

УДК 553.2 : 549.283 (571.52)

ЗОЛОТО-СЕЛЕНИДНО-ТЕЛЛУРИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АЛДАН-МААДЫРСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЗАПАДНАЯ ТУВА)

Р.В. Кужугет¹, В.В. Зайков², Н.Н. Анкушева²



¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия

²Институт минералогии ЮУ ФНИЦ МиГ УрО РАН, Миасс, Россия

Охарактеризована золото-селенидно-теллуридная минерализация, развитая в рудопрооявлениях Алдан-Маадырского рудного узла (АМРУ). Детальными минералогическими исследованиями малосульфидных жил рудопровлений Улуг-Саир, Хаак-Саир и Арыскан показано разнообразие минерального состава руд и установлены ранее неизвестные минералы Au-Ag-Hg ряда (Hg-золото, электрум, Hg-электрум, Hg-кюстелит, Au-содержащее Hg-серебро), селениды (фишессерит Ag_3AuSe_2 , науманнит Ag_2Se , клаусталит PbSe , тиманнит HgSe), теллуриды (петцит Ag_3AuTe_2 , гессит Ag_2Te , алтаит PbTe , колорадоит HgTe , теллуировисмутит Bi_2Te_3 , цумоит BiTe , Se-волынскит AgBiTe_2 , самородный Te) и другие минералы (барит BaSO_4 , аргентотетраэдрит $(\text{Ag,Cu})_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, герсдорфит NiAsS , бурнонит CuPbSbS_3 , виттихенит Cu_3BiS_3 самородный Bi и т.д.). Минералы золота, селениды и теллуриды образуют включения в кварце, сульфидах и сульфосолях. Установлено, что по минеральному составу рудопрооявления сходны; на малоглубинных объектах (~1,5–2,3 км) развиты минеральные ассоциации с серебристыми блеклыми рудами, минералами Au-Ag-Hg ряда, селенидами Au-Ag, Ag и Hg, теллуридами Ag и Hg, незначительным количеством халькопирита, а на среднеглубинных (~2,3–5,4 км) значительно возрастает количество халькопирита и доля теллуридов (Au-Ag, Ag), при этом отсутствуют Hg-содержащие минералы Au-Ag-Hg ряда.

Ключевые слова: месторождения золота, самородное золото, теллуриды, селениды, Тува.

Введение

В Туве одним из перспективных рудных узлов на коренное Au является Алдан-Маадырский рудный узел (АМРУ), куда входят небольшие золото-кварцевые рудопрооявления Au, открытые в 1950–1970-х гг. при геолого-съёмочных и поисковых работах. Эти объекты локализованы в осадочных породах и средне-температурных метасоматитах березит-лиственитового ряда, и наиболее крупными из них являются рудопрооявления Хаак-Саир в лиственитах, Улуг-Саир и Арыскан – в осадочных породах и березитах [Зайкова, Зайков, 1969].

В 2008–2019 гг. авторами получены данные о стадийности, условиях образования, минералогическо-геохимических особенностях вышеперечисленных рудопрооявлений с использованием современных аналитических методов. На рудопрооявлении Хаак-Саир гипабиссальной фации глубинности (P ~ 0,5–0,75 кбар, ~1,5–2,3 км) впервые выявлена Au-Se-Te минерализация с селенидами (HgSe , PbSe , Ag_2Se и Ag_3AuSe_2) и теллуридами (HgTe , Ag_2Te), рудопрооявлениях Улуг-Саир и Арыскан гипомезоабиссальной фации глубинности (P ~ 0,75–1,8 кбар, ~2,3–5,4 км) – Au-Se-Te минерализация с теллуридами (Ag_3AuTe_2 , Ag_2Te , PbTe , Bi_2Te_3) и селенидами (Ag_3AuSe_2 , Ag_2Se , PbSe , HgSe) [Кужугет, 2014; Кужугет и др., 2014, 2015, 2017], которым посвящена данная статья.

Геологическое строение рудного узла

АМРУ находится в Западной Туве на левобережье р. Хемчик, в области сочленения V–Є метатерригенных комплексов Западного Саяна, венд-нижнекембрийских океанических комплексов Западной Тувы, ордовик-силурийской молассы Хемчикско-Сыстыгхемского коллизийного прогиба и девонских комплексов Тувинского рифтогенного прогиба [Берзин, Кунгурцев, 1996; Монгуш, 2016]. В геологическом строении рудного узла принимают участие венд-нижнекембрийские, ордовикские, силурийские и девонские породы (рис. 1). Венд-нижнекембрийские породы выделены в чингинскую свиту (V–Є₁чн) и представлены кремнисто-глинистыми сланцами, метабазами, метаандезитами и их туфами, прослоями кварцитов и песчаников. Они слагают Аржанский и Тлагаринский тектонические клинья. Базальные горизонты ордовикских пород обрамляют венд-нижнекембрийские выступы и выделены в адырташскую свиту (O₃ад), которая сложена конгломератами, песчаниками с линзами гравелитов. Эти породы распространены в восточной части крыльев Аржанской и Улуг-Саирской горст-антиклиналей в центральной части рудного узла. Наиболее распространены в районе узла породы силура. Они выделены в чергакскую свиту (S₁чр) и представлены зеленоватыми глинистыми сланцами, известняками с редкими прослоями песчаников. Слагают, как правило, синклиналильные структуры, погружающиеся в восточном направлении.

нии. Нижне- и среднедевонские породы одного из «рукавов» Тувинского рифтогенного прогиба представлены красноцветными терригенными и вулкано-

генно-осадочными породами кендейской (D_1kn) и хондерегейской (D_1hn) свит [Зайков и др., 1966; Безруков, 1969].

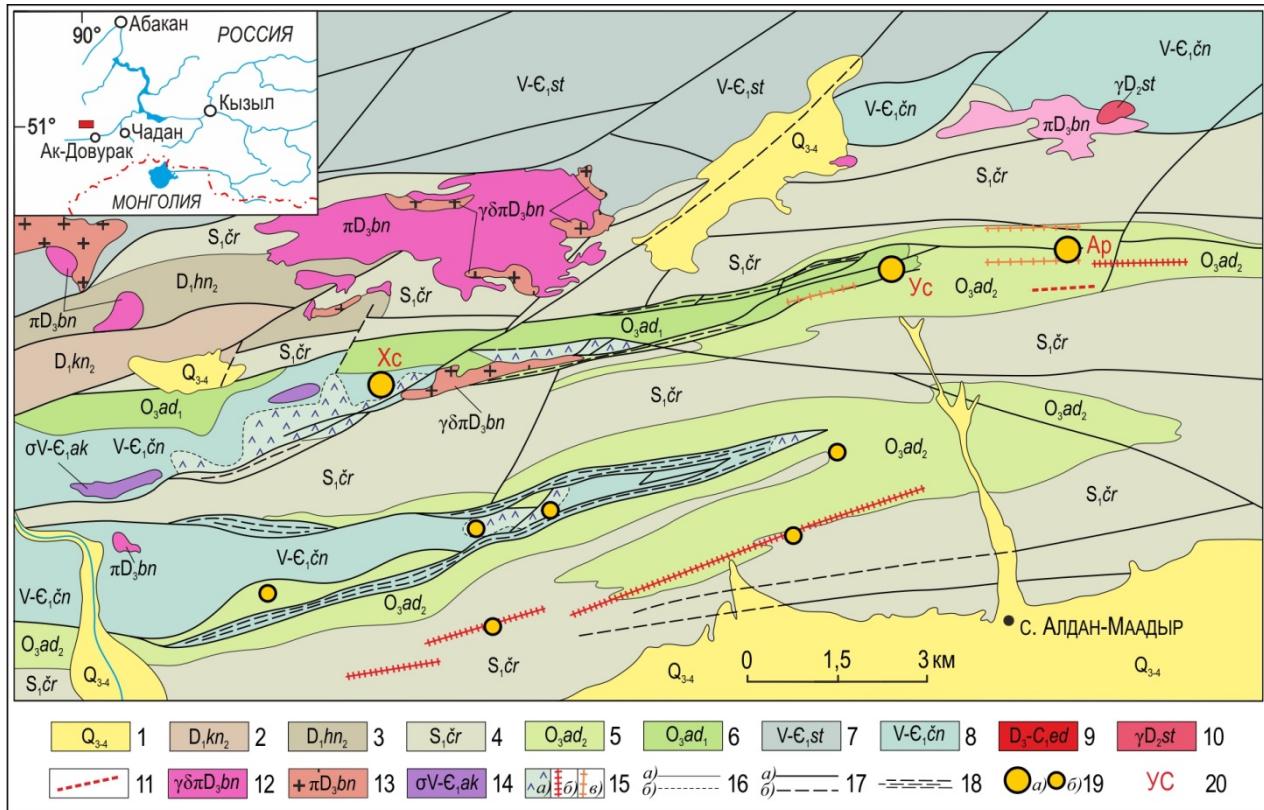


Рис. 1. Схема геологического строения центральной части АМРУ (по данным В.В. Зайкова и др., 1966 и Б.Д. Васильева и др., 1979 с изменениями)

1 – аллювиально-делювиальные отложения (Q_{3-4}); 2–3 – осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканические породы: 2 – риолитовые порфиры кендейской свиты (D_1kn_2), 3 – красноцветные песчаники и алевролиты хондерегейской свиты (D_1hn_2); 4 – алевролиты чергакской свиты (S_1cr); 5 – алевролиты, песчаники, конгломераты верхней подсвиты адырташской свиты (O_3ad_2); 6 – рассланцованные конгломераты, алевролиты, гравелиты и песчаники нижней подсвиты адырташской свиты (O_3ad_1); 7 – серицит-хлорит-кварцевые сланцы, метаморфизованные алевролиты сютхольской свиты ($V-E_1st$); 8 – эффузивы, алевролиты, песчаники и спилиты чингинской свиты ($V-E_1cn$); 9 – габбро, монцодиориты и сиенограниты эдегейского габбро-монцодиорит-сиеногранитового комплекса (D_3-C_1); 10 – граниты сютхольского комплекса (D_2st); 11–13 – интрузивные образования баян-кольского комплекса (D_3bn): 11 – дайки микродиоритов III фазы; 12 – кварцевые, андезитовые и риолитовые порфиры II фазы; 13 – $\gamma\delta\pi$ – гранодиорит-, тоналит-порфиры, гранит-порфиры, риолиты I фазы; 14 – серпентиниты, перидотиты, пироксениты, габброиды и диориты офиолитового акдовракского комплекса ($\sigma V-E_1ak$); 15 – рудные тела: лиственизитизированные серпентиниты и высокотитанистые базальты (а), березитизированные дайки гранодиоритов II фазы баянкольского комплекса (D_3bn) (б); березитизированные кварцевые песчаники ордовика (в); 16 – границы геологические (а) и фациальных переходов (б); 17 – разрывные нарушения достоверные (а) и предполагаемые (б); 18 – тектонические зоны; 19 – рудопоявления (а); мелкие рудопоявления и точки минерализации Au (б); 20 – названия золото-кварцевых рудопоявлений (Xc – Хаак-Саир, Yc – Улуг-Саир, Ap – Арыскан)

Fig. 1. Geological scheme of the AMOC central area (after V.V. Zaykov et al., 1969 and B.D. Vasilyev et al., 1977, modified)

