

УДК 553.2:549.283(571.52)

## УЛУГ-САИРСКОЕ ЗОЛОТО-ТУРМАЛИН-КВАРЦЕВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЗАПАДНАЯ ТУВА

© 2014 г. Р. В. Кужугет\*, В. В. Зайков\*\*, В. И. Лебедев\*

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

E-mails: rkuzhuget@mail.ru

\*\*Институт минералогии УрО РАН  
456317, Челябинская обл., г. Миасс  
E-mails: zaykov@mineralogy.ru

Поступила в редакцию 26.11.2013 г.

В статье рассмотрены геологическое строение и минералого-geoхимические особенности Улуг-Саирского золото-кварцевого месторождения. Установлены особенности самородного золота, теллуридов, селенидов и селенотеллуридов Bi и Ag и условия рудообразования. Показано, что месторождение относится к полистадийным объектам золото-кварцевой малосульфидной формации. Формирование руд на уровне эрозиного среза происходило в гипабиссальной фации глубинности 0.9–1.0 кбар (2.7–3.0 км), при температурах 370–145°C. Отложение минералов Au и Ag происходило в течение двух стадий минералообразования: золото-сульфидно-турмалин-кварцевой и золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой. Более продуктивной является первая стадия. Для золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии характерны следующие минералы: петцит [AuAg<sub>3</sub>Te<sub>2</sub>], гессит [Ag<sub>2</sub>Te], фишессерит [AuAg<sub>3</sub>Se], кавацулит [Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>Se], Se-содержащий волынскит [AgBi(Se,Te)<sub>2</sub>] и т.д. Минералого-geoхимическими методами установлено что, средняя пробность всего золота Улуг-Саирского месторождения составляет 893‰, при вариациях от 967 до 615‰.

Ключевые слова: золото, петцит, гессит, фишессерит, кавацулит, Se-содержащий волынскит, виттихенит, турмалин, золоторудное оруденение, Тува.

### ВВЕДЕНИЕ

На западе Республики Тыва с 50-х гг. XX в. известен ряд небольших золото-кварцевых месторождений и рудопроявлений в конгломератах и лиственитах, на которых недавно возобновлены геологоразведочные и научно-исследовательские работы [9]. Эти объекты сосредоточены в Алдан-Маадырском золоторудном узле (АМЗУ), и наиболее крупными из них являются Улуг-Саирское месторождение в конгломератах и Хаак-Саирское месторождение – в лиственитах. АМЗУ расположен на левобережье р. Хемчик, в области сочленения метатерригенных комплексов Западного Саяна, венд-нижнекембрийских океанических комплексов Западной Тувы, ордовик-силурийской молласы Хемчикско-Сыстыгхемского коллизионного прогиба и девонских комплексов Тувинского рифтогенно-прогиба. Рудные объекты в основном сосредоточены в субширотной узкой полосе протяженностью 45 и шириной 5–7 км. Золотое оруденение АМЗУ приурочено к зоне Хемчикско-Куртушибинского (Саяно-Тувинского) глубинного разлома.

