

ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ХААК-САИРСКОГО ЗОЛОТО-КВАРЦЕВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ В ЛИСТВЕНИТАХ (*Западная Тува*)

Р.В. Кужугет, В.В. Зайков*, В.И. Лебедев, А.А. Монгуш

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,
667007, Республика Тыва, Кызыл, ул. Интернациональная, 117а, Россия*

** Институт минералогии УрО РАН, 456317, Челябинская обл., Миасс, Россия*

Рассмотрены минеральные ассоциации и минералого-геохимические особенности гипогенного золота Хаак-Саирского полистадийного, малосульфидного золото-кварцевого рудопроявления в листовенитах. На основании минералогических исследований выделены три продуктивные стадии образования минералов Au и Ag, в том числе: золото-сульфосолюно-сульфидно-кварцевая, золото-ртутисто-кварцевая и золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевая. В первую продуктивную стадию образовались весьма высокопробное золото → высокопробное золото → серебристое (среднепробное и низкопробное) золото → электрум + Ag-содержащие и серебристые блеклые руды (Ag до 50 мас. %) ± акантит ± гессит. Вторая продуктивная стадия включает высокопробное золото → Hg-содержащее и ртутистое золото → ртутистый электрум → ртутистый кустелит → Au-содержащее ртутистое серебро. Третья продуктивная стадия включает высокопробное золото → ртутистое золото → ртутистый электрум + науманнит + Te-содержащий науманнит + фишессерит + тиманнит + гессит + колорадоит + Ag-содержащие минералы ряда галенит—клаусталит (Ag до 6 мас. %) ± Se-киноварь ± Se-имитерит. Формирование продуктивных минеральных ассоциаций рудопроявления происходило в гипабиссальной фации глубинности ($P \sim 0.5$ кбар; $H \sim 1.5$ км), на фоне снижения температур 290—160 °C, при вариациях $f(O_2)$, $f(S_2)$, $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$.

Самородное золото, минералы системы Au—Ag—Hg, теллуриды, гессит, колорадоит, селениды, тиманнит, науманнит, фишессерит, блеклые руды, Тува.

GOLD MINERALIZATION OF THE KHAAK-SAIR GOLD–QUARTZ ORE OCCURRENCE IN LISTWÄNITES (*western Tuva*)

R.V. Kuzhuget, V.V. Zaikov, V.I. Lebedev, and A.A. Mongush

We consider mineral assemblages and mineralogical and geochemical peculiarities of hypogene gold from the Khaak-Sair multistage low-sulfide gold-quartz ore occurrence in listwänites. Three productive sub-stages of Au- and Ag-mineral formation have been recognized on the basis of mineralogical studies: gold-sulfosalt-sulfide-quartz, gold-mercury-quartz, and gold-selenide-telluride-sulfide-quartz. These substages were characterized by the following sequences of mineral formation: (1) ultrahigh-fineness gold → high-fineness gold → argental gold (medium- and low-fineness gold) → electrum + Ag-bearing and argental fahlores (up to 50 wt.% Ag) ± acanthite ± hessite; (2) high-fineness gold → Hg-bearing and mercurian gold → mercurian electrum → mercurian kustelite → Au-bearing mercurian silver; and (3) high-fineness gold → mercurian electrum + naumannite + Te-bearing naumannite + fischesserite + tiemannite + hessite + coloradoite + Ag-bearing minerals of the galena-clausthalite series (up to 6 wt.% Ag) ± Se-cinnabar ± Se-imiterite. Productive mineral assemblages of the ore occurrence formed in the hypabyssal facies (depth ~1.5 km, $P \sim 0.5$ kbar) on the background of a temperature decrease from 290 to 160 °C and variations in $f(O_2)$, $f(S_2)$, $f(Se_2)$, and $f(Te_2)$.

Native gold, Au—Ag—Hg system minerals, tellurides, hessite, coloradoite, selenides, tiemannite, naumannite, fischesserite, fahlores, Tuva

ВВЕДЕНИЕ

Поисковыми, геолого-съёмочными и тематическими работами 1952—1977 гг. в Западной Туве было выявлено несколько малосульфидных золото-кварцевых рудопроявлений. Эти объекты сосредоточены в Алдан-Маадырском золоторудном узле (АМЗУ), наиболее крупными из них являются Улуг-Саирское рудопроявление в конгломератах и алевролитах ордовика, Хаак-Саирское — в листовенитах (по V—E₁ офиолитам), конгломератах и песчаниках ордовика [Зайков и др., 1981]. АМЗУ находится в Западной Туве, на левобережье р. Хемчик, в области сочленения метатерригенных комплексов Западного Саяна, венд-нижнекембрийских океанических комплексов Западной Тувы, ордовик-силурийской мол-

ласы Хемчикско-Сыстыгхемского коллизийного прогиба и девонских вулканитов Тувинского рифтогенного прогиба. АМЗУ вытянут с запада на восток на 60 км, с юга на север на 15 км, рудные объекты в основном сосредоточены в субширотной узкой полосе размерами $45 \times 5\text{--}7$ км. Размещение золотого оруденения в пределах узла определяется главным образом структурно-тектоническим и магматическим факторами и контролируется разломами, оперяющимися Хемчикско-Куртушибинский (Саяно-Тувинский) глубинный разлом, и приурочивается, в частности, к диагонально примыкающим к нему узким линейным антиклиналям и горстантиклиналям субширотного простирания и секущим их разрывным нарушениям той же ориентировки.

В последние 2008—2014 годы авторами изучена минералогия руд рудопоявлений АМЗУ с использованием современных аналитических приборов и охарактеризована их сложная история формирования. Цель статьи — характеристика минералов, стадий и условий минералообразования Хаак-Саирского рудопоявления.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав минералов определялся на растровых электронных микроскопах с энергодисперсионными приставками (пределы обнаружения содержаний элементов-примесей — около 0.01 мас. %) РЭММА 202М (аналитик В.А. Котляров, Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс) и MIRA LM (аналитик Н.С. Карманов, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Снимки выделенных золотин в отраженных электронах сделаны на этих приборах, а также на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 (ТувИКОПР СО РАН, г. Кызыл). Для группировки золота по пробностям использована следующая классификация: весьма высокопробное золото (‰) — 1000—950; высокопробное — 950—900; средней пробности — 900—800; низкопробное золото — 800—700; электрум — 700—300; кюстелит — 300—100; серебро (Au-содержащее серебро) < 100 [Петровская, 1973].

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Хаак-Саирское рудопоявление открыто в 1953 г. геологами 21-й партии Дальней экспедиции ВСЕГЕИ В.М. Бондаревым и Г.М. Владимирским. Восточная часть Хаак-Саирского рудопоявления позднее была выделена в отдельное рудопоявление Сарыг-Даш [Васильев и др., 1979]. Золотоносные жилы и жильные зоны рудопоявления развиты на площади 2×8 км. Рудопоявление приурочено к осевой части Аржанской горст-антиклинали, ядро которой сложено венд-нижнекембрийскими офиолитами (известняками, интенсивно лиственитизированными серпентинитами, высокотитанистыми базальтами, габброидами, песчаниками и т.д.). На крыльях структуры они тектонически контактируют с ордовикскими конгломератами, песчаниками, алевролитами и силурийскими сланцами, смятыми в линейные изоклинальные складки субширотного простирания (рис. 1). Длина Аржанской структуры составляет более 9 км, ширина — 1—1.5 км. Горст-антиклиналь разделена тектоническими нарушениями субмеридионального простирания на четыре тектонических блока. Разлом сбросового типа, с юга ограничивающий Аржанскую горст-антиклинальную структуру, «залечен» малыми интрузиями гранодиорит-, тоналит-порфиры, которые отнесены к I фазе баянкольского комплекса (D_{2-3}). Предполагается, что золоторудная минерализация парагенетически связана с этими малыми интрузиями [Зайков, Зайков, 1969; Зайков и др., 1981; Монгуш и др., 2011].

На Хаак-Саирском рудопоявлении выделяются пять участков развития золото-кварцевых жил среди лиственитов, венд-нижнекембрийских эффузивов и ордовикских конгломератов, алевролитов и песчаников (см. рис. 1). Основную площадь рудопоявления занимают мусковит-парагонит-кварц-карбонатные (зеленые) и типичные кварц-карбонатные (серые) листвениты, образованные по венд-нижнекембрийским осадочным и магматическим породам. Зеленую окраску лиственитам придает Cr-содержащие (до 0.80 мас. % Cr_2O_3) слюды ряда мусковит—парагонит [Кужугет, 2012]. Листвениты слагают вытянутые до 2 км в широтном направлении тела мощностью 0.3—1.5 км, они пространственно приурочены к телам гипербазитов и базальтов чингинской свиты ($V-C_1$). Текстура лиственитов полосчатая, массивная, брекчиевидная и пятнистая. Структура неравномерно-зернистая, криптозернистая, гранобластовая, мелко- и среднезернистая. Распределение золота в лиственитах крайне неравномерное.

Золоторудная минерализация сосредоточена прежде всего в кварцевых жилах, часто представляющих собой системы параллельных прожилковых зон и жил. Жилы обычно приурочены к центральным частям тел лиственитов. Простирание отдельных кварцевых жил соответствует общему широтному простиранию линзовидных тел лиственитов. На рудопоявлении выявлено 26 кварцевых жил и 17 жильных зон [Васильев и др., 1979]. Длина жил варьируется от 20 до 250 м, мощность — от 0.1 до 8 м. Жильные зоны представляют собой системы шириной 1—10 м и длиной 10—100 м, состоящие из жил и прожилков мощностью до 0.4 м. Жилы и жильные зоны сложены молочно-белым, светло-зеленоватым или бледно-коричневатым халцедоновидным или тонкозернистым кварцем.



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Хаак-Саирского рудопроявления (по данным Е.В. Зайковой, В.В. Зайкова [1996] и Б.Д. Васильева и др. [1979] с добавлениями).

1 — четвертичные отложения (Q_{3-4}); 2—7 — осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы: 2 — алевролиты, песчаники, гравелисты, эффузивы кислого и среднего состава саглинской свиты ($D_{2,sg}$); 3 — эффузивы, риолитовые порфиры верхней подтепты кендэйской свиты (D_1, kn_2); 4 — красноцветные песчаники и алевролиты верхней подтепты хондергейской свиты (S_2-D_1, hn_2); 5 — алевролиты чергакской свиты ($S_{1-2}, \delta r$); 6 — известняки и линзы алевроитов чергакской свиты ($S_{1-2}, \delta r$); 7 — рассланцованные конгломераты, алевролиты, гравелисты и песчаники нижней подтепты адырташской свиты (O_3, ad_1); 8—10 — офиолиты фундамента Хемчикско-Куртушибинской преддуговой зоны: 8 — эффузивы, спилиты чингинской свиты ($V-E_1, \delta n$); 9 — рассланцованные эффузивы, спилиты чингинской свиты ($V-E_1, \delta n$); 10 — серпентиниты, пироксениты и связанные с ними габброиды и диориты офиолитового акловракского комплекса ($\sigma V-E_1, ak$); 11—13 — интрузивные образования байанькольского комплекса ($D_{2-3}, \delta n$): 11 — кварцевые и андезитовые порфиры (σ), габброиды III фазы (δ); 12 — дайки микродиоритов, диоритовых порфиритов III фазы; 13 — гранодиориты, тоналит-порфиры, гранит-порфиры, риолиты I фазы; 14 — листовиты и листовитизированные породы; 15 — границы геологические; 16 — разрывные нарушения; 17 — участки Хаак-Саирского месторождения и их контуры; 18 — номера образцов и их места отбора. На врезке — местоположение рудопроявления.