1 – alluvial sediments (Q_{3-4}); 2–3 – sedimentary, volcanosedimentary, and volcanic rocks: 2 – rhyolites of the Kendei subformation (D_1kn_2); 3 – red-colored sandstones and siltstones of the Khodergei subformation (D_1hn_2); 4 – siltstones of the Chergak Formation (S_1cr); 5 – siltstones, sandstones, conglomerates of the Upper Adyrtash subformation (O_3ad_2); 6 – foliated conglomerates, siltstones, gravelstones, and sandstones of the Lower Adyrtash Subformation (O_3ad_1); 7 – sericite-chlorite-quartz schists, metamorphosed siltstones Sutkhoh Subformation ($V-E_1st$); 8 – effusive rocks, siltstones, sandstones, and spilites of the Chinggin Formation ($V-E_1cn$); 9 – gabbro, and monzodiorites sienogranites Edegey gabbro-monzodiorite-sienogranite complex (D_3-C_1); 10 – granite complex Sytkhol (D_2st); 11–13 – intrusive rocks of the Bayan-Kol complex (D_3bn): 11 – dikes of microdiorites and diorite porphyrites of phase III; quartz and andesite porphyry II of phase; 13 – granodiorite- and tonalite-porphyry, granite-porphyry, and rhyolites of phase I; 14 – serpentinites, peridotites, pyroxenites, and associated and diorites of the Akdovrak ophiolite complex ($\sigma V-E_1ak$); 15 – ore bodies: listwanitized rocks (a), beresitized dykes of granodiorites of phase II of the Bayan-Kol complex (D_3bn) (b); Ordovician beresitized quartz sandstones (c); 16 – faults: geological boundaries (a) and facies transitions (b); 17 – faults: significant (a) and prospective (b); 18 – tectonic zone; 19 – ore occurrences (a); ore occurrences and Au mineralization (b); 20 – the title of gold occurrences (Xc – Haak-Sair, Yc – Ulug-Sair, Ap – Ayskan)

Размещение золотого оруденения в пределах узла определяется, главным образом, структурно-тектоническим и магматическим факторами и контролируется опережающими разломами субширотного простирания Хемчикско-Куртушибинского (Саяно-Тувинского) глубинного разлома, которые осложняют линейные горст-антиклинали и антиклинали той же ориентировки. Их ядра сложены венд-нижнекембрийскими офиолитами меланж-олистостромовой ассоциации (известняками и интенсивно лиственитизированными серпентинитами, высокотитанистыми базальтами, габброидами), а крылья – ордовикскими конгломератами, алевролитами и песчаниками. В зонах глубинных разломов размещены интрузивные тела D_{1-3} , D_3 – C_1 возраста [Зайков и др., 1966, 1981; Кужугет, 2014].

Сонаправленность складчатых и разрывных структур обусловила линейный характер распределения магматических пород, золоторудных объектов и способствовала формированию узких линейных зон березитизированных и лиственитизированных пород, насыщенных золото-сульфидно-кварцевыми жилами с прожилково-вкрапленной и вкрапленной минерализацией.

Промышленная минерализация Au АМРУ парагенетически связана с малыми интрузиями и дайками гранодиорит-, тоналит-порфирами I фазы и дайками гранодиорит-порфиров II фазы баянкольского комплекса (D_3) [Зайкова, Зайков, 1969, 1981]. Возраст даек габбро III фазы баянкольского комплекса, определенный Ag-Ag методом по роговой обманке, составляет $376,5 \pm 3,4$ млн лет, что соответствует D_3 [Монгуш и др., 2011; Кужугет, 2014].

Методы исследования

При минералогических исследованиях руд и метасоматитов рудопроявлений Au АМРУ для установления последовательности формирования минералов служили онтогенетические признаки (состав, строение, зональность минералов, индукционные поверхности), включая пересечение ранних минеральных агрегатов поздними, а также их брекчирование с цементацией обломков более поздними минеральными парагенезисами.

Минераграфическое изучение руд проведено на оптических микроскопах Olympus BX41, ПОЛАМ П-213М и П-212М. Исследование в отраженных электронах с определением химического состава минералов производилось на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMU (Tescan Orsay Holding) с системами микроанализа INCA Energy 450 + XMax 80 и INCA Wave 500 (Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd.). Для характеристики золота и минералов (кубических твердых растворов) системы Au-Ag использована терминология, принятая в рабо-

тах [Петровская, 1973; Спиридонов, 2010]: самородное золото (1000–700 ‰), электрум (700–300 ‰) и кюстелит (300–100 ‰), а также Au-содержащее серебро с пробностью менее 100 ‰.

Минералого-геохимические особенности рудопроявлений

Рудопроявление Хаак-Саир выявлено в 1953 г. геологами 21-й партии Дальней экспедиции ВСЕГЕИ В.М. Бондаревым и Г.М. Владимирским и приурочено к осевой части Аржанской горст-антиклинали длиной более 9 км, шириной 1–1,5 км, ядро которой сложено венд-нижнекембрийскими офиолитами (лиственитизированными серпентинитами, базальтами и т.д.). На крыльях структуры они тектонически контактируют с ордовикскими конгломератами, песчаниками, алевролитами и силурийскими сланцами, смятыми в линейные изоклинальные складки субширотного простирания (см. рис. 1). На крыльях структура осложнена субширотными тектоническими нарушениями: на севере – Аржанским разломом, на юге – «Рудным», который «залечен» малыми интрузиями гранодиорит-, тоналит-порфиров I фазы баянкольского комплекса (D_3) [Зайкова, Зайков, 1969; Кужугет и др., 2015].

Золоторудная минерализация сосредоточена в субпараллельных сульфидно-кварцевых жилах и жильных зонах штокверкового типа, приуроченных к центральным частям тел лиственитов, реже конгломератам и песчаникам ордовика. Простирание жил и жильных зон отвечает общему широтному простиранию линзовидных тел лиственитов. Длина жил варьирует от 20 до 250 м, мощность – от 0,1 до 8 м. Жильные зоны представляют собой минерализованные штокверки шириной 1–10 м и длиной 10–100 м, состоящие из жил и прожилков разной мощности [Васильев и др., 1979]. Они сложены молочно-белым, светло-зеленоватым, бледно-коричневым халцедоновидным или тонкозернистым кварцем. Распределение Au в рудах крайне неравномерное и характеризуется значительными вариациями Ag/Au – от 0,12 до 300. Среднее содержание Au составляет 2,5 г/т, Ag – 26,55 г/т; наблюдается корреляция Au с Cu, Sb, As, Ag, B, Pb, Ba, Zn, Mo, W, Bi, Te, Cd и Mg [Кужугет, 2014].

На рудопроявлении развиты дорудные кварц-турмалиновые метасоматиты и жилы с шеелитом, W-содержащим рутилом и пиритом (этап I), которые сменяются лиственитами и жилами собственно золото-сульфидно-кварцевой формации (этап II) [Васильев и др., 1979; Зайков и др., 1981].

I кварц-турмалиновый высокотемпературный этап включает турмалиновую (1) и турмалин-кварцевую (2) стадии. II золото-сульфидно-кварцевый этап включает дорудные (березит-

лиственитовую (1) и пирит-кварцевую (2)), рудные (золото-арсенопирит-сульфосольно-кварцевую (3), золото-ртутисто-селенидно-теллуридно-сульфидно-

сульфосольно-кварцевую (4)) и пострудные (хлорит-турмалин-кварцевую (5), карбонат-кварцевую (6) и хлорит-кварцевую (7)) стадии (рис. 2).

Минерал		Рудопроявления					
		Хаак-Саир		Улуг-Саир		Арыскан	
		Рудные стадии					
		I	II	I	II	I	II
Оксиды, карбонаты, и сульфаты	Кварц						
	Кальцит						
	Доломит						
	Барит						
Сульфиды, сульфосарсениды	Пирит FeS ₂						
	Халькопирит CuFeS ₂						
	Галенит PbS						
	Se-галенит						
	Борнит Cu ₅ FeS ₄						
	Сфалерит ZnS						
	Акантит Ag ₂ S						
	Ялпаит Ag ₃ CuS ₂						
	Виттихенит Cu ₃ BiS ₃						
	Se-киноварь Hg(S, Se)						
	Se-имитерит Ag ₂ Hg(S, Se) ₂						
	Арсенопирит FeAsS						
Герсдорфит NiAsS							
Сульфосоли	Теннантит Cu ₁₀ (Fe, Zn) ₂ As ₄ S ₁₃						
	Тетраэдрит Cu ₁₀ (Fe, Zn) ₂ Sb ₄ S ₁₃						
	Аргентотетраэдрит (Ag, Cu) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃						
	Бурнонит CuPbSbS ₃						
Самородные и ряда Au-Ag-Hg	Золото						
	Электрум						
	Hg-золото						
	Hg-электрум						
	Hg-кюстелит						
	Hg-серебро						
	Самородный Bi						
	Самородный Te						
Селениды	Фишессерит Ag ₃ AuSe ₂						
	Науманнит Ag ₂ Se						
	Клаусталит PbSe						
	S-клаусталит						
	Тиманнит HgSe						
Теллуриды, селенотеллуриды и халькогениды Au	Гессит Ag ₂ Te						
	Петцит Ag ₃ AuTe ₂						
	Алтаит PbTe						
	Колорадоит HgTe						
	Теллуrowисмутит Bi ₂ Te ₃						
	Цумоит BiTe						
	Se-волынскит AgBi(Te, Se) ₂						
	Кавацулит Bi ₂ Te ₂ Se						
	Буххорнит AuPb ₂ BiTe ₂ S ₃						

Рис. 2. Парагенетическая схема рудных стадий рудопроявлений Алдан-Маадырского рудного узла

Рудные стадии: Хаак-Саир – золото-арсенопирит-сульфосольно-кварцевая (I), золото-ртутисто-селенидно-теллуридно-сульфидно-сульфосольно-кварцевая (II); Улуг-Саир и Арыскан – золото-сульфидно-кварцевая (I), золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая (II)

Fig. 2. Mineral formation sequence of ore substages of the Aldan-Maadyr gold-ore cluster

Ore substages: the Khaak-Sair ore occurrence – gold-arsenopyrite-sulfosalt-sulfide-quartz (I), gold-mercury-selenide-telluride-sulfosalt-quartz (II); Ulug-Sair and Aryskaan ore occurrences – gold-sulfide-quartz (I), and gold-telluride-sulfide-quartz (II)

Высокотемпературные кварц-турмалиновые метасоматиты представляют собой породы (мощностью до 1–2 м), развитые по кварц-полевошпатовым песчаникам ордовика, сложенные бледно- и светло-зеленым игольчато-призматическим турмалином с более поздними кварц-турмалиновыми и молочно-белыми кварцевыми прожилками.

Листвениты, развитые по венд-нижнекембрийским осадочным и магматическим породам, слагают вытянутые до 2 км в широтном направлении тела мощностью 0,3–1,5 км. Листвениты представляют собой полосчатые, прожилково-пятнистые, мелко-, среднезернистые породы, сложенные карбонатом (Fe-доломитом, кальцитом) – 40–60 %, кварцем – 20–30 %, Sr-содержащими (до 0,8 мас. % Sr_2O_3) слюдами мусковит-парагонитового ряда ~ 5–15 %, пиритом и лимонитом по пириту ~ 1–5 %.

