



❖ ————— ❖

**ГЕОЭКОЛОГИЯ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
GEOECOLOGY AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT**

УДК 553.2: 549.283 (571.52)

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КЫЗЫК-ЧАДЫРСКОГО ЗОЛОТО-МОЛИБДЕН-МЕДНОПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

*Кужугет Р.В.^{1,2}, Хертек А.К.¹, Монгуш А.А.¹, Ооржак Ш.Н.¹
Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН¹, Кызыл
Тувинский государственный университет², Кызыл*

**TYPOMORPHIC FEATURES OF NATIVE GOLD OF KYZYK-CHADYR
GOLD-COPPER-MOLYBDENUM PORPHYRY DEPOSIT, EASTERN TUVA**

*Kuzhuget R.V.^{1,2}, Khertek A.K.¹, Mongush A.A.¹, Oorzhak Sh.N.¹
Tuvianin Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS¹, Kyzyl
Tuvan State University², Kyzyl*

В статье рассмотрены типоморфные особенности самородного золота Кызык-Чадырского золото-молибден-меднопорфирового месторождения. Отложение минералов золота месторождения происходило на золото-сульфидно-кварцевой стадии в следующей последовательности минералообразования: весьма высокопробное золото → высокопробное золото → среднепробное золото (Hg до 4 мас. %) → низкопробное золото (Hg до 7 мас. %) → Hg-содержащий и ртутистый электрум (Hg до 20 мас. %) + гессит + Ag-содержащие минералы ряда галенит–клаусталит (Ag до 2 мас. %) + колорадоит. Средняя пробность золота Кызык-Чадырского месторождения составляет 719‰, при вариациях от 314 до 997‰. В минералах ряда Au–Ag–Hg содержание Ag отмечается до 54 мас. %, Hg – 20 мас. %, Cu – 0,83 мас. %, Te – 0,78 мас. %.

Ключевые слова: типоморфные особенности, самородное золото, Au-Mo-Cu-порфировое оруденение, Тува.

The article describes the features of native gold typomorphic Kyzyk-Chadyr gold-copper-molybdenum porphyry deposit. Deposition of Au minerals occurred in the gold-sulphide-quartz association, and characterized by the following sequences of mineral formation: ultrahigh-fineness gold → high-fineness gold → medium gold (up to 4 wt. % Hg) → low-fineness gold (up to 7 wt. % Hg) → Hg-bearing and mercurian electrum (up to 20 wt. % Hg) + hessite + Ag-bearing minerals of the galena-clausthalite series (up to 2 wt.% Ag) + coloradoite. Mineralogical and geochemical methods revealed an average gold fineness of 719 ‰ within the deposit, whereas the fineness itself varies between 314 and 997 ‰. The content of Ag in Au–Ag–Hg system minerals reaches 54 wt. %, Hg is up to 20 wt. %, Cu is up to 0.83 wt. % and Te is up to 0.78 wt. %.

Key words: typomorphic features, native gold, Au-Cu-Mo porphyry mineralization, Tuva. native gold, gold ore mineralization, Tuva.

Введение

Одним из ведущих промышленных типов медного и медно-молибденового оруденения являются месторождения медно-порфирового семейства, из которых добывается большое количество Cu, Mo и Re (Каджаран, Армения; Актогай, Казахстан; Эль-Тениенте, Чили и др.). Это штокерковые объекты преимущественно орогенных вулканно-плутонических поясов, невысокие средние содержания Cu и Mo в рудах (десятые доли % для Cu и сотые–тысячные – для Mo) которых компенсируются большими объемами прожилково-вкрапленных руд. Данные объекты

содержат также Au, Ag, Se, Te, Pd и Pt в концентрациях представляющих практический интерес [1]. Наиболее золотоносными являются медные Мо медно-порфировые месторождения, локализованные в пределах энзиматических палеоостровных дугах. Отношения Ag/Au в них колеблются от 10 до 500 и более, чаще – 60–100. По запасам Au среди них отмечаются крупные месторождения – Грасберг (2900 т) в Индонезии, Пеббл (3050 т) в США, Ою Толгой (3000 т) в Монголии и другие объекты [2; 3]

Месторождения с повышенными содержания Au и Ag данного семейства относятся к золото-молибден-меднопорфировому типу. В России к данному типу отнесены медно-порфировые месторождения, расположенные в складчатых областях Урала, Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна, Сихотэ-Алиня, Чукотки и Камчатки. Однако, только три из них – Малмыж (Хабаровский край), Ак-Суг (Республика Тыва) и Песчанка (Чукотский автономный округ) – характеризуются значительными ресурсами Cu и Au.

Крупное месторождение мирового класса Малмыж было открыто практически «с нуля» в 2006 году компанией Phelps Dodge Exploration Corporation. С 2011 года месторождение было передано совместному предприятию Freeport-McMoRan Copper&Gold Inc. и InterGeo Copper LLC (IGC). Работы на месторождении ведет дочернее предприятие IGC ООО «Амур Минералс». В данный момент крупнейшим держателем акций IGC является Eurasian Minerals [4]. На Малмыжском месторождении в 2015 году утверждены запасы Au категорий A+B+C₁ – 69,355 т, C₂ – 208,743 т; Cu A+B+C₁ – 1,271 млн. т, C₂ – 3,885 млн. т [5].

Месторождения Ак-Суг и Песчанка могут быть отнесены к крупным объектам. Право пользования недрами Ак-Сугского месторождения в 2007 году получило **ООО «Голевская горнорудная компания»**. Запасы Cu Ак-Сугского месторождения по категориям C₁+C₂, поставленные на баланс в январе 2010 года, составили 2,818 млн. т., Au – 68,6 т., Ag – 525,2 т., Re – 119,8 т. По итогам геологоразведочных работ 2014 года запасы увеличены: Au – более 100 т, Ag – более 600 т [6; 7].