Руды Хаак-Саирского рудопоявления относятся к малосульфидному типу. Рудная минерализация в жилах вкрапленная, гнездово-вкрапленная и прожилково-вкрапленная с неравномерным распределением. Руды характеризуются высоким Ag/Au отношением 0.12—67. Содержание Au в руде положительно коррелирует с содержаниями Cu, Sb, As, Pb, Ag, Zn, В, Ва, Мо, W, Bi, Те, Cd и Mg, что подтверждается геохимическими и минералогическими данными [Кужугет, 2012; Кононенко и др., 2012]. Содержание Au в кварцевых жилах, по данным анализа бороздовых проб, варьирует от 0.5 до 67 г/т, Ag от 8 до 80 г/т [Васильев и др., 1979]. Прогнозные ресурсы Au Хаак-Саирского рудопоявления по категории P₂ оцениваются в 18 т до глубины 200 м при среднем содержании Au 2 г/т [Кононенко и др., 2011].

ЭТАПЫ И СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

При детальном минералогическом исследовании руд и метасоматитов Хаак-Саирского рудопоявления в качестве критериев для установления последовательности формирования руд авторами использованы различные онтогенетические признаки (состав, строение, зональность минералов, индукционные поверхности), включая пресечение жил и прожилков минеральных агрегатов, цементацию обломков ранних минералов поздними и т.д.

По данным предшественников [Васильев и др., 1979; Зайков и др., 1981] и собственным наблюдениям авторов установлено, что формирование Хаак-Саирского рудопоявления происходило в течение двух этапов (рудно-магматической системы), включающих 10 стадий.

Первый, более ранний высокотемпературный кварц-турмалиновый этап (I) делится на две стадии: турмалиновую (1) и турмалин-кварцевую (2). Второй лиственит-березитовый этап (II) с золотым оруденением включает предрудные (лиственит-березитовую (1), пирит-кварцевую (2)), продуктивные (золото-сульфосолюно-сульфидно-кварцевую (3), золото-ртутисто-кварцевую (4) и золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевую (5)) и пострудные (турмалин-кварцевую (6) карбонат-кварцевую (7) и хлорит-гематит-кварцевую (8)) стадии. Гипергенное преобразование руд отнесено к третьему (III) этапу (табл. 1).

На I этапе возникла кварц-турмалиновая формация с W-содержащим рутилом. Высокотемпературная кварц-турмалиновая формация (кварц-турмалиновые метасоматиты и кварц-турмалиновые жилы) генетически связана с малыми интрузиями гранодиорит- и тоналит-порфиоров, отнесенными к I фазе баянкольского комплекса (D₂₋₃) [Зайков и др., 1981]. Кварц-турмалиновые метасоматиты мощностью до 1—2 м развиваются по терригенным породам ордовика, чаще всего по кварц-полевошпатовым песчаникам, метасоматиты секутся кварц-турмалиновыми жилами и прожилками.

На II этапе сформировались предрудные среднетемпературные метасоматиты березит-лиственитовой формации и сопряженные с ними безрудные кварц-пиритовые жилы с шеелитом и поздние кварцево-жилные образования с различными типами золотой минерализации, т.е. наблюдается последовательное отложение различных типов золотой минерализации. Породы базитового и гипербазитового состава замещены лиственитами. Березиты и березитизированные породы развиваются за счет кварцевых песчаников и рассланцованных конгломератов нижней подсвиты адырташской свиты ордовика и встречаются очень ограниченно.

В конце II этапа образовались турмалин-кварцевые, карбонат-кварцевые и хлорит-гематит-кварцевые прожилки, секущие все более ранние минеральные парагенезисы и тяготеющие преимущественно к периферическим частям кварцевых жил. На III этапе происходило развитие гипергенных минералов по первичным минералам в кварцевых жилах и лиственитах. Мощность зоны гипергенеза оценивается не менее 50 м.

В рудах рудопоявления отмечается несколько минеральных ассоциаций, соответствующих этапам и их стадиям минералообразования. Здесь минералы перечислены по мере их распространенности (см. табл. 1).

Допродуктивные ассоциации: 1 — турмалинитов, кварц-турмалиновых метасоматитов (кварц, турмалин, хлорит, рутил, W-содержащий рутил, шеелит и пирит); 2 — кварц-турмалиновых жил (кварц, турмалин); 3 — лиственитов, лиственитизированных и березитизированных пород и сопряженных с ними кварцевых и анкерит-кварцевых прожилков (кварц, хлорит, слюды ряда мусковит—парагонит, доломит, анкерит, сидерит, кальцит, герсдорфит, пирит); 4 — кварц-пиритовых жил (кварц, пирит, гематит, шеелит).

Продуктивные ассоциации: 5 — золото-сульфосолюно-сульфидно-кварцевая (кварц, Fe-теннантит—тетраэдрит, Fe-тетраэдрит, галенит, Zn-тетраэдрит, Ag-тетраэдрит, Fe-теннантит, халькопирит, аргентотетраэдрит, аргентотеннантит—тетраэдрит, борнит, золото, электрум, Cu-содержащее золото, арсенопирит, бурнонит, сфалерит, гессит, акантит, ялпаит); 6 — золото-ртутисто-кварцевая (кварц, золото, ртутистый электрум, ртутистый кюстелит, Hg-содержащее золото, ртутистое золото, Au-содержащее

В коре выветривания развиты халькозин, ковеллин, малахит, азурит, гематит, гетит, гидрогётит, штроемeyerит, англезит, церуссит, линарит, ромеит, гидроромеит, трипугиит, триппкеит, конихальцит, брошантит, скородит, акантит, серебро, золото, атакмаит, иодиды (иодаргирит [AgI], минералы ряда маршит—майерсит [(Cu,Ag)I—CuI], мошелит [Hg₂I₂]), I-содержащие минералы ряда хлораргирит—бромаргирит [AgCl—AgBr] и т.д. Последние минералы образовались при деструкции блеклых руд с богатым содержанием Ag — Ag-тетраэдрита, аргентотеннантита, аргентотеннантит—тетраэдрита.

В коре выветривания хааксаирское золото развито в гипергенных минералах Cu, Fe, Sb, As и Pb, иодаргирите, нередко образуя высокопробные каймы на гипогенных золотилах. Гипергенное золото здесь зачастую химически однородно и весьма высокопробно (992—1000 ‰) по всему объему зерен, без каких-либо каемок и оторочек. Примесь Ag в таком золоте варьирует от 0.00 до 0.94 мас. %.

Состав галенита, халькопирита, борнита и пирита из руд не отклоняется от стехиометрии. Блеклые руды представлены минералами группы теннантит—тетраэдрита, и их железистыми, серебристыми разностями. В Fe-тетраэдрите обнаружено Ag до 5 мас. %, в Ag-тетраэдрите — до 22.76 мас. %, аргентотеннантите — до 40.86 мас. %, аргентотеннантит—тетраэдрите — до 50.05 мас. %. Для Fe-тетраэдрита характерна примесь Te до 0.57 мас. %, Bi — 1.55 мас. %. Серебристые разности блеклых руд широко развиты в наименее эродированном участке V. По химическому составу турмалины рудопоявления можно отнести к промежуточным членам ряда дравит—магнезиофойтит, преобладает магнезиофойтитовый компонент (железистость 0.29—1.11 ф.ед., хромистость 0.00—0.10 ф.ед.).

ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

Цвет хааксаирского золота варьирует от золотисто-желтого до серебристого с желтоватым оттенком. Форма выделений разнообразна: преобладают комковато-ветвистые, угловатые и ячеистые золотины ~ 47 %; каплевидные, проволоковидные, уплощенные, лепешковидные, губчатые и амебообразные ~ 35 %; дендриты (объемные и плоские) ~ 10 %; кристаллы (октаэдры, кубооктаэдры и их комбинации и сростки) — редки (~ 7 %) (рис. 2).

В аншлифах золото ксеноморфно по отношению к другим минералам и характеризуется субизометричными, удлинёнными, почковидными сечениями, а также образует жилки и зерна с ровными гранями вследствие отложения в межкристаллических пространствах кварца, карбонатов и блеклых руд. В листовенитах золото представлено преимущественно комковато-ячеистыми и ветвистыми, уплощенными, губчатыми частицами, дендритами и дендритоидами. Поверхность золотинов преимущественно шагреневая и мелкоямчатая, ямчато-бугорчатая, иногда ровная.

Гранулометрический состав золота из кварцевых жил варьирует незначительно, количественно преобладают фракции 0.25—0.1 (58.8 %) и < 0.1 мм (33.7 %), и в меньшей степени 0.5—0.25 мм (7.2 %). В весовом отношении преобладают зерна размером 0.25—0.1 мм (71.8 %) и в меньшей степени < 0.1 мм (24.0 %).

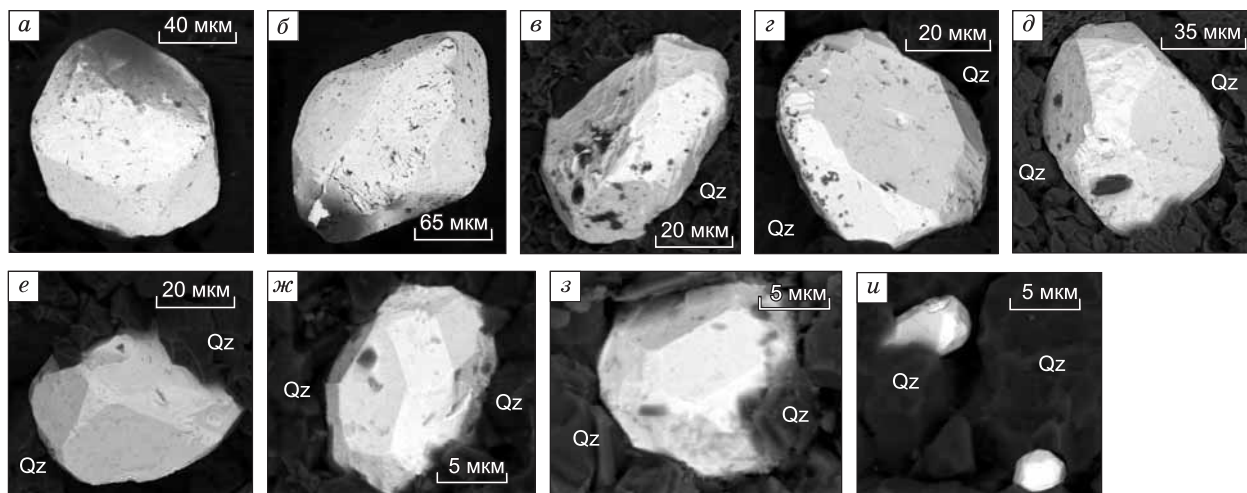


Рис. 2. Кристаллы золота Хаак-Саирского рудопоявления.

(a, d—e) — изометричные кристаллы с развитием комбинации форм куба и октаэдра; (б) — изометричный кристалл с преобладающей октаэдрической формой; (в—г) — уплощенные кристаллы золота гексагонального облика; (жс—з) — кристаллы золота пентагон-додекаэдрического облика; (и) — часть призматического кристалла (зерно сверху слева), изометричный кристалл с развитием комбинации форм куба и октаэдра (зерно внизу справа). Снимки (a—ж, и) — обр. СТ-7-11 из кварцевой жилы № 7 (участок I); снимок (з) — обр. СТ-1 из кварцевой жилы № 1 (участок II). Qz — кварц.