Золото-арсенопирит-сульфосольно-кварцевые жилы (I) сложены золотом (Au 74,64–98,97; Ag 4,27–24,83, Cu 0,00–0,65 мас. %), электрумом (Ag 30,97–51,38; Au 48,60–68,67; Cu 0,00–0,56 мас. %), галенитом, халькопиритом, герсдорфитом, бурнонитом, арсенопиритом (Ni до 4,8 мас. %), теннантитом (Bi до 1,1 мас. %), тетраэдритом (Bi до 1,5 мас. %), ар-

гентотеннантитом (Ag до 50,05 мас. %) ± пирит ± борнит ± кальцит ± доломит (FeO до 1,09 мас. %) ± Fe-доломит (FeO от 5,84 до 8,62 мас. %, MnO до 0,31 мас. %) и рассечены жилами II рудной стадии.

Золото-ртутисто-селенидно-теллуридно-сульфидно-сульфосольно-кварцевые жилы (II) сложены теннантитом (Bi до 1,4 мас. %), тетраэдритом (Bi до 1,6 мас. %, Ag до 22 мас. %), аргентотетраэдритом (Ag до 40 мас. %), халькопиритом, гесситом, акантитом, герсдорфитом (Fe до 3,76 мас. %, Co до 6,88), галенитом (Se до 14,5 мас. %, Ag до 5 мас. %), клаусталитом (S до 4,69 мас. %), науманнитом (S до 2,6 мас. %), фишессеритом, тиманнитом, колорадоитом, золотом (Au 74,57–94,76; Ag 3,39–24,97; Hg 0,00–2,03; Cu 0,00–0,78 мас. %), Hg-золотом (Au 69,91–83,08; Ag 8,64–24,13; Hg 5,36–10,60; Cu 0,00–0,85 мас. %), Hg-электрумом (Ag 25,22–64,73; Au 31,24–66,93; Hg 3,61–17,42; Cu 0,00–0,81 мас. %), Hg-кюстелитом (Ag 56,26–72,76; Au 11,81–29,15; Hg 5,31–17,7; Cu 0,00–0,58 мас. %), Au-содержащим Hg-серебром (Ag 73,12–75,91; Hg 18,05–22,15; Au 1,91–8,32; Cu 0,00–0,28 мас. %), баритом, бурнонитом ± теллуrowисмутит ± борнит ± сфалерит ± Se-имитерит ± Se-киноварь ± ялпайт ± кальцит (FeO до 0,89 мас. %, MnO до 0,26) (рис. 3).

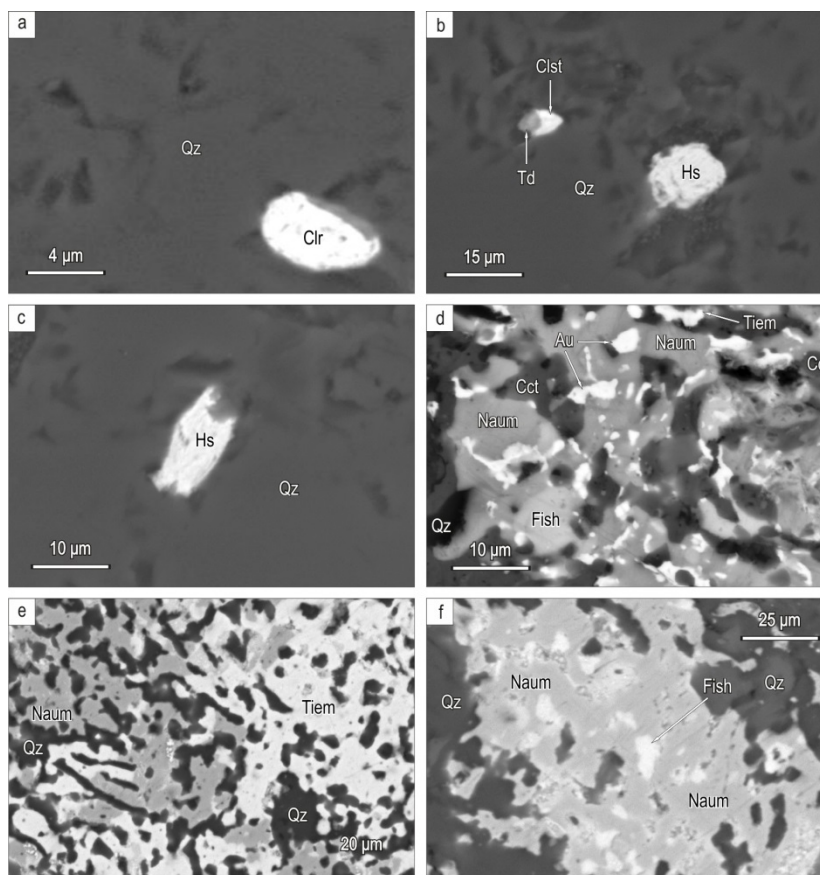


Рис. 3. Формы выделения колорадоита (Clr), клаусталита (Clst), гессита (Hs), науманнита (Naum), фишессерита (Fish), тиманнита (Tiem), тетраэдрита (Td), золота (Au) в кварце (Qz) и халькозине (Cct) рудопроявления Хаак-Саир. BSE-фото

Fig. 3. Coloradoite (Clr), clauthalite (Clst), tetrahedrite (Td), hessite (Hs), naumannite (Naum), fischesserite (Fish), gold (Au), tiemannite (Tiem) in quartz (Qz), and chalcocite (Cct) of Khaak-Sair ore occurrence. BSE photos

Рудные минералы кварцевых жил и жильных зон частично или полностью окислены. Мощность зоны гипергенеза составляет не менее 200 м. В коре выветривания развиты халькозин, ковеллин, малахит, азурит, гематит, гётит, гидрогётит, штроемейерит, англезит, церуссит, линарит, ромеит, гидроромеит, трипугиит, триппкеит, конихальцит, брошантит, скородит, акантит, серебро, золото, атакамит, иодиды, бромиды и хлориды, образованные при окислении первичных минералов [Кужугет и др., 2015].

Теллуриды (гессит, колорадоит), селениды (фишессерит, науманнит, тиманнит, клаусталит) и селенистые минералы (Se-галенит, Se-киноварь) редки, но являются характерными минералами II рудной стадии, встречаются в виде зерен и их агрегатов размером до

100 мкм в кварце, блеклых рудах, халькопирите в ассоциации с минералами Au-Ag-Hg ряда (рис. 3–4).

На рудопроявлении Хаак-Саир широко развиты блеклые руды теннантит-тетраэдритового ряда с примесью Bi до 1,6 мас. % в виде единичных зерен теллуровисмутита. Составы селенидов, теллуридов и Se-содержащих минералов показаны в таблице.

Самородное золото (до 3 мм) комковатой, комковато-ветвистой, комковато-ячеистой, уплощенной, губчатой, дендритовидной, реже идиоморфной (октаэдры, кубооктаэдры и их комбинации и сростания) формы встречается в виде тонких вкраплений в кварце, блеклых рудах и находится в сростании с сульфидами и селенидами.

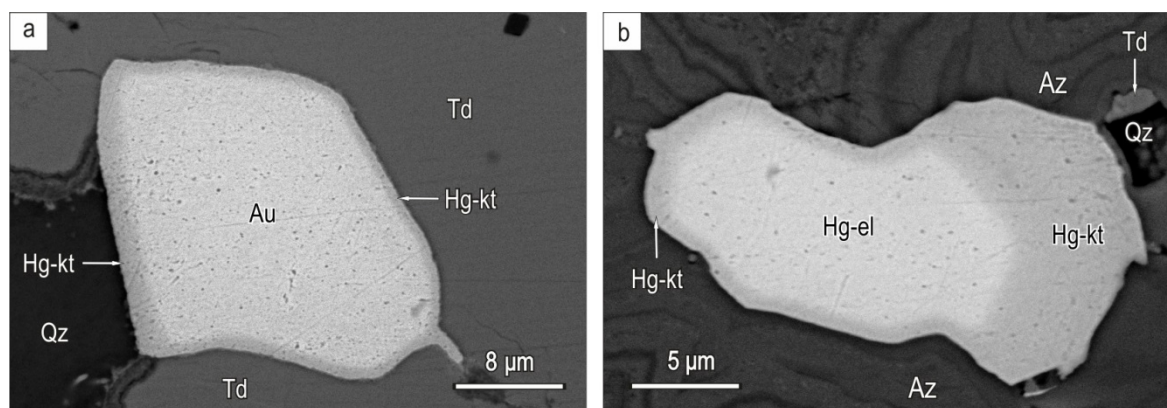


Рис. 4. Формы выделения золота (Au), Hg-электрума (Hg-el), Hg-кюстелита (Hg-kt) в кварце (Qz), тетраэдрите (Td) и азурите (Az) рудопроявления Хаак-Саир. BSE-фото

Fig. 4. Gold (Au), Hg-electrum (Hg-el), Hg-kustelite (Hg-kt) in quartz (Qz), tetrahedrite (Td), and azurite (Az) of Khaak-Sair ore occurrence. BSE photos

Химический состав теллуридов, селенидов и селенистых минералов АМРУ, мас. %

Chemical composition of tellurides, selenides, and Se-minerals of the AMOC, wt %

№ п/п	Минерал	Au	Ag	Hg	Pb	Bi	Te	Se	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
Рудопроявление Хаак-Саир											
1	Фишессерит	29,22	47,68	—	—	—	—	23,08	—	99,98	$\text{Ag}_{3,00}\text{Au}_{1,01}\text{Se}_{0,99}$
2		29,09	47,25	—	—	—	—	23,15	—	99,48	$\text{Ag}_{2,99}\text{Au}_{1,01}\text{Se}_{2,00}$
3		28,13	47,46	0,90	—	—	—	22,96	—	99,45	$\text{Ag}_{3,01}(\text{Au}_{0,98}\text{Hg}_{0,01})_{0,99}\text{Se}_{1,99}$
4	Науманнит	—	73,21	—	—	—	—	26,99	—	100,2	$\text{Ag}_{2,00}\text{Se}_{1,00}$
5		—	73,20	—	—	—	—	26,34	—	99,54	$\text{Ag}_{2,01}\text{Se}_{0,99}$
6		—	72,82	—	—	—	0,95	25,91	—	99,68	$\text{Ag}_{2,00}(\text{Se}_{0,98}\text{Te}_{0,02})_{1,00}$
7		—	72,95	—	—	—	0,92	25,73	—	99,60	$\text{Ag}_{2,01}(\text{Se}_{0,97}\text{Te}_{0,02})_{0,99}$
8		—	72,98	—	—	—	0,92	25,46	0,43	99,79	$\text{Ag}_{1,99}(\text{Se}_{0,95}\text{S}_{0,04}\text{Te}_{0,02})_{1,01}$
9		—	72,64	—	—	—	0,91	25,36	0,39	99,30	$\text{Ag}_{1,99}(\text{Se}_{0,95}\text{S}_{0,04}\text{Te}_{0,02})_{1,01}$
10		—	75,20	—	—	—	—	21,78	2,62	99,60	$\text{Ag}_{1,98}(\text{Se}_{0,79}\text{S}_{0,23})_{1,02}$
11		—	74,69	—	—	—	—	23,67	1,5	99,86	$\text{Ag}_{2,00}(\text{Se}_{0,87}\text{S}_{0,13})_{1,00}$
13	Тиманнит	—	—	71,98	—	—	—	27,57	—	99,55	$\text{Hg}_{1,01}\text{Se}_{0,99}$
14		—	—	71,05	—	—	—	28,56	—	99,61	$\text{Hg}_{0,99}\text{Se}_{1,01}$
15		—	1,73	69,80	—	—	—	27,97	—	99,50	$(\text{Hg}_{0,99}\text{Ag}_{0,04})_{1,01}\text{Se}_{0,99}$
16	Клаусталит	—	—	—	72,73	—	—	27,24	—	—	$\text{Pb}_{1,01}\text{Se}_{0,99}$
17		—	—	—	76,77	—	—	18,14	4,34	99,25	$\text{Pb}_{1,01}(\text{Se}_{0,62}\text{S}_{0,37})_{0,99}$
18		—	—	—	76,86	—	—	17,78	4,69	99,33	$\text{Pb}_{1,00}(\text{Se}_{0,61}\text{S}_{0,39})_{1,00}$
19		—	—	—	76,86	—	—	17,78	4,69	99,33	$\text{Pb}_{1,00}(\text{Se}_{0,61}\text{S}_{0,39})_{1,00}$

