skogo NC RAN [Gold of the Kola Peninsula and adjacent regions. Proceedings of the Russian conference dedicated to the 80th anniversary of the Kola Scientific Center (Russian Academy of Sciences)]*. Apatity, 143–171. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 30 мая 2018 г.