На территории Республики Тыва известно несколько сотен проявлений Cu и Mo различного генезиса. Медное и молибденовое оруденение встречается как совместно, так и раздельно. В промышленных масштабах в Туве оно представлено объектами золото-молибден-меднопорфирового типа. Наиболее крупными являются Ак-Сугское и Кызык-Чадырское месторождения Восточной Тувы, для которых характерны повышенные содержания Au и Ag, а также их значительные запасы и ресурсы.

Что касается Кызык-Чадырского месторождения, то оно не получило окончательной оценки. Вопросы золоторудной минерализации данного месторождения все еще остаются слабо изученными. В научной литературе в основном упоминается ртутистый состав золота месторождения и наличие теллуридов Pb, Ag [8; 9].

Методика исследований

Образцы руд (штупные и протолочные пробы) были отобраны из коренных выходов. Гранулометрический состав золота определяется ситовым методом. Структурно-текстурные особенности руд изучались в оптических микроскопах с изготовлением полированных шлифов и аншлифов. Химический состав минералов определялся на растровом электронном микроскопе с энергодисперсионной приставкой (пределы обнаружения содержаний элементов-примесей – около 0,01 мас. %) MIRA LM (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Снимки минералов в отраженных электронах сделаны на MIRA LM, а также на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM 1000 (ТувИКОПР СО РАН, г. Кызыл).

Для группировки золота по пробностям использована следующая классификация: весьма высокопробное – 1000–950; высокопробное – 950–900; средней пробности – 900–800; низкопробное золото – 800–700; электрум – 700–300; кюстелит – 300–100; серебро (Au-содержащее серебро) < 100 [10].

Геологическое строение Кызык-Чадырского месторождения

Кызык-Чадырское месторождение находится в Пий-Хемском кожууне Республики Тыва, в верховьях р. Кызык-Чадыр, в 18 км по проселочной дороге от с. Сушь и в 50 км от г. Кызыла. Месторождение является составной частью одноименного рудного узла, расположенного в зоне контакта структур Хемчикско-Систигхемского коллизионного прогиба салаирской складчатой системы и девонского Тувинского рифтогенного прогиба. Кызык-Чадырское месторождение размещается в южной части Ожинского плутона гранитоидов таннуольского комплекса. Ожинский плутон в плане имеет неправильную овальную форму, прослеживается на 60 км в широтном направлении, достигает 15 км в поперечнике. В южной части плутона, в провесе кровли, сложенной вулканогенными образованиями нижнего кембрия, расположен интрузивный Кызыкчадырский массив размером 12,5×3 км, прорывающий метаморфизованные вулканогенно-осадочные образования кембрия и вмещающий одноименное золото-молибден-меднопорфировое месторождение [11; 12].

На Кызык-Чадырском месторождении выявлены два перспективных участка, расположенных в 2 км друг от друга (см. рис. 1). Первый участок находится в районе слияния ручьев Левый, Средний и Правый Кызык-Чадыр. На данном участке рудные тела связаны с небольшим (1×0,1 км) линзовидным выходом гранитов среди алевролитов атчольской свиты силура. На участке выявлены небольшие по размеру тела прожилково-вкрапленных медных руд и несколько золото-кварцевых, золото-кварц-сульфидных жил. Данный участок меньше размером, чем второй участок, но руды здесь богаче Au и Cu, которые связаны с золото-кварц-сульфидными жилами. Рудная минерализация представлена борнитом, халькопиритом в небольшом количестве присутствуют галенит, самородное золото и электрум.

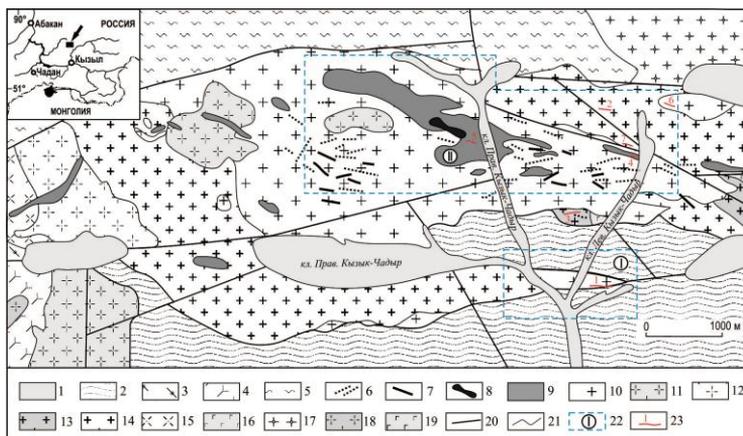


Рис. 1. Схема геологического строения Кызык-Чадырского рудного поля (по данным [11; 12] с дополнениями авторов)

1 – четвертичные отложения (Q₃₋₄); 2 – красноцветные терригенные отложения атчольской свиты силура (S_{1at}); 3–5 – туматтайгинская свита (Є_{1tm}); 3 – порфиroidы, 4 – метапорфириты, 5 – серицит-хлорит-кварц-полевошпатовые сланцы; 6–16 – кызыкчадырский комплекс (D): 6 – дайки кварцевых, кварц-плагиоклазовых и биотит-кварц-плагиоклазовых порфиров; 7 – дайки диорит-порфиритов; 8 – эксплозивные брекчи; 9 – порфиры кварцевые, кварц-плагиоклазовые и биотит-кварц-плагиоклазовые, 10 – граниты биотитовые среднезернистые, 11 – гранодиориты среднеравнозернистые, 12 – гранодиориты порфировидные, 13 – микрогранодиориты, 14 – кварцевые монцодиориты, 15 – диориты, габбродиориты; 16 – габброиды; 17 – ранне-среднекембрийские граниты крупнозернистые и гнейсовидные (Є₁₋₂); 18–19 – раннекембрийский комплекс (Є₁): 18 – гранит-порфиры, 19 – габбро; 20 – разрывные нарушения; 21 – границы геологические; 22 – контуры участков (I – Первый, II – Второй), 23 кварцевые жилы и их номер.