Продолжение табл.
Extension of Table

№ п/п	Минерал	Au	Ag	Hg	Pb	Bi	Te	Se	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
20	Се-галенит	—	2,89	—	75,33	—	—	14,50	6,6	99,32	$(Pb_{0,93}Ag_{0,07})_{1,00}(S_{0,53}Se_{0,47})_{1,00}$
21		—	1,41	—	80,12	—	—	10,67	6,93	99,13	$Pb_{1,03}Ag_{0,03}(S_{0,58}Se_{0,36})_{0,94}$
22		—	1,51	—	80,62	—	—	11,15	6,64	99,92	$Pb_{1,03}Ag_{0,04}(S_{0,55}Se_{0,38})_{0,93}$
23		—	—	—	80,96	—	—	12,80	6,68	100,44	$Pb_{1,03}(S_{0,55}Se_{0,42})_{0,97}$
24		—	1,58	—	78,73	—	—	10,50	8,78	99,59	$(Pb_{0,95}Ag_{0,04})_{0,99}(S_{0,68}Se_{0,33})_{1,01}$
25		—	1,35	—	78,65	—	—	11,72	8,26	99,98	$(Pb_{0,95}Ag_{0,03})_{0,98}(S_{0,65}Se_{0,37})_{1,02}$
26		—	4,99	—	77,98	—	—	9,32	7,46	99,75	$(Pb_{0,97}Ag_{0,12})_{1,09}(S_{0,60}Se_{0,31})_{0,91}$
27		—	2,95	—	79,42	—	—	8,48	9,13	99,98	$(Pb_{0,95}Ag_{0,05})_{1,02}(S_{0,71}Se_{0,27})_{0,98}$
28	Се-киноварь	—	—	77,72	—	—	—	15,15	6,47	99,34	$Hg_{0,99}(S_{0,51}Se_{0,49})_{1,01}$
29	Гессит	—	62,48	—	—	—	36,56	—	—	99,04	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
30		—	62,33	—	—	—	37,07	—	—	99,35	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
31		—	63,08	—	—	—	36,48	—	—	99,56	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
32		—	62,31	—	—	—	36,72	—	—	99,03	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
33		—	62,32	—	—	—	37,02	—	—	99,34	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
34		—	62,59	—	—	—	37,25	—	—	99,84	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
35		—	62,49	—	—	—	37,07	—	—	99,56	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
36		—	62,71	—	—	—	36,56	—	—	99,27	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
37		—	63,09	—	—	—	36,26	—	—	99,35	$Ag_{2,02}Te_{0,98}$
38	Колорадоит	—	—	61,32	—	—	37,79	—	—	99,11	$Hg_{1,02}Te_{0,98}$
39		—	—	61,41	—	—	38,17	—	—	99,58	$Hg_{1,01}Te_{0,99}$
40		—	—	61,62	—	—	37,96	—	—	99,58	$Hg_{1,01}Te_{0,99}$
41		—	—	61,40	—	—	37,85	—	—	99,25	$Hg_{1,02}Te_{0,98}$
42		—	—	61,06	—	—	38,42	—	—	99,48	$Hg_{1,01}Te_{0,99}$
43	Теллуrowисмутит	—	—	—	—	51,82	47,67	—	—	99,49	$Bi_{1,99}Te_{3,01}$
Рудопроявление Улуг-Саир											
44	Петцит	25,21	41,56	—	—	—	32,69	—	—	99,46	$Ag_{3,00}Au_{1,00}Te_{2,00}$
45		25,10	41,55	—	—	—	33,15	—	—	99,80	$Ag_{2,99}Au_{0,99}Te_{2,02}$
46	Гессит	—	62,08	—	—	—	37,34	—	—	99,42	$Ag_{1,99}Te_{1,01}$
47		—	62,64	—	—	—	37,76	—	—	99,40	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
48		—	62,38	—	—	—	36,86	—	—	99,24	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
49		—	62,72	—	—	—	36,43	—	—	99,15	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
50		—	63,28	—	—	—	36,49	—	—	99,77	$Ag_{2,02}Te_{0,98}$
51		—	62,91	—	—	—	36,81	—	—	99,72	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
52		—	62,58	—	—	—	36,56	—	—	99,14	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
53		—	62,79	—	—	—	36,72	—	—	99,51	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
54		—	62,67	—	—	—	37,08	—	—	99,75	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
55		—	62,75	—	—	—	36,57	—	—	99,32	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
56		—	63,03	—	—	—	37,12	—	—	100,15	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
57		—	62,59	—	—	—	37,14	—	—	99,73	$Ag_{2,00}Te_{1,00}$
58		—	63,12	—	—	—	36,47	—	—	99,59	$Ag_{2,02}Te_{0,98}$
59		—	62,22	—	—	—	37,29	—	—	99,51	$Ag_{1,99}Te_{1,01}$
60		—	62,29	—	—	—	37,47	—	—	99,76	$Ag_{1,99}Te_{1,01}$
61		—	62,25	—	—	—	37,55	—	—	99,80	$Ag_{1,99}Te_{1,01}$
62		—	61,85	—	—	—	37,37	—	—	99,22	$Ag_{1,99}Te_{1,01}$
63		—	60,72	—	1,80	—	36,93	—	—	99,15	$(Ag_{1,96}Pb_{0,03})_{1,99}Te_{1,01}$
64		—	60,65	—	1,75	—	36,95	—	—	99,35	$(Ag_{1,96}Pb_{0,02})_{1,98}Te_{1,02}$
65	Кавацулит	—	—	—	—	54,22	36,01	8,98	—	99,21	$Bi_{1,98}Te_{2,15}Se_{0,87}$
66		—	—	—	—	55,37	36,50	7,79	—	99,66	$Bi_{2,04}Te_{2,20}Se_{0,76}$
67		—	—	—	—	55,17	35,56	8,74	—	99,51	$Bi_{2,02}Te_{2,13}Se_{0,85}$
68		—	—	—	—	55,26	35,55	8,28	—	99,09	$Bi_{2,04}Te_{2,15}Se_{0,81}$
69		—	—	—	—	55,48	35,61	8,78	—	99,87	$Bi_{2,02}Te_{2,13}Se_{0,85}$
70	Се-волынскит	—	19,76	—	—	39,23	30,58	9,59	—	99,16	$Ag_{1,00}Bi_{1,03}Te_{1,31}Se_{0,66}$
71		—	20,37	—	—	39,17	29,48	10,45	—	99,47	$Ag_{1,02}Bi_{1,01}Te_{1,25}Se_{0,72}$
72	Фишессерит	27,39	48,86	—	—	—	—	23,27	—	99,52	$Au_{0,94}Ag_{3,06}Se_{2,00}$
73		25,42	51,36	—	—	—	—	23,08	—	100,06	$Au_{0,86}Ag_{3,19}Se_{1,95}$
74		27,95	48,70	—	—	—	—	23,07	—	99,72	$Au_{0,96}Ag_{3,06}Se_{1,98}$
75		25,56	50,44	—	—	—	—	23,72	—	99,72	$Au_{0,87}Ag_{3,13}Se_{2,01}$
76		26,00	51,42	—	—	—	—	23,04	—	100,46	$Au_{0,88}Ag_{3,18}Se_{1,94}$
77		26,49	50,19	—	—	—	—	23,26	—	99,94	$Au_{0,90}Ag_{3,12}Se_{1,98}$
78		27,14	49,63	—	—	—	—	23,01	—	99,78	$Au_{0,93}Ag_{3,10}Se_{1,97}$
79	Алтаит	—	—	—	60,76	—	38,44	—	—	99,20	$Pb_{0,99}Te_{1,01}$
80	Науманнит	—	72,69	—	—	—	—	26,52	—	99,21	$Ag_{2,00}Se_{1,00}$
81		—	74,75	—	—	—	—	22,91	1,80	99,46	$Ag_{2,00}(Se_{0,84}S_{0,16})_{1,00}$

Окончание табл.
End of Table

№ п/п	Минерал	Au	Ag	Hg	Pb	Bi	Te	Se	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
80	Тиманнит	—	—	72,58	—	—	—	26,49	0,76	99,83	Hg _{1,00} (Se _{0,93} S _{0,07}) _{1,00}
81		—	—	72,81	—	—	—	25,60	1,08	99,49	Hg _{1,01} (Se _{0,90} S _{0,09}) _{0,99}
82		—	—	73,65	—	—	—	23,92	1,97	99,54	Hg _{1,00} (Se _{0,83} S _{0,17}) _{1,00}
83		—	—	74,05	—	—	—	26,98	2,65	99,76	Hg _{0,99} (Se _{0,79} S _{0,22}) _{1,01}
84		—	—	74,76	—	—	—	21,69	2,93	99,38	Hg _{1,01} (Se _{0,74} S _{0,25}) _{0,99}
85		—	—	76,69	—	—	—	17,81	4,84	99,34	Hg _{1,01} (Se _{0,59} S _{0,40}) _{0,99}
86	Se-содержащий галенит	—	—	—	86,16	—	—	0,58	12,68	99,42	Pb _{1,01} (S _{0,97} Se _{0,02}) _{0,99}
87		—	—	—	85,83	—	—	0,64	12,69	99,16	Pb _{1,01} (S _{0,97} Se _{0,02}) _{0,99}
		—	—	—	85,82	—	—	1,71	12,11	99,64	Pb _{1,02} (S _{0,93} Se _{0,05}) _{0,98}