На основании минералогических исследований выделены три стадии образования минералов Au и Ag, соответствующих продуктивным ассоциациям руд Хаак-Саирского рудопроявления, в том числе — золото-сульфосоляно-сульфидно-кварцевая (с ней связано ~ 65 % Au рудопроявления), золото-рутисто-кварцевая (~ 30 % Au) и золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевая (~ 5 % Au).

Золоторудная минерализация золото-сульфосоляно-сульфидно-кварцевой стадии. Самородное золото, Cu-содержащее золото и электрум в кварцевых жилах встречаются в виде: 1) тонких вкраплений в кварце размером ~ 0.1 мм (рис. 3, а, б); 2) сростков с халькопиритом, Fe-теннантитом, Fe-теннантит-тетраэдритом, Fe-тетраэдритом и Ag-тетраэдритом; 3) вкраплений в Fe-тетраэдрите и Fe-теннантит-тетраэдрите (см. рис. 3, в—г).

По содержанию Ag и Cu выделяется несколько групп минералов Au:

- 1) весьма высокопробное золото с содержанием Ag до 5 мас. % (Au 94.64—95.64; Ag 4.27—4.97);
- 2) высокопробное золото с содержанием Ag до 10 мас. % (Au 89.20—94.74; Ag 4.63—9.64; Cu 0.00—0.37);
- 3) серебристое (среднепробное и низкопробное) золото с содержанием Ag до 25 мас. % (Au 74.64—89.82; Ag 9.81—24.83; Cu 0.00—0.65);
- 4) Cu-содержащее золото (Au 75.55—92.91; Ag 6.45—22.51; Cu 1.05—3.94);
- 5) электрум (Au 48.60—68.67; Ag 30.97—51.38; Cu 0.00—0.56).

Первая группа самородного золота ассоциирует только с арсенопиритом и Fe-теннантитом, которые по отношению к другим рудным минералам (халькопириту, серебристым блеклым рудам и гесситу) являются более ранними. В рудах из рудных минералов преобладает Fe-тетраэдрит, Fe-теннантит-тетраэдрит.

Для золотин характерна зональность. Содержание Au от центра зерна к периферии, как правило, закономерно уменьшается (от 92.99 до 56.87 мас. %), а содержание Ag закономерно увеличивается (от 6.44 до 42.36 мас. %) (табл. 2, ан. 5—7). Содержание Hg ниже пределов обнаружения; Cu — в целом не превышает 1 мас. %, но в единичных золотилах в кварце отмечаются каемки с примесью Cu до 2.44—3.93 мас. %.

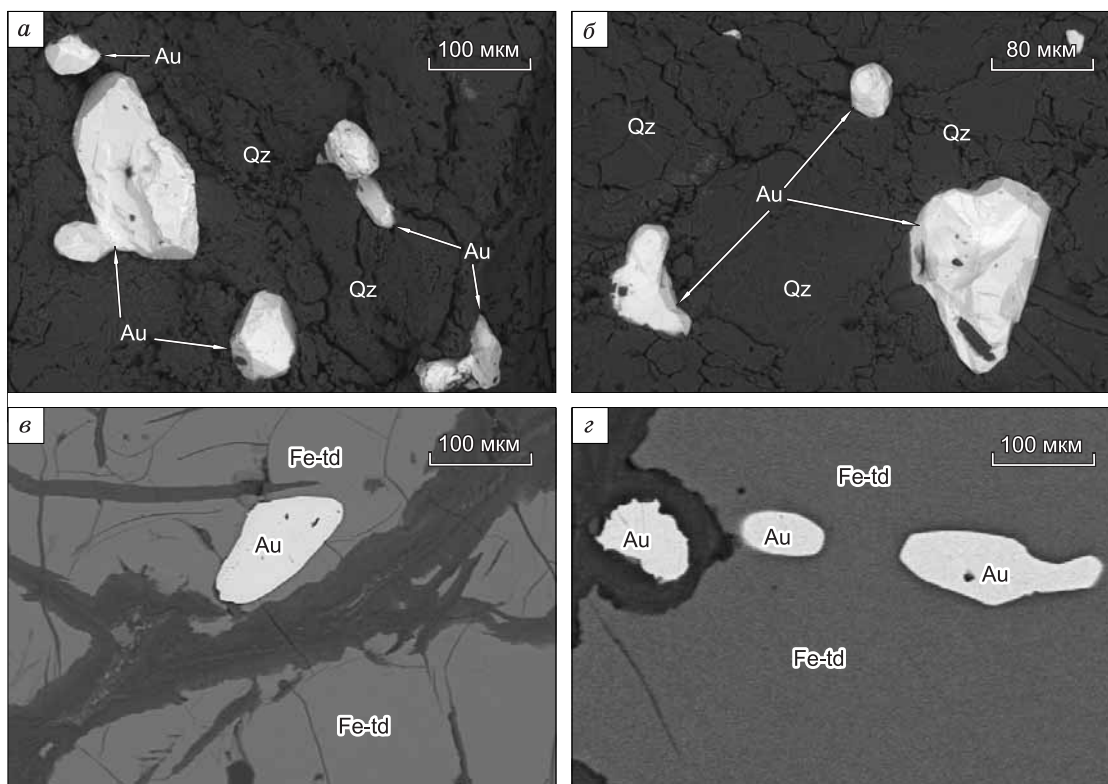


Рис. 3. Формы выделения золота (Au) первой продуктивной стадии в кварце (Qz) и Fe-тетраэдрите (Fe-td).

а, б — обр. СТ-7б, жила № 7, участок I; в, г — обр. СТ-6, жила № 6, участок I.

Таблица 2. Химический состав зональных золотин золото-сульфосоляно-сульфидно-кварцевой стадии (мас. %)

Образец	№ анализа	Зона	Au	Ag	Cu	Сумма	Пробность
Участок I, жила № 7							
СТ-7	1	Центр	97.48	2.28	—	99.76	977
	2	Край	97.10	2.38	—	99.48	976
	3	Центр	93.15	6.45	0.38	99.98	932
	4	Край	80.77	18.74	0.32	99.83	809
СТ-7-1	5	Центр	92.99	6.44	—	99.43	935
	6	»	85.64	13.57	0.58	99.79	858
	7	Край	56.87	42.36	0.30	99.53	571
СТ-7б	8	Центр	94.21	5.71	0.01	99.93	943
	9	»	93.85	5.50	—	99.35	944
	10	»	93.10	6.00	0.26	99.36	937
	11	Край	82.25	15.17	2.44	99.86	824
СТ-7	12	Центр	91.48	7.47	0.77	99.72	917
	13	Край	82.51	15.77	1.61	99.89	826
Участок I, жила № 6							
СТ-6	14	Центр	92.58	5.90	—	98.47	940
	15	»	87.80	11.88	0.77	100.4	875
	16	Край	85.30	13.25	1.38	99.93	854
	17	Центр	92.91	5.50	1.30	99.76	931
	18	Край	87.59	10.43	2.51	100.53	871
Участок II, ливневит							
СТ-15	19	Центр	94.04	5.61	—	99.70	943
	20	»	88.56	11.27	—	99.83	887
	21	Край	84.36	15.40	—	99.76	846
Участок V, жила № 1							
СТ-53а	22	Центр	88.57	10.36	0.59	99.90	887
	23	Край	85.45	12.19	2.16	99.80	856

Примечание. Анализы выполнены на электронных микроскопах: 1—13, 20—23 — РЭММА 202М (аналитик В.А. Котляров, ИМин УрО РАН) и 14—19 — MIRA LM (аналитик Н.С. Карманов, ИГМ СО РАН). Содержание Hg — ниже предела обнаружения.

Теллуридная минерализация этой стадии представлена гесситом. Редкие выделения гессита до 5 мкм встречаются в Fe-тетраэдрите (рис. 4). Гессит содержит (мас. %): Ag 61.95—63.40; Te 36.54—37.90, и его состав отвечает формуле (здесь и далее из учета 2 атомов) — $Ag_{1.98-2.02}Te_{0.98-1.02}$.

Золоторудная минерализация золото-ртутисто-кварцевой стадии. Золото, ртутистое золото, ртутистый электрум, ртутистый кюстелит и Au-содержащее ртутистое серебро встречаются в виде: 1) тонких вкраплений в кварце размером ~ 0.1 мм, а также комковатых, комковато-ветвистых, губчатых и удлиненных выделений неправильной формы; 2) прожилков в кристаллах блеклых руд; 3) наростов на

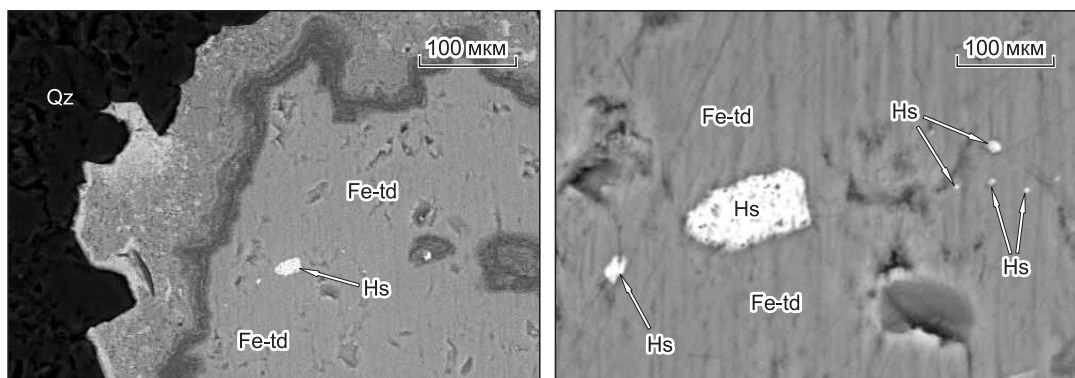


Рис. 4. Формы выделения гессита первой продуктивной стадии в Fe-тетраэдрите.

Обр. СТ-2, жила № 2, участок II. Hs — гессит, Fe-td—Fe-тетраэдрит.

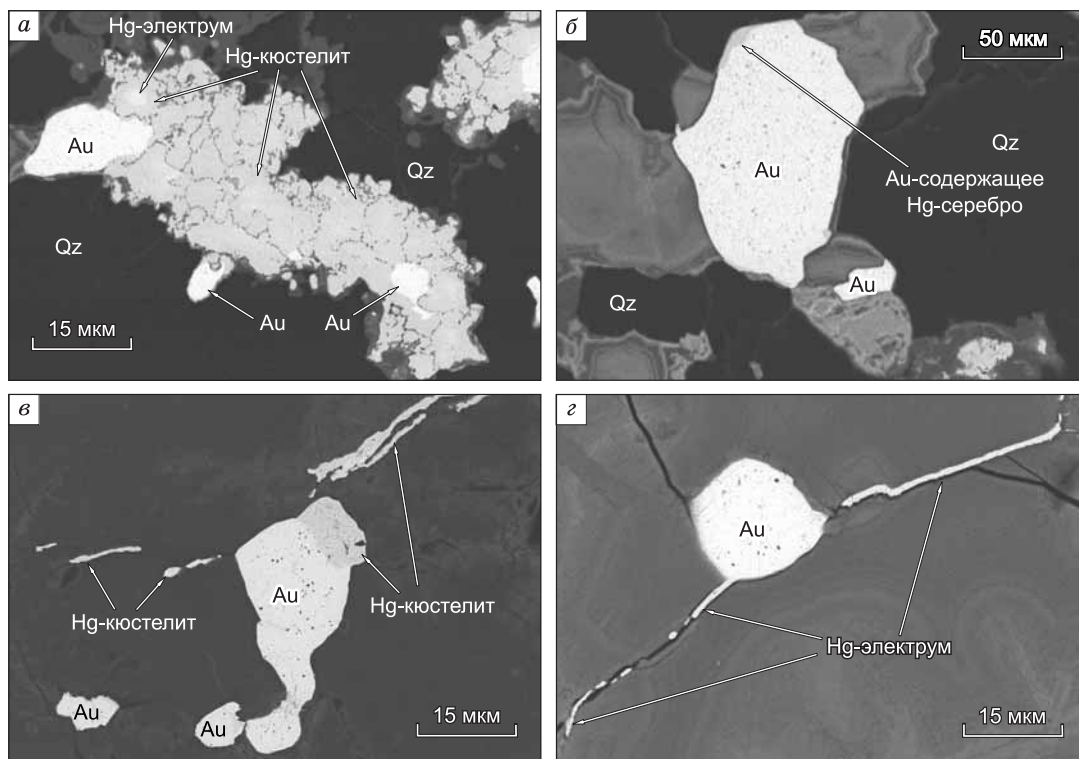


Рис. 5. Срастания минералов Au и Ag первой и второй продуктивных стадий.

a, б — обр. СТ-7, жила № 7, участок I; *в, г* — обр. СТ-53-1, жила № 1, участок V.