Второй участок месторождения расположен в верховьях ручьев Левого и Среднего Кызык-Чадыров и представляет собой крупное поле пиритизированных серицито-кварцевых метасоматитов, прослеживающееся в северо-западном направлении на 4 км при ширине 0,25–2,5 км. Рудная минерализация представлена мелкой рассеянной вкрапленностью пирита, халькопирита и молибденита, распространённой как в основной массе метасоматитов, так и в кварц-карбонатных, кварцевых и кварц-сульфидных прожилках. Оруденелыми являются и дайки кварцевых порфириров. Мощность кварцевых, карбонатно-кварцевых, полевошпатово-кварцевых и пиритово-кварцевых прожилков – первые сантиметры, и лишь иногда до 0,5÷1 м. Нередки прожилки молибденита и халькопирита, приуроченные к плоскостям трещин. Зона вторичного сульфидного обогащения отсутствует [13].

Оруденение месторождения скважинами прослежено до глубины 400 м с сохранением своих параметров. Общие прогнозные ресурсы месторождения по сумме категорий P_1+P_2 составили: для Cu – 1820 тыс. т, Mo – 71,6 тыс. т. Золото локализуется в кварцевых жилах мощностью от 1,5 до 4,5 м, длиной от 40 до 170 м. В рудном поле месторождения всего известно 7 кварцевых жил, две из которых (жилы №1 и №3) разведывались, остальные 5 жил имеют неясные перспективы и нуждаются в геологическом изучении. По кварцевым рудным жилам №1 и №3 подсчитаны запасы: Au по категории $B+C_1+C_2$ – 947,5 кг, Cu по категории $B+C_1+C_2$ – 10,1 тыс. т, Ag по категории C_2 – 3596 кг [11].

Золотое оруденение и химический состав минералов Au и Ag

Авторами изучена золоторудная минерализация жилы №1 первого участка. Данная жила приурочена к восточной оконечности небольшого тела гранитов нижнедевонского возраста. Она залегает здесь на контакте гранитов с вмещающими их глинистыми сланцами атчольской свиты силура. С поверхности жила прослежена на 170 м. По падению она вскрыта двумя штольнями, где прослежена на 92 и 95 м. Мощность жилы колеблется в широких пределах, достигая максимально 4,5 м. Средняя ее мощность 0,8 м [14]. Жила сложена молочно-белым брекчированным кварцем, обломки последнего сцементированы сульфидами Cu, вследствие чего наблюдаются руды полосчатой, петельчатой и брекчиевидной текстур. Содержание Au в жиле колеблется от следов до 150 г/т, в среднем составляет 8,2 г/т; Ag – 78 г/т (в среднем 28 г/т). Содержание Cu отмечается от долей до 20% и более (среднее содержание ее – 3,9%), Mo – от следов до 0,02%.

Рудные минералы представлены, в основном, борнитом, ковеллином, халькозином, халькопиритом, количество которого местами превышает 15–20%. Ковеллин и халькозин являются вторичными сульфидами. В гипергенных условиях первичные и вторичные сульфиды замещены малахитом и азуритом. В небольшом количестве отмечаются гессит Ag_2Te , самородное золото, электрум, минералы ряда галенит–клаусталит, а также единичные выделения алтаита $PbTe$ и колорадоита $HgTe$.

Минералогия сульфидно-кварцевых жил близка к минералогии прожилково-вкрапленных руд. На месторождении, на основе собственных наблюдений и с учётом материалов предшественников [11], установлены следующие ассоциации: **допродуктивная** – магнетит-кварцевая (кварц, гематит, магнетит); **продуктивные** – молибденит-кварцевая (кварц, молибденит), молибденито-сульфидно-кварцевая (кварц, халькопирит, пирит, галенит, сфалерит (Fe до 4 мас. %), молибденит, Zn-теннантит, Zn-теннантит–тетраэдрит); золото-сульфидно-кварцевая (кварц, борнит, халькопирит, неограниченные твердые растворы минералов ряда галенит–клаусталит, молибденит, золото, ртутистое золото, электрум, ртутистый электрум, гессит, алтаит, колорадоит ± пирит); **постпродуктивные** – кальцит-кварцевая (кварц, кальцит ± барит) и хлорит-кварцевая (кварц, хлорит). Молибденит-кварцевая и молибденитно-сульфидно-кварцевая ассоциации характерны только для прожилково-вкрапленных руд.

В коре выветривания развиты малахит, азурит, лимонит, халькозин, ковеллин, церуссит, хризоколла и т.д.

Цвет золота Кызык-Чадырского месторождения варьирует от золотисто-желтого до серебристого с желтоватым оттенком. Для большинства золотин (60%) характерен неоднородных

цвет, который изменяется в пределах одного зерна. Соотношение золотисто-желтых и более серебристых участков на поверхности зерен тоже изменяется.

На данном этапе исследований минералы Au и Ag обнаружены только в золотосульфидно-кварцевой ассоциации. Форма выделений разнообразна: преобладают трещинно-прожилковые, комковато-ветвистые, угловатые, каплевидные и ячеистые золотины. Отмечаются губчатые золотины. Поверхность золотинов преимущественно шаргеновая и мелко-ямчатая, ямчато-бугорчатая, иногда ровная. Выделения самородного золота, а также агрегатов высокопробного золота, ртутистого золота и ртутистого электрума образуют вкрапленность в кварце, малахите и халькозине.