Рудопроявление Арыскан

88	Петцит	25,59	40,99	—	—	—	32,54	—	—	99,12	Ag _{2,98} Au _{1,02} Te _{2,00}
89		25,62	41,72	—	—	—	32,89	—	—	100,23	Ag _{3,00} Au _{1,00} Te _{2,00}
90		25,26	41,21	—	—	—	32,69	—	—	99,16	Ag _{2,99} Au _{1,00} Te _{2,01}
91		23,48	42,34	—	—	—	33,47	—	—	99,79	Ag _{3,03} Au _{0,94} Te _{2,03}
92		41,86	25,53	—	—	—	32,31	—	—	99,70	Ag _{3,02} Au _{1,01} Te _{1,97}
93		41,38	25,72	—	—	—	32,76	—	—	99,86	Ag _{2,99} Au _{1,01} Te _{2,00}
94	Гессит	—	63,21	—	—	—	36,67	—	—	99,88	Ag _{2,01} Te _{0,99}
95		—	62,22	—	—	—	36,98	—	—	99,20	Ag _{2,00} Te _{1,00}
96	Цумоит	—	—	—	—	61,53	38,32	—	—	99,85	Bi _{0,99} Te _{1,01}
97		—	—	—	—	63,17	36,13	—	—	99,30	Bi _{1,03} Te _{0,97}
98	Теллуrowисмутит	—	—	—	—	53,02	46,80	—	—	99,82	Bi _{2,04} Te _{2,96}
99		—	—	—	—	51,14	48,11	—	—	99,25	Bi _{1,97} Te _{3,03}
100		—	—	—	—	52,03	47,11	—	—	99,14	Bi _{2,01} Te _{2,99}
101		—	—	—	—	52,07	47,53	—	—	99,60	Bi _{2,00} Te _{3,00}
102	Алтаит	—	—	—	62,28	—	36,30	1,11	—	99,69	Pb _{1,00} (Te _{0,95} Se _{0,05})
103		—	1,93	—	58,34	—	39,14	—	—	99,41	(Pb _{0,93} Ag _{0,06}) _{0,99} Te _{1,01}
104	Фишессерит	50,14	30,28	—	—	—	—	15,83	3,34	99,59	Ag _{3,02} Au _{1,00} (Se _{1,30} S _{0,68}) _{1,98}
105		47,56	28,94	—	—	—	—	22,92	—	99,42	Ag _{3,01} Au _{1,01} Se _{1,98}
106	Клаусталит	—	—	—	73,81	—	—	23,78	1,53	99,12	Pb _{1,01} (Se _{0,86} S _{0,13}) _{0,99}
107	Букхорнита	17,17	—	—	33,53	17,14	22,85	—	8,93	99,62	(Pb _{1,85} Bi _{0,94} S _{3,18}) _{5,97} (Au _{0,99} Te _{2,04}) _{3,04}
108		17,85	—	—	38,01	14,27	21,27	—	8,25	99,65	(Pb _{2,16} Bi _{0,80} S _{3,02}) _{5,98} (Au _{1,06} Te _{1,96}) _{3,02}
109		17,37	—	—	38,33	14,61	21,29	—	7,79	99,39	(Pb _{2,21} Bi _{0,84} S _{2,91}) _{5,96} (Au _{1,05} Te _{1,99}) _{3,04}
110		16,30	—	—	36,45	15,60	22,96	—	8,36	99,67	(Pb _{2,05} Bi _{0,87} S _{3,03}) _{5,95} (Au _{0,96} Te _{2,09}) _{3,05}

Примечание. Химический состав минералов определен на растровом электронном микроскопе MIRA LM (аналитик Н.С. Карманов, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) (пределы обнаружения содержаний элементов-примесей – около 0,01 мас. %). Прочерк – ниже пределов обнаружения. Формулы фишессерита, петцита рассчитаны на 6 ат., кавацулита, теллуrowисмутита – на 5 ат., Se-волинскита – 4 ат., науманнита, гессита – на 3 ат., тиманнита, Se-киновари, колорадоита, алтаита, клаусталит, галенита, цумоита – на 2 ат.

Note. The chemical composition of the minerals was identified using a scanning electron microscope MIRA LM (analyst N.S. Karmanov, IGM SB RAS, Novosibirsk) The detection limits for the contents of impurity elements are about 0,01 wt.%. A dash is below detection limits. The formulas of fishecherite, petcite are calculated for 6 at., Cavatulite, tellurium bismuthite – for 5 at., Se-volynskita – 4 at., Naumannite, hessite – 3 at., Timannite, Se-cinnabar, coloradoite, altaite, clausalite, galena, tsumoite – by 2 at.

Поверхность золотин шагреневая, мелкоямчатая, зеркально гладкая и ямчато-бугорчатая. Цвет варьирует от золотисто-желтого до серебристого с желтоватым оттенком. Для зерен золота характерна ярко выраженная зональность – от центра к периферии, как правило, закономерно увеличиваются содержания Ag и Hg, при уменьшении Au, т.е. наблюдаются зерна, центр которых сложен золотом, а к каймам постепенно переходит к Hg-электруму или Hg-кюстелиту (см. рис. 4). В рудах количественно преобладают высоко- и среднепробное золото и ртутистые разновидности электрума и кюстелита. Средняя

пробность золота для 160 зерен (249 ан.) составляет 690 ‰ при вариациях от 19 до 957 ‰.

Рудопроявление Улуг-Саир выявлено в 1964 г. В.В.Зайковым при геологической съёмке 1 : 50 000 масштаба. Оно приурочено к осевой части одноименной горст-антиклинали субширотного простирания и осложненной тектоническими нарушениями Аржанской горст-антиклинали. Протяженность ее составляет 6 км, размах крыльев – 2–3 км, ядро сложено ордовикскими конгломератами, алевролитами, песчаниками и венд-нижнекембрийскими офиолитами (обнаженными западнее рудопроявления),

крылья – ордовикскими алевролитами, силурийскими сланцами и алевролитами (см. рис. 1).

На рудопроявлении выявлено 78 кварцевых жил и 38 жильных зон в конгломератах, алевролитах, кварц-турмалиновых метасоматитах, реже в березитах. Простираение жил ВСВ, падение близкое вертикальному, мощность – от 15 см до 2 м, длина – 20–100 м. Жильные зоны имеют ширину от 3 до 40 м и протяженность от 20 до 120 м [Зайков, Зайкова, 1969].

Зеленоватые, серые и лилово-серые конгломераты ордовика слагают пачки мощностью 10–50 м и разделены тонкими прослоями гравелитов, песчаников и алевролитов, по которым развиваются кварц-турмалиновые метасоматиты (мощностью до 5–7 м) с рутилом (в том числе W-содержащим), фторапатитом, шеелитом, пиритом и светло-зеленым игольчато-призматическим турмалином. Отметим, что на рудопроявлении Хаак-Саир кварц-турмалиновые метасоматиты генетически связаны с интрузиями тоналит-порфиров баянкольского комплекса (D_3bn) [Зайков и др., 1981]. Широкое развитие турмалиновой минерализации на рудопроявлении Улуг-Саир дает основание предполагать наличие на глубине гранитоидного интрузива мезоабиссальной фации глубинности.

Березиты развиты по осадочным породам и дайкам кислого и среднего состава. Березиты по осадочным породам имеют «занозистую» (типа «конского хвоста») форму тел и крутое (с углами падения 75–85°), иногда вертикальное залегание согласно с вмещающими породами. Они варьируют по мощности от 0,5 до 2 м и имеют протяженность от 100 до 150 м, березитизированные дайки риолит-, гранодиорит-порфиров – плитообразную, местами жилообразную форму, мощностью 1–3 м и протяженностью от 0,3 до 0,5 км, реже до 1 км. По минеральному составу березиты обеих разновидностей сходны – желтоватые гидротермально-измененные, тонко- и скрытокристаллические породы с тонкими пирит-кварцевыми и карбонатными прожилками, сложенные кварцем (30–50 %), альбитом (40–60 %), серицитом (до 5–10 %), кальцитом, анкеритом (до 10–30 %) и пиритом в виде хорошо ограненных кубических кристаллов (1–15 %) размером, в среднем, 1–5 мм, в максимуме достигая 1–3 см.

Среднее содержание Au в рудах составляет 3,45 г/т, Ag – 4,15 г/т [Зайков, Зайкова, 1969]. В рудах установлена положительная корреляция Au с Cu, V, Ag, Sb, As, Te, Bi, Mn, Ba, Sr, Pb, Mg, Mo, Cd, Zn и W [Кужугет, 2014].

На рудопроявлении Улуг-Саир «дозолоторудные» кварц-турмалиновые метасоматиты (этап I) сменяются собственно золото-сульфидно-кварцевой минерализацией в березитах (этап II). Опираясь на работы предшественников [Зайков, Зайкова, 1969; Васильев и др., 1979] и собственные наблюдения, установлено, что ранний высокотемпературный дозолоторуд-

ный кварц-турмалиновый этап представлен двумя стадиями: турмалиновой (1) и турмалин-кварцевой (2). На II этапе золото-сульфидно-кварцевое оруденение формировалось в течение 7 стадий: дорудные березитовая (1) и пирит-кварцевая (2); рудные золото-сульфидно-кварцевая (3) и золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая (4); пострудные хлорит-турмалин-кварцевая (5), карбонатно-кварцевая (6) и хлорит-гематит-кварцевая (7) (см. рис. 2).

Золото-сульфидно-кварцевые жилы (I) сложены кварцем, халькопиритом, пиритом, галенитом, золотом (Au 72,12–96,44; Ag 3,36–27,69; Cu 0,00–0,69; Te 0,00–0,04 мас. %), электрумом (Ag 29,80–38,45; Au 61,55–69,71; Cu 0,00–0,46 мас. %).

Золото-теллуридно-сульфидно-кварцевые жилы (II) сложены кварцем, хлоритом, серицитом, борнитом, халькопиритом, теннантитом, тетраэдритом, галенитом, Se-содержащим галенитом (Se до 1,7 мас. %), петцитом, гесситом, фишессеритом (Pb до 1 мас. %, Te – 0,6 мас. %), науманнитом, тиманнитом (S – 4,84 мас. %), кавацулитом, Se-волынскитом (Se до 10,5 мас. %), виттихенитом, алтаитом, баритом, сфалеритом, кальцитом, доломитом, акантитом, золотом (Au 72,56–90,10; Ag 9,47–27,44; Cu 0,00–0,50; Te 0,00–0,02 мас. %), электрумом (Au 60,37–69,45; Ag 30,53–40,12 мас. %), самородным Bi (рис. 5, см. таблицу).

Петцит и гессит рудопроявления Улуг-Саир представлены мелкими включениями (1–50 мкм) в халькозине, реже борните и кварце. Фишессерит, науманнит, тиманнит, кавацулит, Se-волынскит и виттихенит встречаются более ограниченно, чем теллуриды Au и Ag. Часто наблюдаются тонкие сростания этих минералов в халькозине в ассоциации с золотом, баритом, самородным Bi (рис. 5). В окисленных рудах наблюдаются малахит, азурит, халькозин, ковеллин, лимонит, иодаргирит, бисмутит $Bi_2O_2(CO_3)$ и т.д. [Кужугет, 2015]. Мощность зоны гипергенеза составляет не менее 100 м.

Золото рудопроявления трещинно-прожилковой, комковидной, комковидно-ветвистой, дендритовидной и кристаллической (октаэдры, кубооктаэдры, комковидные выделения с плохо развитыми гранями) форм отмечается в виде мелких выделений в кварце, халькопирите, борните, халькозине и пирите, а также в сростании с сульфидами, теллуридами и реликтовым турмалином. Поверхность золотинок шагреновая, иногда зеркально гладкая, часто наблюдаются отпечатки других минералов. Цвет золотисто-желтый, реже светло-желтый. Золотины слабо зональные с тенденцией к увеличению содержания Ag к периферии зерен на 3–7 мас. %. В рудах количественно преобладает высоко- и среднепробное золото, менее распространено низкопробное. Средняя пробность золота (97 зерен, 262 ан.) составляет 884 ‰ при вариациях от 601 до 967 ‰.