высокопробном золоте первой продуктивной стадии (рис. 5). Отдельные агрегаты ртутистого золота, ртутистого электрума и ртутистого кюстелита образуют вкрапленность в кварце (рис. 6).

По содержанию Ag и Hg выделяется несколько групп минералов Au и Ag:

1) высокопробное золото с содержанием Ag до 10 мас. % (Au 90.24—94.76; Ag 3.39—9.70; Hg 0.00—0.42; Cu 0.00—0.78);

2) Hg-содержащее золото с содержанием Hg до 1.78 мас. % (Au 76.98—89.26; Ag 9.35—21.19; Hg 0.05—1.78; Cu 0.00—0.59);

3) ртутистое золото с содержанием Hg до 11 мас. % (Au 69.91—83.08; Ag 8.64—24.13; Hg 5.36—10.60; Cu 0.00—0.85);

4) ртутистый электрум с содержанием Hg до 12 мас. % (Au 31.24—66.93; Ag 25.22—64.73; Hg 3.61—11.83; Cu 0.00—0.81);

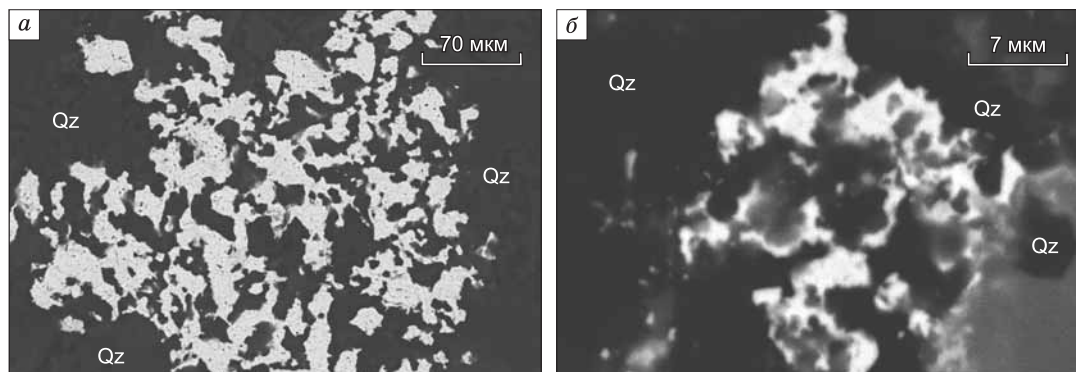


Рис. 6. Агрегаты ртутистого золота (а) и ртутистого электрума (б) второй продуктивной стадии в кварце.

a — обр. СТ-3 кварцевая жила № 3, участок II; *б* — обр. СТ-53, кварцевая жила № 1, участок V.

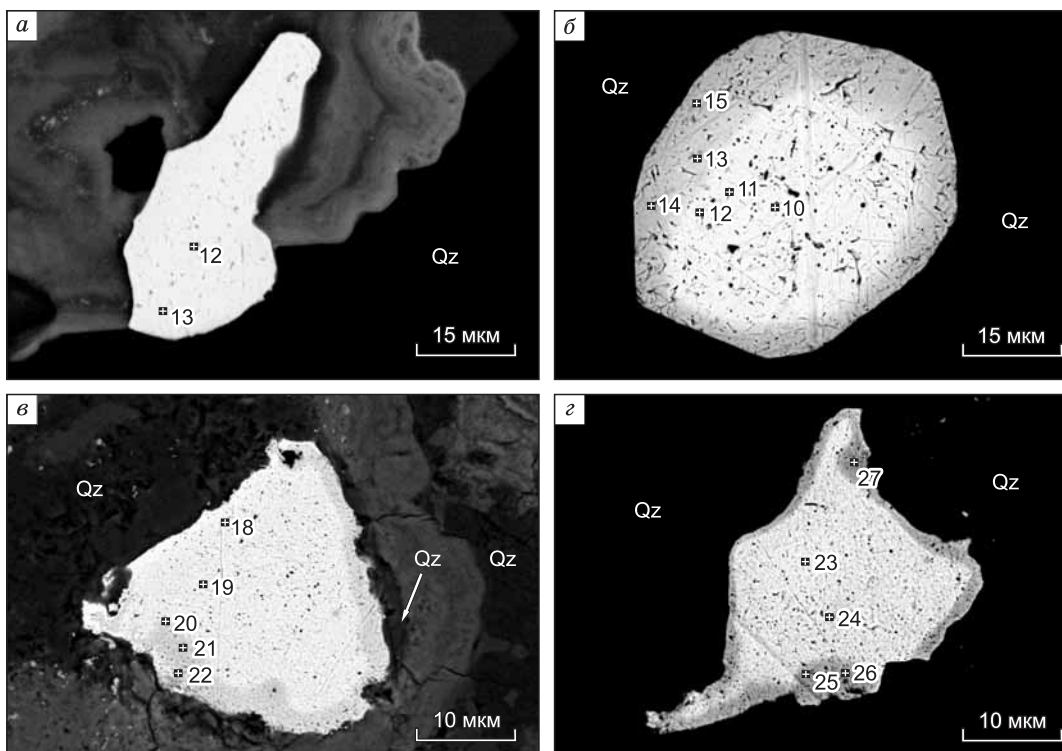


Рис. 7. Зональные минералы Au и Ag первой (а) и второй (б—г) продуктивных стадий.

а — зональное золото в кварце (Qz), гипергенные минералы Cu — темно-серые (обр. СТ-7, жила № 7, участок I), составы точек 12, 13 показаны в табл. 2, ан. 12, 13; б — кристалл золота пентагон-додекаэдрического облика в кварце (обр. СТ-2, жила № 2, участок II); в — зональное золото в кварце, гипергенные минералы Cu — темно-серые (обр. СТ-3, жила № 3, участок II); г — зональное золото в кварце (обр. СТ-3, жила № 3, участок II).

5) ртутистый кюстелит с содержанием Hg до 17.51 мас. % (Ag 56.26—72.76; Au 11.81—29.15; Hg 5.31—17.51; Cu 0.00—0.58);

6) Au-содержащее ртутистое серебро с содержанием Hg до 22.15 мас. % (Ag 73.12—75.91; Hg 18.05—22.15; Au 1.91—8.32; Cu 0.00—0.28).

Для золото-ртутисто-кварцевой стадии тоже характерны зональные золотины разной морфологии: содержание Au уменьшается от центра зерен к периферии (от 90.28 до 24.86), при увеличении содержания Ag (от 9.70 до 56.26) и Hg (от 0.01 до 17.51) (рис. 7, в, г; табл. 3, ан. 18—22, 23—27). Содержания Hg и Ag обнаруживают прямую корреляционную связь. Также наблюдаются пентагон-додекаэдрические кристаллы, центр которых сложен высокопробным золотом с отчетливым переходом через низкопробное золото и ртутистый электрум к ртутистому кюстелиту (см. рис. 7, б; табл. 3, ан. 10—15). В единичных разностях ртутистого кюстелита наблюдается уменьшение содержаний Ag и Hg при росте содержания Au (мас. %): центр зерна — 70.83 Ag, 20.73 Au, 8.38 Hg, край зерна — 69.48 Ag, 25.08 Au, 5.31 Hg.

Золоторудная минерализация золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии.

Золото, Hg-содержащее золото, ртутистое золото, ртутистый электрум этой стадии встречаются в виде тонких вкраплений неправильной формы (до 0.1 мм) в кварце, гипергенных минералах Cu в ассоциации с борнитом, селенидами (Au-Ag, Ag, Hg, Pb) и теллуридами (Hg, Ag). Для этой стадии тоже характерны зональные минералы системы Au—Ag—Hg, содержания Hg и Ag в которых обнаруживают прямую корреляцию. По содержанию Ag и Hg выделяются несколько групп минералов ряда Au—Ag—Hg:

1) высокопробное золото (Au 90.20—90.56, Ag 9.68—9.75);

2) ртутистое золото с содержанием Hg до 2.03 мас. % (Au 78.21—87.16, Ag 11.94—19.15, Hg 0.51—2.03);

3) ртутистый электрум с содержанием Hg до 7.19 мас. % (Au 42.56—57.81, Ag 36.11—50.17, Hg 5.19—7.14).

Теллуриды, селениды и селенистые минералы редки, но являются характерными минералами золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии. Данные минералы встречаются в виде непра-

Таблица 3. Химический состав зональных минералов системы Au—Ag—Hg золото-ртутисто-кварцевой стадии (мас. %)

Образец	№ анализа	Зона	Au	Ag	Cu	Hg	Σ	Пробность
Участок I, жила № 7								
СТ-7-2	1	Центр	90.99	7.66	0.78	0.42	99.85	911
	2	»	37.88	55.17	0.51	6.20	99.76	380
	3	Край	21.07	64.91	0.80	13.20	99.98	211
	4	Центр	31.36	59.99	0.55	8.08	99.98	314
	5	Край	12.65	72.76	0.37	14.20	99.98	127
Участок II, жила № 1								
СТ-1b	6	Центр	73.13	12.32	0.85	10.60	96.90	755
	7	»	1.91	75.92	—	22.15	99.98	19
Участок V, жила № 1								
СТ-53-1	8	Центр	25.08	69.48	—	5.31	99.87	251
	9	Край	20.73	70.83	—	8.30	99.94	207
Участок II, жила № 2								
СТ-2	10	Центр	90.28	9.70	—	0.01	99.98	903
	11	»	89.25	10.72	—	0.05	100.02	892
	12	»	87.80	11.07	—	1.23	100.1	877
	13	»	59.93	33.53	—	6.51	99.97	599
	14	»	25.73	56.88	—	15.81	99.33	259
	15	Край	24.86	56.26	0.51	17.51	99.18	251
Участок II, лиственит								
СТ-15	16	Центр	56.81	32.29	—	10.61	99.71	570
	17	Край	51.04	37.08	—	11.83	99.95	511
Участок II, жила № 3								
СТ-3	18	Центр	85.07	14.57	—	0.25	99.89	852
	19	»	77.16	20.93	—	1.90	99.99	772
	20	»	57.63	37.09	—	5.27	99.99	576
	21	»	51.40	42.35	—	6.21	99.96	514
	22	Край	25.42	64.25	—	10.28	99.95	254
	23	Центр	85.92	13.78	—	0.05	99.75	861
	24	»	81.37	17.06	—	0.91	99.34	819
	25	»	38.85	53.77	—	6.59	99.21	392
	26	»	35.35	55.27	0.78	8.30	99.70	355
	27	Край	32.00	57.23	0.81	10.05	100.09	320

Примечание. Анализы выполнены на электронных микроскопах: 1—9, 16—17, 23—27 — РЭММА 202М (аналитик В.А. Котляров, ИМин УрО РАН) и 10—15, 18—22 — MIRA LM (аналитик Н.С. Карманов, ИГМ СО РАН).