Видимое золото в руде представлена зернами различной крупности от 0,01 до 5 мм. Гранулометрический состав золота из кварцевых жил варьирует незначительно, на фракцию 5–2,0 мм приходится 6,2% золотинов, 2,0–1,0 – 38,3%, 1,0–0,5 – 19,5%, 0,5–0,25 – 14,6%, 0,25–0,1 мм – 9,1% и < 0,1 мм – 12,3%. В весовом отношении на фракцию 5–2,0 мм приходится 16,1% золотинов, 2,0–1,0 – 50,9%, 1,0–0,5 – 20,1%, 0,5–0,25 – 9,5%, 0,25–0,1 мм – 1,8% и < 0,1 мм – 1,6%.

На основании минералогических исследований и по содержанию Ag и Hg выделены следующие группы минералов Au и Ag:

- 1) весьма высокопробное золото (Au – 94,41–97,39; Ag – 1,63–4,45; Cu – 0,00–0,60; Te – 0,00–0,41);
- 2) высокопробное золото с содержаниями Hg до 1,3 мас. % (Au – 89,81–96,37; Ag – 4,18–8,03; Hg – 0,00–1,25; Cu – 0,00–0,43; Te – 0,00–0,42);
- 3) среднепробное золото с содержаниями Hg до 4 мас. % (Au – 80,14–89,15; Ag – 7,26–18,98; Hg – 0,00–3,66; Cu – 0,00–0,40; Te – 0,00–0,42);
- 4) низкопробное и ртутистое золото с содержаниями Hg до 7 мас. % (Au – 71,56–79,15; Ag – 18,03–24,94; Hg – 0,00–6,95; Cu – 0,00–0,31);
- 5) Hg-содержащий и ртутистый электрум (Au – 31,19–69,28; Ag – 25,14–51,81; Hg – 3,30–19,82; Cu – 0,00–0,84; Te – 0,00–0,78).

Средняя пробность золота Кызык-Чадырского месторождения составляет 719‰ (52 золотины, 196 анализ) при вариациях от 314 до 997‰. В целом в рудах количественно преобладает Hg-содержащий и ртутистый электрум (45,4%), меньшей степени высокопробное (17,9%) и низкопробное золото (15,3), менее распространено весьма высокопробное (11,7%) и среднепробное золото (9,7%) (рис. 2).

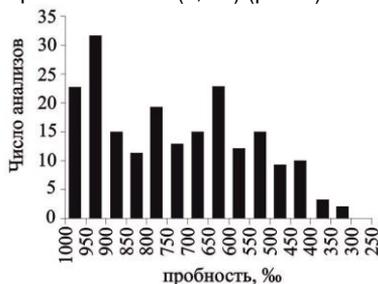


Рис. 2. Гистограмма пробности золота Кызык-Чадырского месторождения

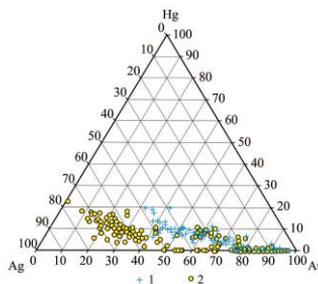


Рис. 3. Вариации состава золота Кызык-Чадырского месторождения (1) и Хаак-Саурского рудопоявления (2)

Содержание Ag в минералах в ряду Au–Ag–Hg отмечается до 53,83 мас. %, Hg – 19,82 мас. %, Cu – 0,83 мас. %, Te – 0,78 мас. %. В самородном золоте наблюдается обратная корреляция содержаний Hg с пробностью золота (см. рис. 3), т.е., как правило, содержание Au от

центра зерна к краю закономерно уменьшается – до 10 мас. %, иногда от 90,97 до 62,97 мас. %, а содержания Ag и Hg, наоборот, увеличиваются вплоть до Hg-электрума (табл. 1., ан. 16–20).

Таблица 1

Химический состав зональных золотин Кызык-Чадырского месторождения (мас. %)

№ п/п	Зона	Au	Ag	Hg	Cu	Te	Σ	Пробность
1	центр	95,82	3,80	–	–	–	99,62	962
2	–"–	94,83	3,89	–	0,44	–	99,16	956
3	край	95,16	4,01	–	0,44	–	99,61	955
4	центр	94,04	5,19	–	–	–	99,23	948
5	край	93,38	5,60	–	0,36	–	99,34	940
6	центр	92,96	7,13	–	0,29	–	100,38	926
7	–"–	81,05	18,40	–	–	–	99,45	815
8	край	80,16	18,95	–	–	–	99,11	809
9	центр	94,81	4,06	–	0,42	0,40	99,69	951
10	–"–	76,95	19,04	2,59	–	0,42	99,00	777
11	–"–	76,54	18,03	4,69	–	–	99,26	771
12	край	72,63	19,77	6,95	–	–	99,35	731
16	центр	90,97	8,03	–	0,30	–	99,3	916
17	–"–	82,09	16,91	–	–	–	99,00	829
18	–"–	72,30	24,66	3,30	–	–	100,26	721
19	–"–	64,48	25,89	8,95	–	–	99,32	649
20	край	62,97	26,11	10,35	–	–	99,43	633
21	центр	89,81	7,30	1,21	0,43	0,38	99,13	906
22	край	76,99	15,92	6,49	–	–	99,40	775
23	центр	79,15	20,57	1,07	–	–	100,79	785
24	–"–	68,49	26,53	4,28	–	–	99,3	690
25	край	51,55	39,62	8,10	–	–	99,27	519
31	центр	73,56	23,37	2,39	–	–	99,32	741
32	–"–	73,10	23,71	3,02	–	–	99,83	732
33	–"–	66,57	27,26	5,04	0,36	–	99,23	671
34	–"–	62,62	30,69	5,86	–	–	99,17	631
35	–"–	53,17	37,24	7,97	0,49	0,47	99,34	535
36	край	46,65	44,17	9,71	–	–	100,53	464
37	центр	69,28	26,46	3,64	–	–	99,38	697
38	край	56,22	34,96	7,92	–	0,38	99,48	565
39	центр	64,12	30,16	5,58	–	–	99,86	642
40	край	48,76	42,67	7,31	–	0,47	99,21	491
41	центр	62,84	28,42	8,16	–	–	99,42	632
42	край	57,05	37,21	4,90	–	–	99,16	575
43	центр	50,99	39,65	8,38	–	–	99,02	515
44	край	42,88	48,73	7,50	–	0,56	99,67	430
45	центр	50,66	42,02	7,01	–	–	99,69	508
46	край	50,00	38,76	10,41	–	–	99,17	504
47	центр	46,08	44,32	9,52	–	–	99,92	461
48	край	40,42	45,67	13,7	–	–	99,79	405
49	центр	41,98	37,94	19,41	–	–	99,33	423
50	край	31,19	47,78	19,82	–	0,47	99,26	314