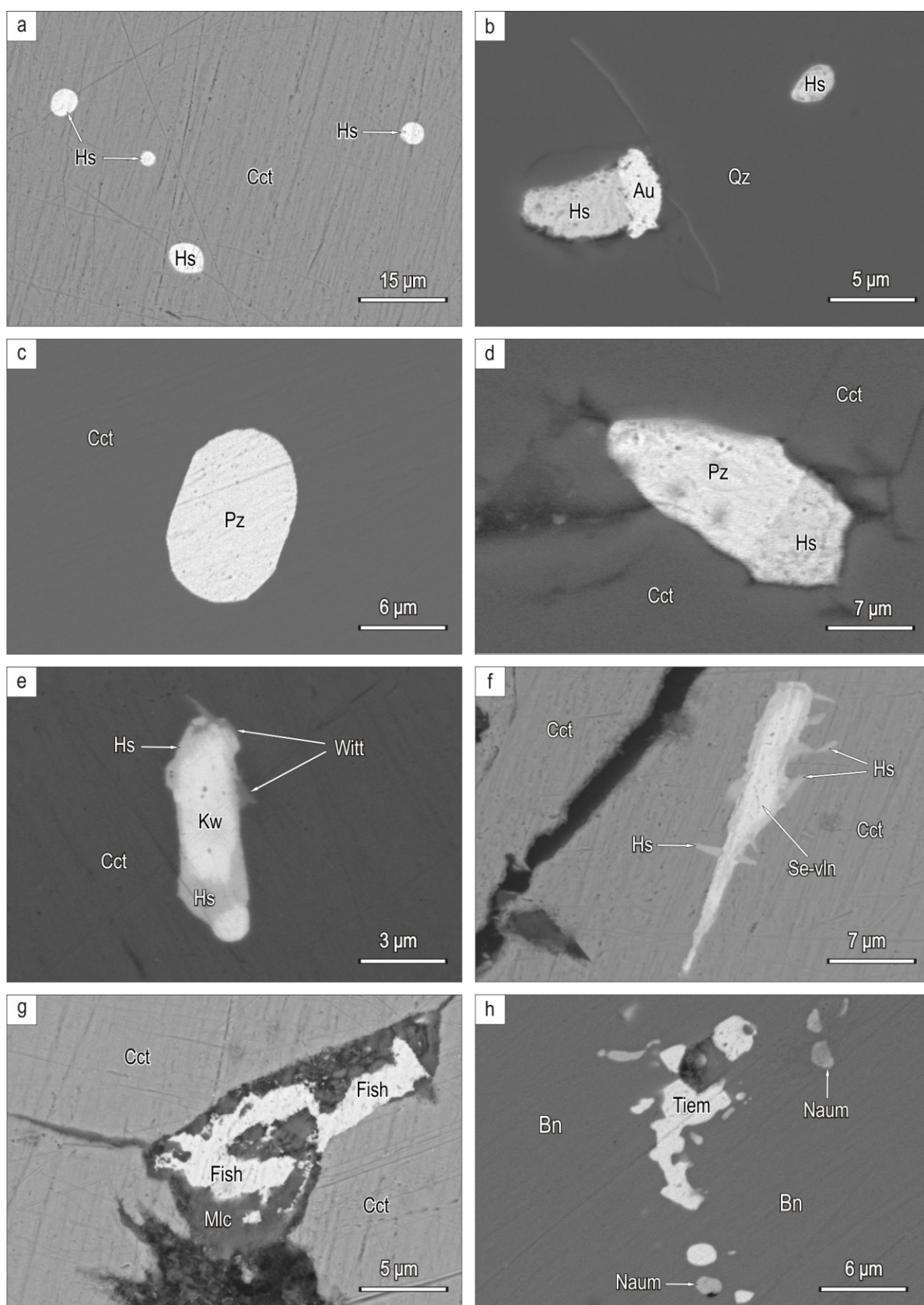


Рис. 5. Формы выделения гессита (Hs), золота (Au), петцита (Pz), кавацилита (Kwz), виттихенита (Witt), Se-волынскита (Se-vln), фишессерита (Fish), науманнита (Naum), тиманнита (Tiem) в борните (Bn), кварце (Qz), халькозине (Cct) и малахите (Mlc) рудопоявления Улуг-Саир. BSE-фото

Fig. 5. Hessite (Hs), gold (Au), petzite (Pz), kawazulite (Kwz), wittichenite (Witt), Se-volynskite (Se-vln), fischesserite (Fish), naumannite (Naum), tiemannite (Tiem) in bornite (Bn), quartz (Qz), chalcocite (Cct), and malachite (Mlc) of the Ulug-Sair ore occurrence. BSE photos

Рудопроявление Арыскан выявлено Е.В. Зайковой в 1964 г. при геологической съемке 1:50 000 масштаба [Зайков, Зайкова, 1969], расположено в восточной части АМРУ на южных склонах г. Арыскан и приурочено к восточной части Улуг-Саирской горст-антиклинали (см. рис. 1). На рудопроявлении развиты гравелиты, песчаники и алевролиты ордовика с прослоями конгломератов мощностью от долей до нескольких метров. На рудопроявлении широко развиты березиты за счет кварцевых песчаников и алевролитов и по дайкам гранодиорит-порфиров I фазы баянкольского комплекса (D_3). Первые имеют мощность от 0,5 до 5 м, протяженность до 3,5 км, вторые – 0,2 до 1 м, протяженность до 2,5 км. Березиты представляют собой желтоватые тонкокристаллические кварц-карбонатные породы с вкрапленностью пирита (до 5 %), чешуйками серицита (до 15 %), пронизанные тонкими прожилками кварца с пиритом. Тела березитов рассечены маломощными рудными жилами и прожилками (штокверкового типа, мощностью 2–7 см) с прожилковой, гнездовой и рассеянно-вкрапленной минерализацией.

Распределение Au в рудах крайне неравномерное и характеризуется значительными вариациями

Ag/Au – от 0,01 до 150. Среднее содержание Au в рудах составляет 1,44 г/т [Зайков, Зайкова, 1969].

На рудопроявлении Арыскан кварц-турмалиновых метасоматитов не обнаружено и выделены дорудные (березитовая (1) и пирит-кварцевая (2)); рудные (золото-сульфидно-кварцевая (3) и золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая (4)); пострудные (карбонатно-кварцевая (5) и хлорит-гематит-кварцевая (6)) стадии (см. рис. 2).

Золото-сульфидно-кварцевые жилы (I) сложены кварцем, халькопиритом, пиритом, галенитом и золотом (Au 80,72–93,75; Ag 6,33–18,89; Cu 0,01–0,40; Hg 0,00–0,24; Te 0,00–0,05 мас. %); золото-теллуридно-сульфидно-кварцевые жилы (II) – кварцем, борнитом, халькопиритом, пиритом, петцитом, гесситом, теллуrowисмутитом, алтаитом (Se до 1,1 мас. %), цумоитом, теннантитом, фишессеритом, клаусталитом, самородным Te, баритом, букхорнитом и золотом (Au 86,01–91,56; Ag 7,47–13,779; Cu 0,00–0,25 мас. %).

Петцит, гессит, теллуrowисмутит, алтаит и букхорнит образуют мелкие (5–30 мкм) включения в кварце, халькопирите, золоте и гетите преимущественно овальной формы (рис. 6).

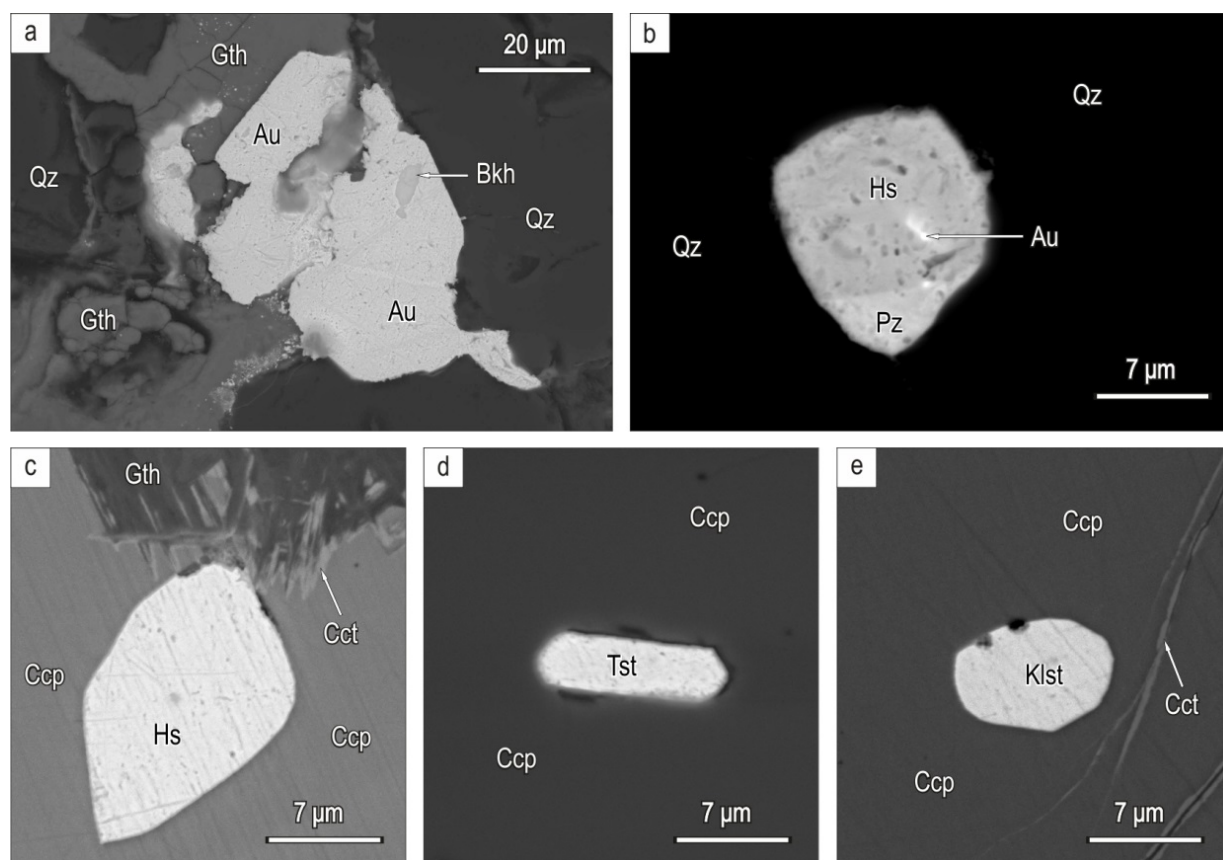


Рис. 6. Формы выделения золота (Au), букхорнита (Bkh), гессита (Hs), петцита (Pz), цумоита (Tst), клаусталита (Klst) в кварце (Qz), халькопирите (Ccp) и гетите (Gth) рудопроявления Арыскан. BSE-фото

Fig. 6. Gold (Au), buckhornite (Bkh), hessite (Hs), petzite (Pz), zumoite (Tst), claustalite (Klst) associated with quartz (Qz), chalcopyrite (Ccp) and goethite (Gth) of Aryska ore occurrence. BSE photos

Зерна фишессерита и клаусталита (до 20 мкм) отмечаются в кварце и халькопирите. Химический состав теллуридов, селенидов и бухорнита показан в таблице.

На рудопроявлении Арыскан мощность зоны гипергенеза оценивается не менее 50 м, где проявлены гидроксиды Fe (гетит и гидрогетит) и другие гипергенные минералы Cu, Sb, As, Ag и Pb, образованные при окислении блеклых руд, галенита, халькопирита и теллуrowисмутита. За счет окисления последнего также развивается чеховичит $\text{Bi}_2\text{Te}_4\text{O}_{11}$.