вильных зерен и агрегатов размером до 100 мкм в кварце и минералах Cu в ассоциации с ртутистыми разновидностями Au и Ag. Науманнит и фишессерит встречаются иногда в виде тонких сростаний (рис. 8, а, б). Для селенидов характерна примесь S до 5.24 мас. %, Te — 0.95 мас. %, Hg — 3.69 мас. % (табл. 4). Состав фишессерита отвечает формуле (из учета 6 атомов) — $Au_{0.98-1.01}Ag_{2.99-3.00}Se_{1.99-2.00}$, Hg-содержащего — $(Au_{0.98}Hg_{0.03})_{1.01}Ag_{3.00}Se_{1.99}$. Состав науманнита отвечает формуле (из учета 2 атомов) — $Ag_{1.99-2.01}Se_{0.99-1.01}$, Te-содержащего — $Ag_{1.99-2.01}(Se_{0.95-0.98}Te_{0.02}S_{0.00-0.04})_{0.99-1.01}$, S-содержащего — $Ag_{1.98-2.01}(Se_{0.79-0.91}S_{0.08-0.23})_{0.99-1.02}$, Hg-содержащего — $(Ag_{1.93-1.94}Hg_{0.06-0.07})_{1.00}(Se_{0.97-0.98}S_{0.02-0.03})_{1.00}$.

Минералы ряда галенит—клаусталита образует неограниченные твердые растворы. Состав Секиновари отвечает формуле (из учета 2 атомов) — $Hg_{0.99-1.00}(S_{0.51-0.82}Se_{0.18-0.49})_{1.00-1.01}$, Се-имтерита (из учета 5 атомов) — $(Ag_{2.06}Cu_{0.03})_{2.09}Hg_{0.99}(S_{1.41}Se_{0.45})_{1.92}$. Для теллуридов характерна примесь S до 0.42 мас. %. Состав гессита отвечает формуле — $Ag_{2.00-2.02}Te_{0.98-1.00}$. Состав колорадоита отвечает формуле (из учета 2 атомов) — $Hg_{1.02}Te_{0.98}$, Cu-содержащего — $(Hg_{1.01}Cu_{0.03})_{1.03}Te_{0.97}$ (см. табл. 4).

Состав самородного золота лиственитов идентичен таковому для золота из кварцевых жил, что свидетельствует об их одновременном образовании. Данный факт подтверждается также идентичными минеральными ассоциациями. В лиственитах участка II отмечаются минеральные ассоциации первых двух продуктивных стадий. Наряду с высокопробным и серебристым золотом, встречаются ртутистый электрум и ртутистый кюстелит [Зайков и др., 2009]. Минералы образуют тонкие (10—20 мкм) прожил-

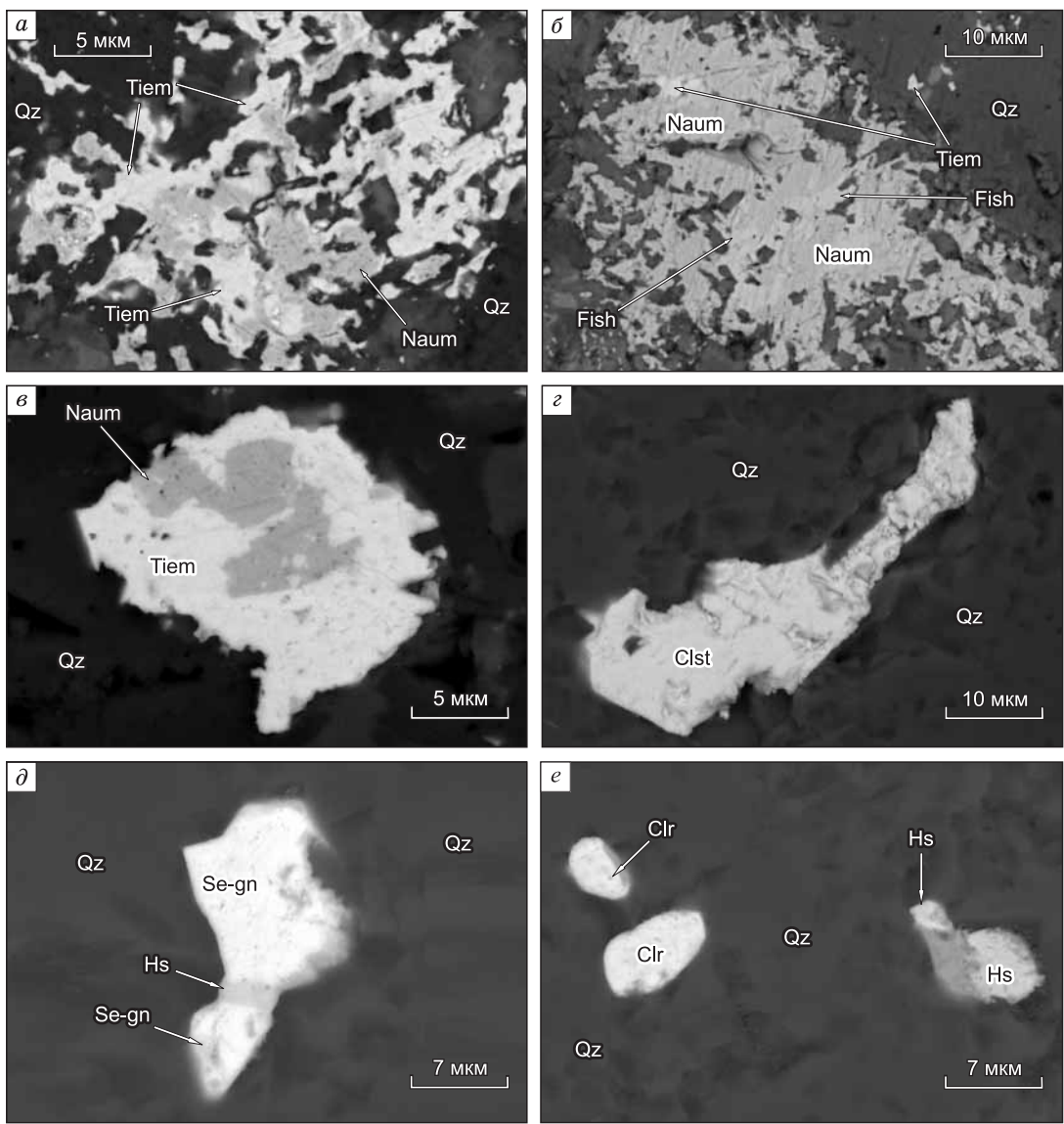


Рис. 8. Формы выделения тиманнита, науманнита, фишессерита, клаусталита, Se-галенита, гессита и колорадита в кварце.

Обр. СТ-3-11, кварцевая жила № 3, участок II. Tiem — тиманнит, Naum — науманнит, Fish — фишессерит, Clst — клаусталит, Se-gn — Se-галенит, Hs — гессит, Clr — колорадит.

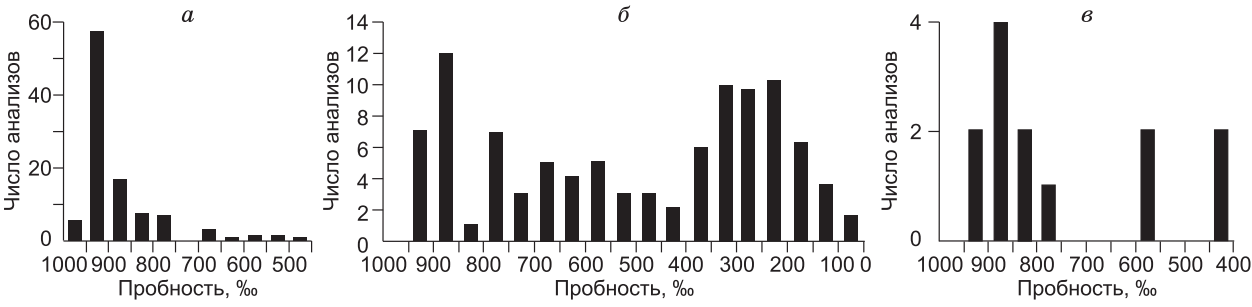


Рис. 9. Частота встречаемости пробностей самородного золота первой (а), второй (б) и третьей (в) продуктивных стадий Хаак-Саирского рудопроявления.

Таблица 4.

Химический состав теллуридов, селенидов и Se-содержащих минералов золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии (мас. %)

Образец	№ анализа	Ag	Au	Hg	Cu	Te	Se	S	Сумма
СТ-3-11	1	47.68	29.22	—	—	—	23.08	—	99.98
	2	47.25	29.09	—	—	—	23.15	—	99.48
СТ-1-11	3	47.46	28.13	0.90	—	—	22.96	—	99.76
СТ-3-11	4	73.21	—	—	—	—	26.99	—	100.2
	5	73.20	—	—	—	—	26.34	—	99.54
	6	72.82	—	—	—	0.95	25.91	—	99.68
	7	72.95	—	—	—	0.92	25.73	—	99.79
	8	72.98	—	—	—	0.92	25.46	0.43	99.60
	9	72.64	—	—	—	0.91	25.36	0.39	99.30
СТ-1-11	10	72.55	—	—	—	—	26.86	—	99.41
СТ-3-11	11	68.55	—	3.69	2.76	—	24.69	—	99.69
	12	69.36	—	3.49	2.62	—	25.48	—	100.95
СТ-3-11	13	69.92	—	3.76	—	—	25.86	0.23	99.77
	14	69.36	—	4.49	—	—	25.48	0.31	99.64
	15	—	—	71.98	—	—	27.57	—	99.55
	16	—	—	70.48	—	—	28.79	—	99.27
СТ-2	17	—	—	71.05	—	—	28.56	—	99.61
	18	1.73	—	69.80	—	—	27.97	—	99.50
СТ-3	19	75.20	—	—	—	—	21.78	2.62	99.60
	20	74.48	—	—	—	—	23.60	0.91	99.57
СТ-3d	21	—	—	77.72	—	—	15.15	6.47	99.34
	22	—	—	82.77	—	—	10.97	5.86	99.63
СТ-3d	23	—	—	61.32	—	37.79	—	—	99.11
	24	—	—	60.81	0.70	37.49	—	—	99.00
СТ-3	25	62.59	—	—	—	37.25	—	—	99.84
	26	62.48	—	—	—	36.56	—	—	99.54
	27	62.33	—	—	—	37.07	—	—	99.35
	28	63.09	—	—	—	36.25	—	—	99.34

Примечание. Анализы выполнены на электронном микроскопе MIRA LM (аналитик Н.С. Карманов, ИГМ СО РАН). 1, 2 — состав фишессерита, 3 — Hg-содержащего фишессерита, 4, 5, 10 — науманнита, 6—9 — Te-содержащего науманнита, 11, 12 — Hg, Cu-содержащего науманнита, 13, 14 — Hg-содержащего науманнита, 15—17 — тиманнита, 18 — Ag-содержащего тиманнита, 19, 20 — S-содержащего науманнита, 21, 22 — S-киновари, 23, 24 — колорадоита, 25—28 — гессита.