Примечание. Здесь и в таблице 2 состав минералов определялся на электронном микроскопе MIRA LM (ИГМ СО РАН). Прочерк (–) здесь и в таблице 2 означает, что содержание элемента ниже пределов обнаружения.

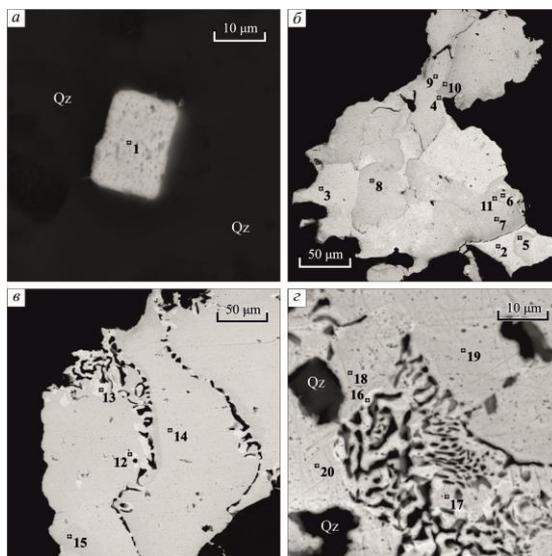


Рис. 4. Формы выделения золота, Hg-золота и Hg-электрума

а) выделение золота (светло-серое) в кварце (Qz). Состав золота в точке 1 (мас. %): Au – 78,37; Ag – 21,24. б) выделения золота, Hg-золота и Hg-электрума. Состав среднепробного золота (мас. %) в точке 2 (Au – 80,14, Ag – 18,98) и 3 (Au – 76,34, Ag – 22,42, Cu – 0,31). Состав Hg-золота в точке 4 (мас. %): Au – 75,94; Ag – 21,74; Hg – 1,36. Вариации состава Hg-электрума в точках 5–9 (мас. %): Au – 56,06–61,54; Ag – 30,15–35,54; Hg – 5,73–7,64. Вариации состава Hg-электрума в точках 10 и 11 (мас. %): Au – 42,84–42,88; Ag – 47,74–48,73; Hg – 7,50–8,47. в) выделения весьма высокопробного золота и Hg-электрума (светло-серое). Состав весьма высокопробного золота в точках 12–13 (мас. %): Au – 92,25–94,92; Ag – 4,95–7,27. Состав Hg-электрума в точках 14–15 (мас. %): Au – 64,89–51,12; Ag – 36,99–29,44; Hg – 5,37–9,55, Cu до 0,84; Te до 0,52. г) выделения золота и Hg-электрума в ассоциации с кварцем. Состав низкопробного золота в точке 16 (мас. %): Au – 75,01; Ag – 23,83; Te – 0,37. Состав Hg-электрума (мас. %) в точке 17 (Au – 43,08; Ag – 43,18; Hg – 13,14), 18 (Au – 50,15; Ag – 43,93; Hg – 6,76), 19 (Au – 39,22; Ag – 46,64; Hg – 13,36) и 20 (Au – 44,61; Ag – 44,18; Hg – 10,18; Te – 0,37).

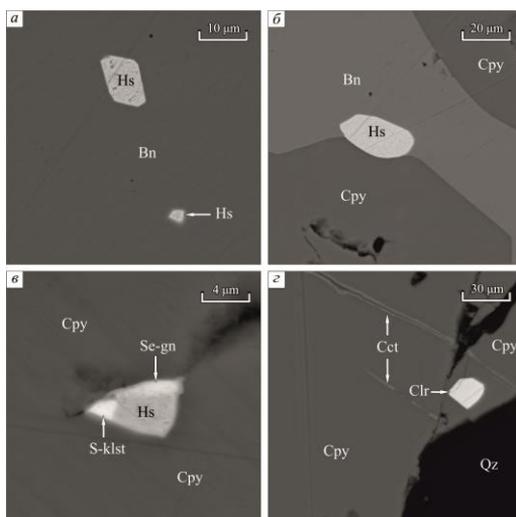


Рис. 5. Формы выделения гессита (Hs), Se-галенита (Se-gn), S-клаусталита (S-Klst), колорадоита (Clr) в борните (Bn) и халькопирите (Cpy) в ассоциации с кварцем (Qz) и гипергенным халькозином (Cct)

Довольно часто, отмечаются агрегаты безртутистого, ртутистого золота и ртутистого электрума (см. рис. 4). Характер взаимоотношений этих минералов предполагает одновременное отложение. Кроме того, все минералы золота ассоциируются с гесситом и колорадоитом. Отмечаются сростки высокопробного золота (Au – 94,83 мас. %, Ag – 3,89 мас. %) с колорадоитом. Выявляется следующий основной тренд самородного золота: весьма высокопробное золото → высокопробное золото → среднепробное и низкопробное золото → ртутистое золото → ртутистый электрум + гессит ± колорадоит.