Золото присутствует в виде мелких выделений в кварце в ассоциации с халькопиритом, пиритом, галенитом, теллуридами и селенидами. Морфология зерен золота весьма разнообразна, преобладают трещинно-прожилковые, комковидно-ветвистые и ксеноморфные разновидности. Цвет золотин золотисто-желтый. Для золотин наблюдается увеличение содержания Ag к периферии зерен до 4 мас. %. Средняя пробоность золота рудопроявления составляет 894 ‰ при вариациях от 810 до 935 ‰.

Обсуждение результатов

Рудопроявления АМРУ характеризуются своеобразным минеральным составом руд, характерным для вулканогенно-гидротермальных золото-серебряных, вулканогенно-плутоногенных золото-кварцевых месторождений [Спиридонов, 2010]. Для рудопроявления Хаак-Саир гипабиссальной фации глубинности ($P \sim 0,5\text{--}0,75$ кбар, $\sim 1,5\text{--}2,3$ км) характерна золото-селенидно-теллуридная минерализация с селенидами (клаусталит, фишессерит, науманнит, тиманнит), теллуридами (гессит, колорадоит и теллуrowисмутит); рудопроявлений Улуг-Саир и Арыскан гипмезоабиссальной фации глубинности ($P \sim 0,75\text{--}1,8$ кбар, $\sim 2,3\text{--}5,4$ км) – золото-теллуридная минерализация с теллуридами (гессит, петцит, алтаит $\pm$ теллуrowисмутит $\pm$ цумоит $\pm$ Se-волынскит $\pm$ самородный Te) и селенидами (фишессерит $\pm$ клаусталит $\pm$ науманнит $\pm$ тиманнит). В отличие от Хаак-Саир, на Улуг-Саир и Арыскан отсутствуют минералы ртутистого золота, преобладают теллуриды над селенидами и разнообразные минеральные формы Bi (самородный Bi, виттихенит Cu_3BiS_3 , теллуrowисмутит, цумоит, кавачулит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ и Se-волынскит AgBiTe_2). Блеклые руды теннантит-тетраэдритового ряда редки и для них не характерна примесь Bi. По-видимому, на рудопроявлении Хаак-Саир Bi в виде примеси входит в состав блеклых руд, что обусловило наличие только единичных зерен теллуrowисмутита.

Согласно опубликованным данным [Бадалов и др., 1984; Бадалов, Спиридонов, 1986; Коваленкер и

др., 2003], на верхних горизонтах месторождения Кайрагач (Узбекистан) с Au-Sn-Bi-Se-Te геохимическим профилем широко развиты селениды, Te-содержащие блеклые руды и менее – теллуриды; на глубоких горизонтах возрастает доля теллуридов и снижается доля селенидов. На Au-Te месторождениях Крипл Крик, Калгурли и других минералы Hg развиты преимущественно на верхних горизонтах [Stillwell, 1931; Emmons, 1937; Radtke, 1963; Boyle, 1979; Shackleton et al., 2003; Наумов, 2007]. Согласно [Спиридонов, 1995; Назьмова и др., 2010], это обусловлено тем, что с ростом глубинности формирования золото-кварцевых месторождений в рудах снижается количество Sb, Hg, Tl и возрастают содержания Te и W и величины отношений Au/Ag, Te/Se (от 1–2 до 100–3 000) и Au/Hg (от 1 до 200–6 500).

По минералого-геохимическим особенностям руд изученные рудопроявления отнесены к малосульфидной золото-кварцевой вулканогенно-плутоногенной формации, т.е. переходному типу от вулканогенных к плутоногенным гидротермальным месторождениям золота. Часть объектов этой формации – Лебединое, Куранах (Алдан) – по особенностям состава близки к вулканогенным месторождениям и содержат селенидно-теллуридную минерализацию, Bi- и Te-содержащие блеклые руды, колусит и киноварь [Петровская, 1973]. Другие (Дарасун (Забайкалье), Чармитан-Зармитан (Узбекистан) имеют промежуточные характеристики [Прокофьев, 1998; Кривицкая и др., 2010; Спиридонов, 2010], т.е. близки плутоногенным объектам.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что рассматриваемые рудопроявления АМРУ являются производными единой рудно-магматической системы с четкой минеральной зональностью по фациям глубинности формирования руд: на верхних уровнях развиты минеральные ассоциации с серебристыми блеклыми рудами, минералами ряда Au-Ag-Hg, селенидами Au-Ag, Ag и Hg, теллуридами Ag и Hg и незначительным количеством халькопирита. На глубоких горизонтах количество халькопирита, теллуридов и минералов Bi возрастает при снижении доли селенидов.

Выявленные закономерности распределения рудных ассоциаций на объектах АМРУ могут быть использованы при оценке уровня эрозионного среза, разработке прогнозно-поисковых, прогнозно-оценочных критериев при разведке месторождений или рудопроявлений, генетически сходных с рудопроявлениями АМРУ.

ЛИТЕРАТУРА

- Бадалов А.С., Спиридонов Э.М., Гейнке В.Р.** Минералы – самородные элементы и теллуриды вулканогенного рудопоявления Кайрагач (УзССР) // Записки Узбекского отделения Всесоюзного минералогического общества. 1984. Вып. 37. С. 64–67.
- Бадалов А.С., Спиридонов Э.М.** Минеральные ассоциации и эндогенная зональность вулканогенного месторождения Кайрагач // Записки Узбекского отделения Всесоюзного минералогического общества. 1986. Вып. 39. С. 18–27.
- Безруков О.А.** Результаты поисково-оценочных работ в бассейне рек Ак-Суг, Алаш, Хемчик. Кызыл : ТГРЭ, 1969. 119 с.
- Васильев Б.Д., Дружков В.П., Красиков А.И., Боярко Г.Ю.** Золотое оруденение в зоне Хемчикско-Куртушибинского глубинного разлома (Тува) // Рудные формации и месторождения Сибири. Томск : Изд-во ТПИ, 1979. С. 91–95.
- Зайков В.В., Куликов С.С., Онуфриева (Зайкова) Е.В.** Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Ак-Суг–Хемчик. Кызыл : ТГРЭ, 1966. 340 с.
- Зайкова Е.В., Зайков В.В.** О золотом оруденении в Западной Туве, связанном с девонским магматизмом // Материалы по геологии Тувинской АССР. Кызыл, 1969. С. 72–76.
- Зайков В.В., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г., Гречищева В.Н., Кужугет К.С.** Рудные формации Тувы. Новосибирск : Наука, 1981. 201 с.
- Коваленкер В.А., Плотинская О.Ю., Прокофьев В.Ю., Гертман Ю.Л., Конеев Р.И., Поморцев В.В.** Минералогия, геохимия и генезис золото-сульфидно-селенидно-теллуридных руд месторождения Кайрагач (Республика Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45, № 3. С. 195–227.
- Кривичкая Н.Н., Брызгалов И.А., Спиридонов Э.М., Куликова И.М., Городецкая М.Д.** Парагенезы минералов Au-Bi-Sb-Te в Дарасунском вулканогенно-плутоногенном месторождении, Восточное Забайкалье // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований. М. : ИГЕМ РАН, 2010. Т. 1. С. 292–294.
- Кужугет Р.В.** Золото-теллуридное оруденение Алдан-Маадырского рудного узла (Западная Тува): минералогическо-геохимические особенности руд и условия их образования : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск, 2014. 20 с.
- Кужугет Р.В., Зайков В.В., Лебедев В.И.** Улут-Саирское золото-турмалин-кварцевое месторождение, Западная Тува // Литосфера. 2014. № 2. С. 99–114.
- Кужугет Р.В., Зайков В.В., Лебедев В.И., Монгуш А.А.** Золоторудная минерализация Хаак-Саирского золото-кварцевого рудопоявления в ливневитах (Западная Тува) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 9. С. 1693–1712.
- Кужугет Р.В., Зайков В.В., Анкушева Н.Н.** Минералогическо-геохимические особенности Арысканского рудопоявления золота кварцево-жильного типа в березитах (Западная Тува) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 1 (29). С. 98–110.
- Монгуш А.А., Кужугет Р.В., Дружкова Е.К.** Особенности состава магматических пород и Ag-Ag данные о возрасте базитовых даек Алдан-Маадырской золоторудной зоны (Западная Тува) // Металлогения древних и современных океанов–2011. Рудоносность осадочно-вулканогенных и гипербазитовых комплексов. Научное издание. Миасс : Имин УрО РАН, 2011. С. 262–268.
- Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М., Шалаев Ю.С.** Фации глубинности, фации по составу рудовмещающей среды и особенности глубоко проникающих месторождений каледонской плутоногенной золото-кварцевой формации Северного Казахстана // Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований». М. : ИГЕМ РАН, 2010. С. 70–72.
- Наумов Е.А.** Типы золото-ртутной минерализации Алтае-Саянской складчатой области и физико-химические условия их формирования : дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск, 2007. 192 с.
- Петровская Н.В.** Самородное золото. М. : Наука, 1973. 348 с.
- Прокофьев В.Ю.** Типы гидротермальных рудообразующих систем (по данным исследования флюидных включений) // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. С. 514–528.
- Спиридонов Э.М.** Инверсионная плутоногенная золото-кварцевая формация каледонид севера Центрального Казахстана // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37, № 3. С. 179–207.
- Спиридонов Э.М.** Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов. Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции, посвященной 80-летию Кольского НЦ РАН. Апатиты : Изд-во К & М, 2010. С. 143–171.
- Boyle R.M.** The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element) // Bulletin (Geological Survey of Canada). 1979. № 280. 584 p.
- Emmons W.H.** Gold deposits of the World. New York; London : McGraw-Hill Book Company, 1937. 562 p.
- Radtke A.S.** Data on cuprian coloradoite from Kalgoorlie, Western Australia. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. 1963. V. 58 (4). P. 593–598.
- Shackleton J.M., Spry P., Bateman R.** Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia // Canadian Mineralogist. 2003. V. 41. P. 1503–1524.
- Stillwell F.L.** The occurrence of telluride minerals of Kalgoorlie // Proceedings of Australasian Institute of Mining and Metallurgical. 1931. № 84. P. 115–190.

Авторы:

Кужугет Ренат Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геодинамики, магматизма и рудообразования, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия.

E-mail: rkuzhuget@mail.ru

Зайков Виктор Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Россия.

Анкушева Наталья Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, лаборатория минералогии рудогенеза, Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, Миасс, Россия.