ки и ксеноморфные агрегаты размером до 300 мкм в длину в интерстициях между нерудными минералами. Весьма высокопробное золото характеризуется примесью Ag до 0.57 мас. %, высокопробное и среднепробное золото содержит Ag от 5.61 до 15.40 мас. % и Cu от 0.03 до 0.65 мас. % (менее, чем в половине анализов). Ртутистое золото содержит Ag от 15.91 до 24.13 мас. % и Hg от 2.46 до 6.49 мас. % и Cu до 0.31 мас. %. Ртутистый электрум характеризуется содержанием Ag от 25.22 до 37.08 мас. % и Hg от 7.41 до 11.83 мас. %, ртутистый кюстелит был обнаружен в одном анализе и содержит (мас. %) 22.23 Au, 71.45 Ag и 5.92 Hg.

Минералого-геохимическими исследованиями установлено, что в рудах Хаак-Саирского рудопоявления количественно преобладает высоко- и среднепробное золото и ртутистые разновидности электрума и кюстелита (рис. 9). Средняя пробность самородного золота Хаак-Саирского рудопоявления для 160 золотин (249 анализов) составляет 690 ‰ при вариациях от 19 до 957 ‰. При этом средняя пробность золотин первой продуктивной стадии — 874 ‰ при вариациях от 486 до 978 ‰, второй продуктивной стадии — 467 ‰ (19—911 ‰), третьей продуктивной стадии — 718 ‰ (426—912 ‰) (рис. 10).

В самородном золоте рудопоявления наблюдается обратная корреляция содержаний Hg с пробностью золота. Тренд самородного золота золото-сульфосольно-сульфидно-кварцевой стадии (рис. 11, а): весьма высокопробное золото → высокопробное золото → серебристое (среднепробное и низкопробное) золото → электрум + Ag-содержащие и серебристые блеклые руды (Ag до 50 мас. %) ± акантит ± гессит; золото-ртутисто-кварцевой стадии (см. рис. 11, б, 1—3): высокопробное золото → ртутистое золото → ртутистый электрум → ртутистый кюстелит → Au-содержащее ртутистое серебро; золо-

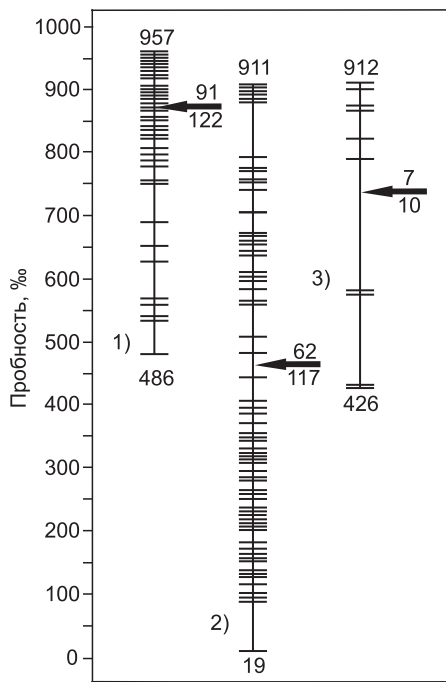


Рис. 10. Вариации пробностей минералов Au и Ag первой (1), второй (2) и третьей (3) продуктивных стадий Хаак-Сайрсского рудопоявления.

Стрелкой показана средняя пробность золота, в числителе — количество проанализированных золотин, в знаменателе — количество анализов.

то-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии (см. рис. 11, б, 4) — высокопробное золото → ртутистое золото → ртутистый электрум + науманнит + Te-содержащий науманнит + фишессерит + тиманнит + гессит + колорадоит + Ag-содержащие минералы ряда галенит—клаусталит (Ag до 6 мас. %) ± Se-киноварь ± Se-имитерит.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ

Температуры образования золото-кварцевых жил рудопоявления были оценены по температурам гомогенизации газово-жидких включений [Melekestseva et al., 2011], а также с помощью геотермометров и по минеральным парагенезисам.

Кристаллизация минеральных ассоциаций золото-сульфо-сульфо-сульфидно-кварцевой стадии происходила из растворов состава NaCl—KCl—H₂O (± NaHCO₃, Na₂SO₄) с соленостью 3.2—14.0 мас. % экв. NaCl. Температура гомогенизации флюидных включений в кварце составляет 250—180 °C [Melekestseva et al., 2011]. Давление флюида (P) по температурам частичной (26.5 и 28.7 °C) и полной (123.9 и 139.1 °C) гомогенизации включений жидкой углекислоты оценивается примерно в 0.5 кбар. В этом случае поправка к температурам гомогенизации составляет 40 °C, т.е. минимальные температуры рудообразования соответствовали ~ 290—220 °C. Самородное золото этой стадии отлагалось при высокой фугитивности сульфидной серы $\lg f(S_2) = 10^{-16}—10^{-10}$ (при T = 200 °C), здесь и далее оценка активности дана по диаграммам [Barton, Skinner, 1979; Afifi et al., 1988; Ечмаева, 2009]. Рудоотложение стадии шло с накоплением Ag, о чем свидетельствуют эволюция состава самородного золота (золото → электрум) и блеклых руд (Fe-теннантит → аргентотеннантит-тетраэдрит → аргентотетраэдрит) и появление акантита. Экспериментально установлено [Пальянова и др., 2012], что осаждение Ag₂S происходит при отношении Ag:

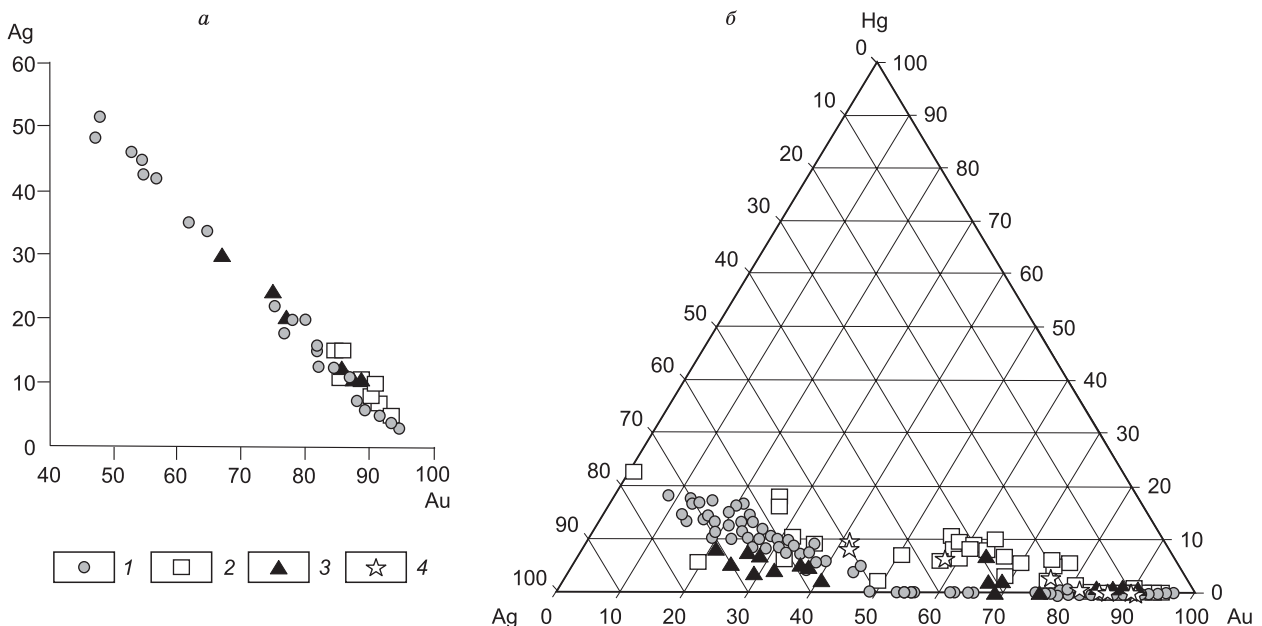


Рис. 11. Состав золота Хаак-Сайрсского рудопоявления.

Тренд первой (а), тренды второй (б, 1—3) и третьей (б, 4) продуктивных стадий. 1 — участок I, 2 — участок II, 3 — участок V.

$Au > 10$. Соответственно, рудоносные растворы в конце данной стадии характеризовались высоким Ag/Au отношением.

Кристаллизация минеральных ассоциаций золото-ртутисто-кварцевой стадии происходила при более низких температурах из растворов $NaCl-H_2O$ и $NaCl-KCl-H_2O$ с соленостью 4—9 мас. % экв. $NaCl$. Температура гомогенизации флюидных включений в кварце 180—120 °С. С учетом температурной поправки в 40 °С на $P \sim 0.5$ кбар, минимальные температуры минералообразования в эту стадию составляли 220—160 °С, а самородное золото отлагалось при очень низкой $f(S_2)$, $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$. Этим объясняется отсутствие селенидов, теллуридов, сульфидов (киновари, блеклых руд, халькопирита) и фиксации Ag и Hg металлической форме в виде минералов системы $Au-Ag-Hg$ (ртутистого золота, ртутистого электрума, ртутистого кюстелита и Au -содержащего ртутистого серебра). На заключительной стадии минералообразования данные рудоносные растворы были обогащены Hg , об этом свидетельствует эволюция самородного золота от высокопробного золота до Au -содержащего ртутистого серебра с содержаниями Hg до 22 мас. %.

Формирование минеральных ассоциаций золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии происходило при пониженной $f(S_2)$ и повышенной $f(Se_2)$ 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 селенидов ($HgSe$, Ag_2Se и Ag_3AuSe_2), теллуридов ($HgTe$ и Ag_2Te) и реже — в виде Se -киновари и Se -имитерита. Минералогические особенности стадии предполагают $lg f(S_2) = 10^{-25}—10^{-9}$, $lg f(Te_2) = 10^{-21}—10^{-9}$ и $lg f(Se_2) = 10^{-19}—10^{-17}$ (при $T = 200$ °С).

Наличие ртутистого золота, ртутистого электрума во второй и третьей продуктивных стадиях позволяет предположить близкие температуры (220—160 °С) их формирования. В пользу того, что температуры могли составлять 220—160 °С и ниже, указывает также интервал стабильности (β) Ag_2Se (науманнита). По данным [Ечмаева, 2009], интервал стабильности (β) Ag_2Se составляет 133—226 °С, а по данным [Осадчий, 2011], 133—178 °С. Возможно, именно этот температурный интервал (226—133 °С) соответствует третьей продуктивной стадии.

Итак, золото-кварцевые жилы Хаак-Саирского рудопроявления формировались в гипабиссальной фации глубинности при $P \sim 0.5$ кбар (~ 1.5 км), на фоне снижения температур (золото-сульфосольно-сульфидно-кварцевая стадия — 290—220 °С, золото-ртутисто-кварцевая стадия — 220—160 °С и золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевая стадия — 226—133 °С), при вариациях $f(O_2)$, $f(S_2)$, $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение минералогических особенностей Хаак-Саирского рудопроявления выявило специфические продуктивные минеральные ассоциации с аргентотеннантит-тетраэдритом, аргентотетраэдритом, акантитом, Cu -содержащим золотом, ртутистым золотом, ртутистым электрумом, ртутистым кюстелитом, Au -содержащим ртутистым серебром, клаусталитом, фишессеритом, науманнитом, тиманнитом, Te -содержащим науманнитом, гесситом, Te -содержащим тетраэдритом, колорадоитом и т.д. Для большинства кристаллов блеклых руд Хаак-Саирского рудопроявления характерна скрытая плавная зональность, лишь незначительная их часть имеет сложную осцилляционную зональность, для которых характерна примесь Te до 0.57 мас. %, Bi до 1.55 мас. %, Ag до 50 мас. %. Минералы группы блеклых руд с осцилляционной зональностью характерны для вулканогенных и вулканогенно-плутоногенных месторождений золота [Спиридонов, 1987; Плотинская и др., 2005; Спиридонов и др., 2009; Филимонов, 2009]. Содержание Bi в блеклых рудах плутоногенных месторождений золота составляет не менее 0.4 мас. %, Te — < 0.12 мас. % [Филимонов, 2009].