Гессит и колорадоит представлены мелкими (5–70 мкм) включениями в халькопирите, борните и кварце. Морфология их выделений весьма разнообразна (см. рис. 5). Составы теллуридов Ag и Hg не отклоняется от стехиометрии (табл. 2).

Таблица 2

Химические составы гессита и колорадоита (мас. %)

№ п/п	Элементы в мас. %			Σ	Кристаллохимическая формула
	Ag	Hg	Te		
1	62,51	–	37,21	99,73	Ag _{2,00} Te _{1,00}
2	62,31	–	36,98	99,29	Ag _{2,00} Te _{1,00}
3	63,81	–	35,80	99,61	Ag _{2,03} Te _{0,97}
4	63,05	–	36,80	99,85	Ag _{2,00} Te _{1,00}
5	–	61,71	37,83	99,54	Hg _{1,02} Te _{0,98}
6	–	61,59	37,44	99,03	Hg _{1,02} Te _{0,98}
7	–	61,48	38,03	99,51	Hg _{1,02} Te _{0,98}
8	–	61,82	38,06	99,88	Hg _{1,02} Te _{0,98}

Примечание. 1–4 – состав гессита, 5–8 – состав колорадоита.

Обсуждение результатов

Отложение самородного золота Кызык-Чадырского месторождения происходило в течение одной, золото-сульфидно-кварцевой стадии. Цвет золота варьирует от золотисто-желтого до серебристого с желтоватым оттенком. Золото в руде находится в свободной форме. Количественно преобладают среднее, мелкое и весьма мелкое золото. В весовом отношении среднее, мелкое и крупное золото.

По химическому составу отмечается весьма высокопробное, высокопробное, среднепробное и низкопробное золото, а также ртутистое золото и ртутистый электрум. Характер их взаимоотношений предполагает одновременное отложение, т.е. по составу золота выявляется непрерывный ряд изменения его пробности от 997 до 314% с увеличением в нем примесей Ag до 54% и Hg до 20%.

Выраженная зональность золотин месторождения и наличие Hg в ее составе предполагает более сложные физико-химические параметры минералообразования. Обычно Hg активно начинает входить в состав самородного золота при значительном снижении температуры и давления или при его пересыщении в рудоносных растворах. Еще одним из основных факторов является отсутствие реакционной сульфидной серы в рудоносных растворах [15], или при повышении окислительного потенциала рудоносных растворов, т.е. при повышении $f(O_2)$.

По данным Наумова Е.А. [16], в природных условиях, при резком сбросе давления, при появлении открытой трещины в тектоническом нарушении, происходит гетерогенизация раствора и в газовую фазу уходит часть рудных компонентов, особенно Hg.

Минералогия руд месторождения предполагает, что формирование минеральных ассоциаций золото-сульфидно-кварцевой стадии происходило при вариациях $f(O_2)$, $f(S_2)$, $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$, что способствовало фиксации Au, Ag и Hg не только в металлической форме (в виде минералов системы Au–Ag–Hg), но и в виде теллуридов (HgTe и Ag₂Te).

Тренд самородного золота Кызык-Чадырского золото-молибден-меднопорфирового месторождения близок к тренду Хаак-Саирского рудопроявления вулканогенно-плутоногенной

березит-лиственитовой формации, гипабиссальной фации глубинности ($P \sim 0,5$ кбар; $\sim 1,5$ км) (см. рис. 3) [17].

Выводы

Таким образом, в рудах Кызык-Чадырского месторождения установлена следующая эволюция состава самородного золота: весьма высокопробное золото (997–954‰) → высокопробное золото (948–905) → среднепробное золото с содержаниями Hg до 4 мас. % (891–808‰) → низкопробное золото с содержаниями Hg до 7 мас. % (756–721‰) → Hg-содержащий и ртутистый электрум (649–314‰) + гессит + Ag-содержащие минералы ряда галенит–клаусталит (Ag до 2 мас. %) + колорадоит. Средняя пробность золота месторождения составляет 719‰ при вариациях от 314 до 997‰. В минералах в ряду Au–Ag–Hg содержание Ag отмечается до 53,83 мас. %, Hg – 19,82 мас. %, Cu – 0,83 мас. %, Te – 0,78 мас. %.

Наличие в рудах минералов системы Au–Ag–Hg с содержаниями Hg до 19 мас. %, клаусталита (PbSe), каллародоита (HgTe) и гессита (Ag₂Te) предполагает о том, что особое влияние на процессы минералообразования руд оказывали вариации $f(O_2)$, $f(S_2)$, $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№15–45–04195 p_сибирь_a).