E-mail: ankusheva@mail.ru

R.V. Kuzhuget¹, V.V. Zaykov², N.N. Ankusheva²¹Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, SB of RAS, Kyzyl, Russia²Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, 456317, Chelyabinsk region, Miass, Russia**Au-Se-Te MINERALIZATION OF THE ALDAN-MAADYR GOLD-ORE CLUSTER (WESTERN TUVA)**

The paper describes Au-Te mineralization in ore occurrences of the Aldan-Maadyr gold-ore cluster (the AMOC), which is located in Western Tuva, on the left bank of the Khemchik River, at the junction of the metaterrigenous complexes of West Sayan, Vendian–Lower Cambrian oceanic complexes of western Tuva, Ordovician–Silurian molasse of the Khemchik–Systyg–Khem collisional trough, and Devonian volcanics of the Tuva rift trough. The location of gold mineralization within the cluster is caused mainly by the structure-tectonic and magmatic factors and is controlled by the faults feathering the Khemchik–Gold mineralization Kurtushiba (Sayan Tuva) deep fault. This gold occurrence is confined to the narrow linear anticlines and horst-anticlines of W–E strike diagonally adjoining the fault and to the cutting faults of the same orientation. AMOC is confined to small intrusions and dikes of granodiorite-, tonalite-porphyrries of Ist phase and dikes of granodiorite-porphyrries of IInd phase of the Bayankol complex (D₃). Ore occurrences are localized in sedimentary rocks and medium-temperature beresites and listwanites, and the largest of them are the Khaak-Sair ore occurrences in listwanites, Ulug-Sair and Aryskan in sedimentary rocks and beresites. In the low-sulfide veins, Au-Ag-Hg minerals (Hg-gold, electrum, Hg-electrum, Hg-kustelite, and Au-bearing Hg-silver), selenides (fischerite Ag₃AuSe₂, naumannite Ag₂Se, clausthalite PbSe, and tiemannite HgSe) tellurides (petzite Ag₃AuTe₂, hessite Ag₂Te, altaite PbTe, coloradoite HgTe, tellurobismuthite Bi₂Te₃, tsumoite BiTe, Se-volynskite AgBiTe₂, and native Te) are previously unknown; and other minerals (barite BaSO₄, Ag-tetrahedrite Ag₁₀(Fe,Zn)₂Sb₄S₁₃, gersdorffite NiAsS, bournonite CuPbSbS₃, wittichenite Cu₃BiS₃ native Bi, etc.). Minerals of gold, selenides and tellurides form inclusions in quartz, sulfides and sulphosalts. Mineralogical and geochemical peculiarities of ore occurrences from AMOC indicate that they are derivatives of the same ore-magmatic system, where mineral zoning is clearly shown in the facies of the ore formation depth; on shallow objects (P ~ 0.5–0.75 kbar, ~ 1.5–2.3 km) mineral assemblages include silver fahlores, Au-Ag-Hg minerals, selenides of Au-Ag, Ag and Hg, Ag and Hg tellurides, insignificant chalcopyrite. On average depths (P ~ 0.75–1.8 kbar, ~ 2.3–5.4 km), the chalcopyrite and telluride (Au-Ag, Ag) amounts increase considerably, in the process, and Hg minerals are absent.

Keywords: gold deposits, native gold, tellurides, selenides, Tuva.

References

- Badalov A.S., Spiridonov E.M., Geinke V.R. *Mineraly – samorodnye elementy i telluridy vulkanogenного rudoproyavleniya Kajragach (UzSSR)* [Minerals – native elements and tellurides of the volcanic ore occurrence Kairagach (UzSSR)] // *Zapiski Uzbekskogo otdeleniya Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 1984. V. 37. pp. 64–67. In Russian
- Badalov A.S., Spiridonov E.M. *Mineral'nye associacii i endogennaya zonal'nost' vulkanogenного mestorozhdeniya Kajragach* [Mineral associations and endogenous zoning of the Kairagach volcanic field] // *Zapiski Uzbekskogo otdeleniya Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 1986. V. 39. pp. 18–27. In Russian
- Bezrukov O.A. *Rezultaty poiskovo-ocennoykh rabot v bassejne rek Ak-Sug, Alash, Hemchik* [Results of prospecting and evaluation work in the Ak-Sug, Alash, Khemchik river basin] // Kyzyl: «TGRE», 1969. 119 p. In Russian
- Vasil'ev B.D., Druzhkov V.P., Krasikov A.I., Boyarko G.Yu. *Zolotoe orudnenie v zone Hemchiksko-Kurtushibinskogo glubinного razloma (Tuva)* [Gold mineralization in the zone of the Khemchik-Kurtushibinsky deep fault (Tuva)] // *Rudnye formacii i mestorozhdeniya Sibiri*. Tomsk: «TPI», 1979. pp. 91–95. In Russian
- Vasiliev B.D., Druzhkov V.P., Krasikov A.I., Boyarko G.Yu., Zaykov V.V., Kulikov S.S., Onufrieva (Zaykova) E.V. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye mezhduresh'ya Ak-Sug–Hemchik* [Geological structure and minerals of the Ak-Sug – Khemchik interfluv]. Kyzyl: «TGE», 1966. 340 p. In Russian
- Zaikova E.V., Zaikov V.V. *O zolotom orudnenii v Zapadnoy Tuve, svyazanom s devonskim magmatizmom* [Gold mineralization related to Devonian magmatism in western Tuva] // *Materials on Geology of the Tuvian ASSR*. Kyzyl, 1969. pp. 72–76. In Russian
- Zaykov V.V., Lebedev V.I., Tulkin V.G., Grechischeva V.N., Kuzhuget K.S. *Rudnye formacii Tuvy* [Ore formations of Tuva]. Novosibirsk: «Nauka», 1981, 201 p. In Russian
- Kovalenker V.A., Plotinskaya O.Yu., Prokofev V.Yu., Gertman Yu.L., Koneev R.I., Pomortsev V.V. Mineralogy, geochemistry, and genesis of gold-sulfide-selenide-telluride ores from the Kairagach deposit (Uzbekistan) // *Geology of Ore Deposits*. 2003. V. 45. No 3. pp. 171–200.
- Krivitskaya N.N., Bryzgalov I.A., Spiridonov E.M., Kulikova I.M., Gorodetskaya M.D. *Paragenezы mineralov Au-Bi-Sb-Te v Darasunskom vulkanogenno-plutonogenном mestorozhdenii, Vostochnoe Zabajkal'e* [Paragenesis of Au-Bi-Sb-Te minerals in the Darasun volcanogenic-plutonogenic deposit (East Transbaikalia)] // *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh associacij, usloviya obrazovaniya mestorozhdenij, zadachi prikladnykh issledovaniy*. Moscow: IGEM RAS. 2010. V. 1. pp. 292–294.
- Kuzhuget R.V. *Zoloto-telluridnoe orudnenie Aldan-Maadyrskogo rudnogo uzla (Zapadnaya Tuva): mineralogo-geohimicheskie osobennosti rud i usloviya ih obrazovaniya* [Gold-Telluride Mineralization of the Aldan-Maadyr Ore Cluster (Western Tuva): Mineralogical and Geochemical Peculiarities of Ores and Their Formation Conditions]: Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Novosibirsk, 2014. 20 p. In Russian
- Kuzhuget R.V., Zaikov V.V., Lebedev V.I. *Ulug-Sairskoe zoloto-turmalin-kvarcevoe mestorozhdenie, Zapadnaya Tuva* [The Ulug-Sair gold-tourmaline-quartz deposit, Western Tuva] // *Litosfera*. 2014. No 2. pp. 99–114. In Russian
- Kuzhuget R.V., Zaikov V.V., Lebedeva V.I., Mongush A.A. Gold mineralization of the Khaak-Sair gold-quartz ore occurrence in listwanites (western Tuva) // *Russian Geology and Geophysics*. 2015. V. 56. pp. 1332–1348.
- Kuzhuget R.V., Zaykov V. V., Ankusheva N.N. Mineralogo-geohimicheskie osobennosti Aryskanskogo rudoproyavleniya zolota kvarcevo-zhil'nogo tipa v berezitah (Zapadnaya Tuva) [Mineral and geochemical features of the Aryskanskoye gold-quartz mineralisation in beresites (Western Tuva)] // *Geology and mineral resources of Siberia*. 2017. No 1(29). pp. 98–110. In Russian

Mongush A.A., Kuzhuget R.V., Druzhkova, E.K. *Osobennosti sostava magmатических пород i Ar-Ar dannye o vozraste bazitovykh daek Aldan-Maadyrskoy zolotorudnoy zony (Zapadnaya Tuva)* [Composition of igneous rocks and Ar-Ar data on the age of basic dikes of the Aldan-Maadyr gold ore zone (Western Tuva)] // *Metallogeniya drevnih i sovremennykh okeanov-2011*. Miass, IMin UB RAS. pp. 262–268. In Russian

Naz'mova G.N., Spiridonov E.M., Shalaev Yu.S. *Facii glubinnosti, facii po sostavu rudovmeshchayushchej sredy i osobennosti gluboko pronikayushchikh mestorozhdenij kaledonskoj plutonogennoj zoloto-kvarcevoj formacii Severnogo Kazakhstana* [The depth facies, composition facies of ore-enclosing strata, and peculiarities of deeply penetrating deposits of Caledonian plutonic gold-quartz assemblage in northern Kazakhstan] // *Materialy Vserossiyskoj konferencii «Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh associacij, usloviya obrazovaniya mestorozhdenij, zadachi prikladnykh issledovaniy»* [Proceedings of the Russian Conference «Native Gold: Typomorphism of Mineral Assemblages, Conditions of Deposit Formation, and Problems of Applied Research»]. Moscow, IGM RAN, pp. 70–72. In Russian

Naumov E.A. *Tipy zoloto-rtutnoj mineralizacii Altae-Sayanskoy skladchatoj oblasti i fiziko-himicheskie usloviya ih formirovaniya* [Types of gold-mercury mineralization of the Altai-Sayan folded region and physicochemical conditions for their formation]: Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Novosibirsk, 2007. 18 p. In Russian

Petrovskaya N.V. *Samorodnoe zoloto* [Native Gold]. Moscow: «Nauka», 1973. 348 p.

Prokofiev V.Yu. Types of Hydrothermal Ore-Forming Systems (from Fluid Inclusion Studies) // *Geology of Ore Deposits*. 1998. V. 40. pp. 457–470.

Spiridonov E.M. Inversion plutonic gold-quartz assemblage in the Caledonides of northern Central Kazakhstan // *Geology of Ore Deposits*. 1995. V. 37 (3). pp. 179–207.

Spiridonov E.M. *Obzor mineralogii zolota v vedushchikh tipakh Au mineralizatsii* [Review of gold mineralogy in major types of Au mineralization]. *Zoloto Kolskogo poluostrova i sopredelnykh regionov. Trudy Vserossiyskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu Kolskogo NC RAN* [Gold of the Kola Peninsula and Adjacent Regions. Proceedings of the Russian (with Non-Russian Participants) Conference Dedicated to the 80th Anniversary of the Kola Scientific Center (Russian Academy of Sciences)]. Apatity, «K&M», 2010. pp. 143–171. In Russian

Boyle R.M. The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element) // *Bulletin (Geological Survey of Canada)*. 1979. No 280. 584 p.

Emmons W.H. *Gold deposits of the World*. New York-London: «McGraw-Hill Book Company», 1937. 562 p.

Radtke Arthur S. Data on cuprian coloradoite from Kalgoorlie, Western Australia // *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. 1963. V. 58(4). pp. 593–598.

Shackleton J.M., Spry P., Bateman R. Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia // *Canadian Mineralogist*. 2003. V. 41. pp. 1503–1524.

Stillwell F.L. The occurrence of telluride minerals of Kalgoorlie // *Proceedings of Australasian Institute of Mining and Metallurgical*. 1931. No 84. pp. 115–190.

Author's:

Kuzhuget Renat V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Lead Researcher, Laboratory of geodynamics, magmatism and ore formation, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: rkuzhuget@mail.ru

Zaykov Viktor V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), until December 2017 Chief Researcher, Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Russia.

Ankusheva Natalia N., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Researcher, Laboratory of ore genesis mineralogy, Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, Miass, Russia.

E-mail: ankusheva@mail.ru