В рудах Улуг-Саирского рудопроявления АМЗУ тоже развиты специфические продуктивные минеральные ассоциации с электрумом, петцитом, гесситом, Pb -содержащим гесситом, Pb -, Se -содержащим гесситом, фишессеритом, Te , Se , Hg -содержащим теннатитом, кавачулитом, Se -волынскитом, виттихенитом, Se -содержащим виттихенитом, Pb -, Te -содержащим фишессеритом и для блеклых руд характерна примесь Te до 1.58 мас. %, Bi — 0.20 мас. %, Se — 0.62 мас. % [Кужугет и др., 2014]. По данным [Борисенко и др., 1979], образование руд Улуг-Саирского рудопроявления происходило при $P \sim 0.9—1.0$ кбар, т.е. в условиях гипомезобиссальной фации глубинности ($\sim 2.7—3$ км). Соответственно, в Улуг-Саирском рудопроявлении преобладают теллуриды, селенотеллуриды и Se -содержащие минералы, для Хаак-Саирского рудопроявления характерны, прежде всего, селениды и их Te -содержащие разновидности, в меньшей степени представлены теллуриды.

Минеральные и геохимические особенности руд Хаак-Саирского рудопроявления гипабиссальной фации глубинности (~ 1.5 км), возможно, могут свидетельствовать о том, что оно является аналогом эродированной верхней части Улуг-Саирского рудопроявления гипомезобиссальной фации ($\sim 2.7—3.0$ км). По данным некоторых исследователей [Спиридонов, Бадалов, 1983; Бадалов, Спиридонов, 1986;

Коваленкер и др., 2003а,б; и др.], на верхних горизонтах месторождения Кайрагач в Узбекистане 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 др. минералы Hg развиты преимущественно на верхних горизонтах [Stillwell, 1931; Emmons, 1937; Radtke, 1963; Boyle, 1979; Shackleton et al., 2003]. По мнению некоторых исследователей [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 возрастает содержание Te и W, и величина отношений — Au/Ag, Te/Se (от 1—2 до 100—3000), Au/Hg (от 1 до 200—6500).

Имеющиеся данные показывают, что рудопроявления (Хаак-Саир, Улуг-Саир) АМЗУ являются производными единой сложной флюидно-гидротермальной рудообразующей системы. Различия в их минеральном составе обусловлены латеральной и вертикальной минеральной зональностью.

В АМЗУ проявлена латеральная минеральная зональность по составу рудовмещающей среды: породы кремнекислого и среднего состава замещены березитами, а породы базитового и гипербазитового — лиственитами. Рудные тела Хаак-Саирского рудопроявления среди лиственитов, офиолитов обогащены минералами Cu (в т.ч. блеклыми рудами), а также Cr-содержащими минералами (турмалином, слюдами ряда мусковит—парагонит), по натриевым базальтам образовались листвениты с парагонитом. В рудах также отмечается сульфоарсенид Ni (герсдорфит, Fe-Co-герсдорфит с содержанием Co до 7 мас. %) и Cu-содержащее золото, что характерно для месторождений в гипербазитах. Кроме того, в окисленных рудах Хаак-Саирского рудопроявления обнаружена гипергенная иодидная, хлоридная и бромидная минерализация, характерная для колчеданно-полиметаллических месторождений (таких как Рубцовское, Брокен Хилл, Гайское). На Улуг-Саирском рудопроявлении среди ордовикских конгломератов, алевролитов и песчаников отмечаются березиты и березитизированные породы, образованные по кварцевым песчаникам и алевролитам, в рудах среди них отсутствуют Cr-содержащие минералы, сульфоарсенид Ni и редки блеклые руды [Кужугет, 2014]. Здесь также четко проявлена и минеральная зональность оруденения по фациям глубинности формирования руд. Таким образом, на конкретных примерах АМЗУ авторами получены результаты, свидетельствующие о том, что фациям глубинности золоторудных рудопроявлений отвечают минеральные типы по составу продуктивной ассоциации. Хаак-Саирское рудопроявление гипобазитальной фации глубинности ($P \sim 0.5$ кбар; ~ 1.5 км) по составу продуктивных ассоциаций отвечает золото-галенит-сульфоантимонитовому типу с серебристыми блеклыми рудами, минералами ряда Au—Ag—Hg, селенидами Au-Ag, Ag, Hg, Pb и теллуридами Ag, Hg. Улуг-Саирское рудопроявление гипомезобазитальной фации глубинности ($P \sim 0.9—1.0$ кбар; $\sim 2.7—3.0$ км) по составу продуктивных ассоциаций отвечает золото-сульфидному типу с теллуридами (Au и Ag) и редкими селенотеллуридами (Ag и Bi) и фишессеритом [Кужугет и др., 2014].

Золоторудные рудопроявления АМЗУ характеризуются весьма своеобразным минеральным составом руд и полистадийностью их образования, что выражается в последовательном формировании различных типов золотой минерализации. Хаак-Саирскому и Улуг-Саирскому рудопроявлениям присущи некоторые черты вулканогенно-гидротермальных золоторудных объектов. По генетической классификации месторождений золота Э.М. Спиридонова [1995, 2010] их можно отнести к вулканогенно-плутоногенной березит-лиственитовой формации. Типовым объектом данной формации является месторождение Дарасун [Спиридонов, 2010].

В то же время по минералого-геохимическим критериям типизации месторождений их можно отнести к золото-теллуридному (Au-Ag-Te) типу, связанному с вулканоплутоническими магматическими комплексами. Типовыми объектами золото-теллуридного типа вулканоплутонических поясов и районов являются месторождения Крипл Крик, Калгурли, Кочбулак и др. [Константинов, 1984; Коваленкер, 2004; Борисенко и др., 2004]. Для месторождений этого типа характерны их тесная пространственная связь со щелочным магматизмом, Au—Ag—Te специализация руд и широкие вариации Ag/Au — 500÷1000, чаще 60÷100. Формирование руд месторождений золото-теллуридного типа может происходить не только в эпитеpmальных, но и в мезотермальных условиях при давлениях > 1.5 кбар [Berger, Eimon, 1983]. Ряд исследователей [Hedenquist, 1995; Richards, 1995; Коваленкер, 2004; и др.] месторождения этого типа относят к А-типу (alkaline Au-Te type) в классе эпитеpmальных месторождений, связанных с вулканоплутоническими комплексами.

По особенностям рудовмещающей среды Хаак-Саирское рудопроявление сходно с месторождениями золота в лиственитах других регионов, золото-кварцевые жилы которых сопряжены с метасоматитами березит-лиственитовой формации. Во многих золоторудных месторождениях Казахстана, России, Марокко, Канады, после формирования прерудных метасоматитов березит-лиственитовой формации и безрудных жил с шеелитом и ранними сульфидами происходит образование кварцевожильных образований с золотой минерализацией. Во многих офиолитовых комплексах складчатых поясов известны золоторудные поля, причем наиболее продуктивными они являются в случаях наложенно-

го магматизма [Buisson, Leblanc, 1985]. На Среднем Урале это крупное месторождение Березовское, в котором гипербазиты являются одним из элементов рудно-магматической системы, сформировавшей многочисленные дайки кислого состава [Сазонов и др., 2001]. Золотоносные карбонат-кварцевые жилы Березовского месторождения тоже сопряжены с метасоматитами березит-лиственитовой формации, которые образуют вокруг жил ореолы мощностью до 1.5 м. Кроме того, в Березовском рудном поле относительно широко развиты дозолоторудные гидротермалиты ранней высокотемпературной кварц-турмалиновой формации, генетически связанные с Шарташским интрузивом [Спиридонов и др., 2012]. Метасоматиты кварц-турмалиновой формации [Коптев-Дворников, 1955] являются образованиями I этапа, березит-лиственитовой формации — II этапа. На Южном Урале к подобному типу относятся Мечниковское и Архангельское рудные поля, в которых листвениты секутся дайками плагиогранитов [Мелекесцева и др., 2011; Артемьев и др., 2014]. В Армении известно крупное Зодское месторождение, в котором гипербазиты также пронизаны продуктами гранитоидного магматизма [Константинов, 2000].

За рубежом палитру месторождений золота в лиственитах обогащают месторождения Ирана, Турции, Египта, Марокко, Мали, Ирландии, Канады. Наиболее крупными из них являются рудные поля Египта и Канады. В Египте они служили объектами добычи золотых руд в течение нескольких тысячелетий и явились источниками сотен тонн золота [Zoheir, Lehmann, 2011]. Среди них до настоящего времени имеют промышленное значение месторождения Ум Эль Тюр, Ум Хасила, Эль Баррамия. В Канаде разработка золото-лиственитовых месторождений проводится в рудном районе Атлин [Ash et al., 1991; Hansen et al., 2004]. Здесь несколько месторождений имеют запасы 1—2 млн т руды с содержанием золота 3—5 г/т. В Иране, Турции, Марокко и Ирландии к лиственитам приурочены мелкие месторождения с запасами золотых руд невысокого качества в сотни тысяч тонн [Buisson, Leblanc, 1987; Aybal, 1990; Halls, Zhao, 1995]. На всех перечисленных рудных полях известны разнообразные гранитоиды и системы даек кислого состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хаак-Саирское рудопроявление относится к полистадийным объектам гипабиссальной фации глубинности ($P \sim 0.5$ кбар; $H \sim 1.5$ км). По генетической классификации месторождений золота Хаак-Саирское рудопроявление можно отнести к вулканогенно-плутоногенной березит-лиственитовой формации. По минералого-геохимическим критериям типизации месторождений данное рудопроявление можно отнести к золото-теллуридному (Au-Ag-Te) типу, связанному с вулканоплутоническими магматическими комплексами. Руды рудопроявления относятся к малосульфидному типу и характеризуются высоким Ag/Au отношением 0.12—67, часто 40—60. В рудах развиты селениды (HgSe, Ag₂Se, Ag₃AuSe₂, PbSe), Te-, Se-содержащие минералы, минералы системы Au—Ag—Hg с содержаниями Hg до 22 мас. %, реже теллуриды (HgTe, Ag₂Te). Особое влияние на процессы минералообразования руд оказывали вариации $f(O_2)$, $f(S_2)$, $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$.

Для самородного золота Хаак-Саирского рудопроявления характерны широкие вариации пробности (19—957 ‰), наблюдается эволюция составов золота от весьма высокопробного до электрума и от высокопробного золота до Au-содержащего ртутистого серебра через ртутистое золото, ртутистый электрум и ртутистый кюстелит. В минералах системы Au—Ag—Hg содержания Hg и Ag обнаруживают прямую корреляционную связь. Разброс пробности золота первой продуктивной стадии составляет 471 ‰, второй продуктивной стадии — 892 ‰, третьей продуктивной стадии — 486 ‰. Высокая средняя пробность самородного золота третьей продуктивной стадии в отличие от второй продуктивной стадии, а также меньший разброс пробности золота (486 ‰), видимо, обусловлены наличием селенидной и теллуридной минерализации, т.е. основная часть Hg и Ag связана с Se (HgSe, Ag₂Se) и Te (HgTe, Ag₂Te) (см. рис. 10). Минералы Au и Ag первой продуктивной стадии отлагались вместе с акантитом и блеклыми рудами, последние по составу представлены минералами группы теннантит—тетраэдрита и их железистыми и серебристыми разностями с содержаниями Ag до 50 мас. %, т.е. некоторое количество Ag связано в виде Ag₂S и серебристых блеклых руд. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что при повышенной активности $f(S_2)$, $f(Te_2)$ и $f(Se_2)$ формируется высокопробное золото в ассоциации с гесситом и/или селенидами, а при наличии блеклых руд, теллуридов, селенидов уменьшается разброс пробности золота.