Библиографический список

1. Кудрявцев Ю.К., Третьякова Е.Н., Сальников А.Е., Рахимипур Г. Геолого-геохимические модели разноранговых рудных объектов (Au)–Mo–Cu–порфирирового семейства. – М.: ИМГРЭ, 2012. 142 с.
2. Спиридонов Э.М. 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 (26–29 сент. 2010 г.). – Апатиты: Изд-во К & М, 2010. – С. 143–171.
3. Нагорная Е.В. Минералогия и зональность молибден-медно-порфирирового рудного поля Находка, Чукотка. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.05. – Москва, 2013. – 26 с.
4. Рязанова Е.И. Новейшее открытие Дальнего Востока России – золото-меднопорфирировое месторождение Малмыж // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам VIII науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых с междунар. участием): в 2 т. / отв. ред. П. А. Белкин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – Т.1. С. 52–55.
5. Итоговый доклад «О результатах и основных направлениях деятельности Роснедр за 2015 год и задачах на 2016 год» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosnedra.gov.ru/article/8472.html>, свободный.
6. Лебедев Н.И. Минеральные ресурсы Тувы: обзор и анализ полезных ископаемых / Отв. редактор докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОП СО РАН, 2012. – 284 с.
7. Разведка и добыча меди, молибдена и попутных компонентов на Ак-Сугском медно-порфирировом месторождении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mert.tuva.ru/directions/investment-policy/investment-projects/ak-sug/>, свободный.
8. Гаськов И.В., Акимцев В.А., Ковалев К.Р., Сотников В.И. Золотосодержащие минеральные ассоциации месторождений медно-рудного профиля Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 9. – С. 996–1004.
9. Наумов Е.А., Борисенко А.С., Задорожный М.В., Неволько П.А., Гущина Л.В., Гаськов И.В. Состав самородного золота как поисковый критерий поиска золото-ртутных месторождений. – 2011. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.minsoc.ru/FilesBase/E2-2011-1-0.pdf>, свободный.
10. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973. 348 с.
11. Уссар Р.Т., Добрянский Г.И., Зюзин М.П. Результаты поисков месторождений меди на участке Кызык-Чадр и в его районе. – Кызыл, 1978. 87 с.
12. Гусев Н.И., Берзон Е.И., Семенов М.И. Кызыкчадрское меднопорфирировое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 59. – С. 70–79.
13. Рогов Н.В. Геолого-структурные аспекты магматизма Кызык-Чадырского медно-молибден-порфирирового месторождения Тувы // Магматизм медно-молибденовых рудных узлов. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1989. – С. 59–74.
14. Бухаров Н.С. Золотоносность и сереброносность территории Тувинкой АССР и прилегающих районов Красноярского края. – Кызыл, 1989. 194 с.
15. Мурзин В.В., Покровский П.В., Молошаг В.П. Ртуть в самородном золоте Урала и ее типоморфное значение // Геология рудных месторождений. – 1981. – №4. – С. 86–91.
16. Наумов Е.А. Типы золото-ртутной минерализации Алтае-Саянской складчатой области и физико-химические условия их формирования: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.11. – Новосибирск, 2007. – 192 с.
17. Кужугет Р.В., Зайков В.В., Лебедев В.И., Монгуш А.А. Золоторудная минерализация Хаак-Саирского золото-кварцевого рудопроявления в лиственитах (Западная Тува) // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56. – №9. – С. 1693–1712.

Bibliograficheskiy spisok

1. Kudryavtsev Yu.K., Tret'yakova E.N., Sal'nikov A.E., Raximipur G. Geologo-geoximicheskie modeli raznorangovykh rudnykh obektov (Ai)-Mo-Su-porfirovogo semejstva. – M.: IMGRE, 2012. 142 s.
2. Spiridonov E.M. Obzor mineralogii zolota v vedushhix tipax Au mineralizatsii // Zoloto Kol'skogo poluostrova i sopredel'nykh regionov. Trudy Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoy konferentsii, posvyashhyonnoy 80-letiyu Kol'skogo NCZ RAN. Apatity (26–29 sent. 2010 g). – Apatity: Izd-vo K & M, 2010. – S. 143–171.
3. Nagomaya E.V. Mineralogiya i zonal'nost' molibden-medno-porfirovogo rudnogo polya Naxodka, Chukotka. Avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk: 25.00.05. – Moskva, 2013. – 26 s.
4. Ryazanova E.I. Noveyshee otkrytie Dal'nego Vostoka Rossii – zoloto-mednoporfirovye mestorozhdenie Malmyzh // Geologiya v razvivayushhemsya mire: sb. nauch. tr. (po Materialam VIII nauch.-prakt. konf. stud., asp. i molodykh uchenykh s mezhdunar. uchastiem): v 2 t. / otv. red. P. A. Belkin; Perm. gos. nacz. issled. un-t. – Perm', 2015. – T.1. S. 52–55.
5. Itogovyy doklad «O rezul'tatax i osnovnykh napravleniyax deyatelnosti Rosnedr za 2015 god i zadachax na 2016 god» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.rosnedra.gov.ru/article/8472.html>, svobodnyj.
6. Lebedev N.I. Mineral'nye resursy Tuvy: obzor i analiz poleznykh iskopaemykh / Otv. redaktor dokt. geol.-min. nauk V.I. Lebedev. – Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2012. – 284 s.
7. Razvedka i dobycha medi, molibdena i poputnykh komponentov na Ak-Sugskom medno-porfirovom mestorozhdenii [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.mert.tuva.ru/directions/investment-policy/investment-projects/ak-sug/>, svobodnyj.
8. Gac'kov I.V., Akimtsev V.A., Kovalev K.P., Cotnikov V.I. Zolotocodopzhaschie minepal'nye accotsiatsii mestopozhdenij medno-pudnogo pprofija Altae-Cajanckoj skladchatoj oblaci // Geologiya i geofizika. – 2006. –T. 47. – № 9. – С. 996–1004.
9. Naumov E.A., Borisenko A.S., Zadorozhnyj M.V., Nevol'ko P.A., Gushhina L.V., Gas'kov I.V. Sostav samorodnogo zolota kak poiskovyy kriterij poiska zoloto-rtutnykh mestorozhdenij. – 2011. – [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.minsoc.ru/FilesBase/E2-2011-1-0.pdf>, svobodnyj.
10. Petrovskaya N.V. Samorodnoe zoloto. – M.: Nauka, 1973. 348 s.
11. Ussar R.T., Dobryanskiy G.I., Zyuzin M.P. Rezul'taty poiskov mestorozhdenij medi na uchastke Kyzyk-Chadr i v ego rajone. – Kyzyl, 1978. 87 s.
12. Gusev N.I., Berzon E.I., Semenov M.I. Kyzykchadrsкое mednoporfirovye mestorozhdenie (Tuva): geoximicheskie osobennosti i vozzrast magmatizma // Regional'naya geologiya i metallogeniya. – 2014. – № 59. – S. 70–79.
13. Rogov N.V. Geologo-strukturnye aspekty magmatizma Kyzyk-Chadyrskogo medno-molibden-porfirovogo mestorozhdeniya Tuvy // Magmatizm medno-molibdenovykh rudnykh uzlov. – Novosibirsk: Nauka, Sib. otdelenie, 1989. – S. 59–74.
14. Buxarov N.S. Zolotonosnost' i serebronosnost' territorii Tuvinkoj ASSR i prilegayushhix rajonov Krasnoyarskogo kraja. – Kyzyl, 1989. 194 s.
15. Murzin V.V., Pokrovskiy P.V., Moloshag V.P. Rtuť v samorodnom zolote Urala i ee tipomorfnoe znachenie // Geologiya rudnykh mestorozhdenij. – 1981. – №4. – S. 86–91.
16. Naumov E.A. Tipy zoloto-rtutnoj mineralizatsii Altae-Sayanskoj skladchatoj oblasti i fiziko-ximicheskie usloviya ix formirovaniya: Dis. ... kand. geol.-mineral. nauk: 25.00.11. – Novosibirsk, 2007. – 192 s.
17. Kuzhuget R.V., Zajkov V.V., Lebedev V.I., Mongush A.A. Zolotorudnaya mineralizatsiya Haak-Sairskogo zoloto-kvarczevogo rudoproyavleniya v listvenitax (Zapadnaya Tuva) // Geologiya i geofizika. – 2015. – T. 56. – №9. – S. 1693–1712.