Отложение самородного золота в течение нескольких стадий отразилось на морфологических особенностях золота, его внутреннем строении и составе. Высокопробное и среднепробное золото, в отличие от его более серебристых и ртутистых разностей, часто встречается в виде крупных выделений до 1 мм, нередко с кристаллографическими очертаниями. Зерна ртутистого электрума, ртутистого кюстелита встречаются в виде мелких скоплений от комковидной до удлиненной формы, нередко образуют пористые и губчатые структуры и агрегаты.

Высокое содержание Hg в самородном золоте, наличие боросодержащих минералов, блеклых руд и присутствие в рудах Te указывает на глубинный источник рудообразующих растворов.

Типоморфные особенности самородного золота, наличие электрума и ртутистых минералов Au и Ag в рудах Хаак-Саирского рудопоявления указывают на слабоэродированный в целом характер рудопоявления и на благоприятные перспективы продолжения оруденения на значительную глубину (от 200 до 500 м).

Авторы выражают признательность Л.И. Петровой, Е.К. Дружковой, Л.К. Горшковой, В.А. Котлярову и Н.С. Карманову за помощь в подготовке образцов и проведение анализов, а также А.С. Борисенко, Э.М. Спиридонову, И.Ю. Мелекесцевой за ценные замечания и предложения.

Работа выполнена при поддержке гранта председателя Президиума СО РАН (№ 98), РФФИ (№ 11-05-00187, № 13-05-98035-р_сибирь_a).

ЛИТЕРАТУРА

Артемьев Д.А., Крайнев Ю.Д., Зайков В.В. Минералогия золоторудного месторождения Борисовские жилы (Миасский район, Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых. Миасс, Институт минералогии УрО РАН, 2014, с. 137—142.

Бадалов А.С., Спиридонов Э.М. Минеральные ассоциации и эндогенная зональность вулканогенного месторождения Кайрагач // Зап. Узбек. отд. ВМО, 1986, вып. 39, с. 18—27.

Борисенко А.С., Лебедев В.И., Оболенский А.С., Зайков В.В., Тюлькин В.Г. Физико-химические условия формирования гидротермальных месторождений Западной Тувы // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Новосибирск, Наука, 1979, с. 226—235.

Борисенко А.С., Наумов Е.А., Айрияц А.А. Роль мантийных флюидов в формировании эпитеpmальных месторождений (по данным изотопии гелия) // Матер. XVII симпозиума по геохимии изотопов. М., 2004, с. 220—223.

Ечмаева Е.А. Экспериментальное определение стандартных термодинамических свойств минералов и фазовых отношений в системах Ag—Au—X, где X = S, Se, Te: Автореф. дис. ... к.х.н. М., 2009, 25 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, ТПИ, 1979 с. 91—95.

Зайков В.В., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г., Гречищева В.Н., Кужугет К.С. Рудные формации Тувы. Новосибирск, Наука, 1981, 201 с.

Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А., Монгуш А.А., Кужугет Р.В. Алдан-Маадырская золоторудная зона на западном фланге Саяно-Тувинского разлома // Металлогения древних и современных океанов-2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс, ИМин УрО РАН, 2009, с. 123—127.

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.

Коваленкер В.А. Рудообразующие системы эпитеpmальных золото-серебрянных месторождений: концепции, реальность, модели // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М., ИГЕМ РАН, 2004, с. 160—183.

Кононенко Н.Б. Предварительные результаты по золотоносной Алдан-Маадырской зоне (Республика Тыва) // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири: материалы науч.-практ. конф. Красноярск, Красноярскгеолсъемка, 2011, с. 162—166.

Коваленкер В.А., Плотинская О.Ю., Конеев Р.И. Минералогия эпитеpmальных золото-сульфидно-теллуридных руд месторождения Кайрагач (Узбекистан) // Новые данные о минералах, вып. 38, М., ЭКОСТ, 2003а, с. 45—56.

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, 2003б, т. 45, № 3, с. 195—227.

Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. М., Недра, 1984, 166 с.

Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А. Золоторудные гиганты России и мира. М., Научный мир, 2000, 270 с.

Коптев-Дворников В.С. Проблема магматической петрографии в связи с формированием гидротермальных месторождений // Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. М., АН СССР, 1955, с. 122—144.

Кужугет Р.В. Особенности минералообразования золото-кварцевых рудопроявлений Алдан-Маадырского золоторудного узла (Западная Тува) // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества, Вып. 11 / Ред. В.И. Лебедев. Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2012, с. 44—64.

Кужугет Р.В. Золото-теллуридное оруденение Алдан-Маадырского рудного узла (Западная Тува): минералого-геохимические особенности руд и условия их образования: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, 2014, 20 с.

Кужугет Р.В., Зайков В.В., Лебедев В.И. Улуг-Саирское золото-турмалин-кварцевое месторождение, Западная Тува // Литосфера, 2014, № 2, с. 99—114.

Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А., Зайков В.В., Юминов А.М. Минералы золота и серебра Мечниковского и Алтын-Ташского золоторудных месторождений в листовниках, Южный Урал // Минералогия Урала-2011. VI Всероссийское совещание (Миасс, 22—26 августа 2011 г.). Миасс-Екатеринбург, УрО РАН, 2011, с. 111—115.

Монгуш А.А., Кужугет Р.В., Дружкова Е.К. Особенности состава магматических пород и Ag-Ar 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.

Осадчий Е.Г. Электрохимические исследования геохимических систем и фазовых реакций. Москва — 2011. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ises.su/2011/pdf_lectures/osadchii_lecture.pdf, свободный.

Пальянова Г.А., Кох К.А., Сереткин Ю.В. Сульфидные и самородные формы золота и серебра в системе Fe—Au—Ag—S // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (4), с. 450—460.

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

Плотинская О.Ю., Коваленкер В.А., Русинов В.Л., Селтманн Р. Осцилляторная зональность в голдфилдите золоторудных эпitherмальных месторождений // ДАН, 2005, т. 403, № 2, с. 237—241.

Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2001, 622 с.

Сидоров А.А., Волков А.В. Генетическое разнообразие и конвергенция эпitherмального золото-серебряного оруденения // ДАН, 2004, т. 397, № 1, с. 72—77.

Спиридонов Э.М. Типоморфные особенности блеклых руд некоторых плутоногенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота // Геология рудных месторождений, 1987, т. 29, № 6, с. 83—91.

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, 26—29 сент. 2010 г. Апатиты, Изд-во К & М, 2010, с. 143—171.

Спиридонов Э.М., Бадалов А.С. Новые сульфоселенотеллуриды и сульфоселениды висмута из вулканогенного месторождения Кайрагач (Восточный Узбекистан) // Узб. геол. журнал, 1983, № 6, с. 82—84.

Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Брызгалов И.А., Гусева Е.В., Коротаева Н.Н., Кривицкая Н.Н., Япаскерт В.О. Особенности зонального строения минералов группы блеклых руд — один из критериев отличия гидротермальных месторождений золота: плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных и вулканогенных // Онтогенез минералов и ее значение для решения геологических прикладных и научных задач. СПб., Зап. РМО, 2009, с. 135—136.

Спиридонов Э.М., Нурмухаметов Ф.М., Поленов Ю.А., Прошкина А.Н., Куликова И.М., Сидорова Н.В., Филимонов С.В. Высокотемпературная минерализация гумбеитовой формации в Березовском рудном поле (Средний Урал) // Минералогия во всем пространстве сего слова: проблемы укрепления минерально-сырьевой базы и рационального использования минерального сырья (Матер. Междунар. науч. конф. Санкт-Петербург, 9—11 октября 2012). СПб., 2012, с. 253—254.

Филимонов С.В. Минералы группы блеклых руд — индикаторы рудогенеза (на примере гидротермальных месторождений золота): Автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 2009, 45 с.

Afifi A.M., Kelly W.C., Essene E.J. Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides: I. Thermochemical data and calculated equilibria; II. Applications to telluride-bearing ore deposits // *Econ Geol.*, 1988, v. 83, p. 377—394; 395—404.

Ash C.H., Macdonald R.W., Arksey R.L. Towards a deposit model for ophiolite related mesothermal Gold in British Columbia // *Geological Fieldwork* 1991, B.C. Department of Energy and Mines, Paper 1992-1, p. 253—260.

Aybal D. Gold-bearing listwaenites in the Arac Massif, Kastamonu, Turkey // *Terra Nova*, 1990, v. 2, p. 43—51.

Barton P.B., Skinner B.J. Sulfide mineral stabilities // *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* / Ed. H.L. Barnes. New York, John Wiley and Sons, 1979, p. 278—403.

Berger B.R., Eimon P. Conceptual models of epithermal precious metal deposits. Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits / Ed. W.C. Shanks. RIME Soc. Min. Eng. 1983, p. 191—205.

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

Buisson G., Leblanc M. Gold in carbonatized ultramafic rocks from ophiolite complexes // *Econ. Geol.*, 1985, v. 80, p. 2026—2029.

Buisson G., Leblanc M. Gold in mantle peridotites from Upper Proterozoic ophiolites in Arabia, Mali and Morocco // *Econ. Geol.*, 1987, v. 82, p. 2091—2097.

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

Halls C., Zhao R. Listvenite and related rocks: perspectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at Cregganbaun, Co. Mayo, Republic of Ireland // *Miner. Deposita*, 1995, v. 30, p. 303—313.

Hansen L.D., Andersen R.G., Dipple G.M., Hakano K. Geological setting of listwanite (carbonated serpentinite) at Atlin, British Columbia: implications for CO₂ sequestration and lode-gold mineralization // *Geol. Surv. Can.*, 2004, p. 1—12.

Hedenquist J.W. The ascent of magmatic fluids: discharge versus mineralization // *Magmas, fluid and ore deposits* / Ed. J.F.H. Thompson. Mineral. Assoc. Can. Short Course Ser. 1995, v. 23, p. 263—289.

Melekestseva I., Ankusheva N., Zaykov V., Kotlyarov V., Kuzhuget R. Formation conditions of the Khaak-Sair and Sarytash gold deposits in listvenites, Western Tyva: evidences from fluid inclusions // *Large igneous provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny: Abstracts of the International Conference. Irkutsk*, 2011, p. 162—165.

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.

Richards J.P. Alkalic-type epithermal gold deposits — a review // *Magmas, fluid and ore deposits* / Ed. J.F.H. Thompson. Mineral. Assoc. Can. Short Course Ser. 1995, v. 23, p. 367—400.

Shackleton J.M., Spry P., Bateman R. Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia // *Canad. Miner.*, 2003, v. 41, p. 1503—1524.

Stillwell F.L. The occurrence of telluride minerals of Kalgoorlie // *Proc. Austral. Inst. Min. Metal.*, 1931, № 84, p. 115—190.

Zoheir B., Lehmann B. Listvenite–lode association at the Barramiya gold mine, Eastern Desert, Egypt // *Ore Geol. Rev.*, 2011, v. 39, p. 101—115.

*Рекомендована к печати 11 июня 2014 г.
А.С. Борисенко*

*Поступила в редакцию
21 апреля 2014 г.*