Кужугет Ренат Васильевич – к.г.-м.н., старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН), старший преподаватель кафедры географии и туризма, ФГБОУ ВО Тувинского государственного университета (ТувГУ), E-mail: rkuzhuget@mail.ru.

Kuzhuget Renat – candidate of geological and mineralogical science, senior scientist at the Tuvan State Insitute for Exploration of Natural Resources, senior lecturer in the Department of geography and tourism, the Tuvan state University. E-mail: rkuzhuget@mail.ru.

Хертек Айлан Кымзай-ооловна – инженер исследователь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН). E-mail: ajlan@mail.ru.

Khertek Aylan – research engineer at the Tuvan State Insitute for Exploration of Natural Resources. E-mail: ajlan@mail.ru.

Монгуш Андрей Александрович – к.г.-м.н., заместитель директора по научным вопросам Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН), E-mail: amongush@inbox.ru.



Mongush Andrei – candidate of geological and mineralogical science, deputy science director of the Federal state budgetary institution of science at the Tuvan State Institute for Exploration of Natural Resources. E-mail: amongush@inbox.ru.

Ооржак Шолбан Николаевич – инженер Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН). E-mail: sholban1988@mail.ru.

Oorzhak Sholban – engineer at the Tuvan State Institute for Exploration of Natural Resources. E-mail: sholban1988@mail.ru.

УДК 502.3

ТУВА ПРИГРАНИЧНАЯ

Лебедев В.И.^{1,2}, Дабиев Д.Ф.¹

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН¹, Кызыл
Тувинский государственный университет², Кызыл*

TUVA BORDER

Lebedev V.I.^{1,2}, Dabiev D.F.¹

*Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences¹, Kyzyl
Tuvan State University², Kyzyl*

Республика Тыва характеризуется исключительным разнообразием месторождений, разведанные запасы и прогнозные ресурсы которых позволяют продолжить формирование топливно-энергетического, горнометаллургического и агропромышленного комплексов, обеспечить развитие стройиндустрии и других отраслей. Потенциальная ценность извлекаемых минеральных ресурсов и масштабы их промышленных скоплений позволяют сопоставлять территорию Республики Тыва с крупнейшими горнорудными регионами страны, а по некоторым видам полезных ископаемых не имеет аналогов в России. Ценность профилирующих видов минеральных ресурсов определяется не только крупными масштабами месторождений и высоким качеством сырья, но и относительной компактностью их размещения в горнорудных районах. Наибольший интерес для первоочередного освоения представляют сосредоточенные на локальных территориях группы месторождений полезных ископаемых, обеспечивающие возможность создания горнопромышленных узлов, специализированных на комплексную и экологически безопасную переработку различных видов минерального сырья.

Ключевые слова: Тува, инфраструктура, природные ресурсы, месторождения, транспортные коммуникации,

Tuva is characterized by exceptional variety of fields explored reserves and forecasted resources of which allow you to continue the formation of energy, mining and agricultural sectors, to ensure the development of the construction industry and other industries. The potential value of recoverable mineral resources and the scale of their industrial clusters allow comparing the territory of the Republic of Tuva with the major mining regions of the country, and in some types of mineral have no analogues in Russia. The value of the main types of mineral resources is determined not only by the large scale of deposits and high quality raw materials, but also the relative compactness of their placement in the mining areas. The greatest interest for priority development idea focused on the local territories of group of mineral deposits, providing the possibility of creating mining sites, specialized in a comprehensive and environmentally sounds re-processing various types of mineral raw materials.

Key words: Tuva, infrastructure, natural resources, deposits, transportation,