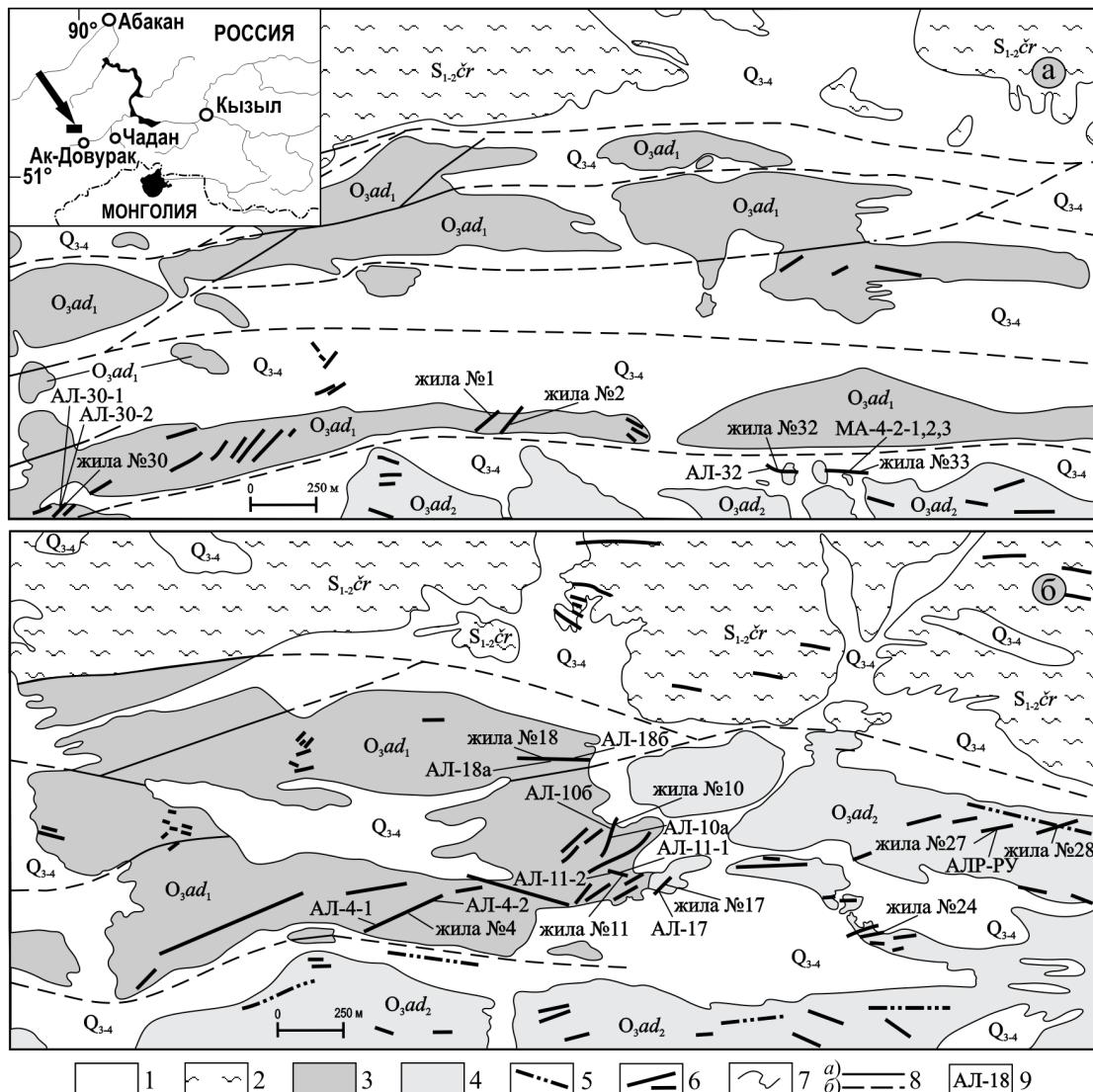
Основные факторы, влияющие на размещение золотого оруденения в пределах узла – структурно-тектонический и магматический. Золоторудные

объекты в структурном отношении контролируются линейными антиклиналями и горст-антеклиналями субширотного простирания, и оперяющими нарушениями системы Хемчикско-Куртушибинского глубинного разлома. Субширотная ориентировка главных складчатых и разрывных структур обусловила линейный характер распределения магматических пород района и золоторудных объектов, что благоприятствовало формированию в пределах золоторудного узла нескольких узких линейных рудоносных зон березитизации и лиственитизации, насыщенных золото-кварцево-жильными образованиями [17].

История изучения месторождения дана в работах [16, 22]. В последние годы авторами получены данные о стадиях и условиях рудообразования и составе золота в жилах из различных частей стратиграфического разреза рудного поля, чему и посвящена данная статья.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оптические исследования выполнены на микроскопах Olympus и ПОЛАМ Р312. Определение гранулометрического состава шлиховых и протолочных проб производилось ситовым методом. Со-



**Рис. 1.** Геологическая карта Улуг-Саирского месторождения (по данным [8], с добавлениями).

а – западный фланг, б – восточный фланг месторождения. 1–4 – осадочные отложения: 1 – четвертичные (Q<sub>3-4</sub>); 2 – аргиллиты чергакской свиты (S<sub>1,2</sub>čr); 3 – алевролиты верхней подсвиты адырташской свиты (O<sub>3</sub>ad<sub>2</sub>); 4 – конгломераты, гравелиты и песчаники нижней подсвиты адыргашской свиты (O<sub>3</sub>ad<sub>1</sub>); 5 – дайки диабазов III фазы баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>bn); 6 – кварцевые жилы и жильные зоны; 7 – границы геологические; 8 – разрывные нарушения достоверные (а) и предполагаемые (б); 9 – номера проб и образцов и места их отбора.

став минералов определялся на растровых электронных микроскопах (с пределами обнаружения содержаний элементов-примесей 0.01 мас. %) РЭММА 202М (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, аналитик В.А. Котляров), MIRA LM, (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитик Н.С. Карманов) и JXA 8100, SAMEVAX-Micro, с пределами обнаружения содержаний элементов-примесей – 0.001 мас. % (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитик Е.Г. Дашкевич). Снимки выделенных золотин в отраженных электронах сделаны выше перечисленными приборами, а также на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 (ТувИКОПР СО РАН, г. Кызыл, Р.В. Кужугет).

Для группировки золота по пробности использована классификация Н.В. Петровской [21]: весьма высокопробное – 1000–950; высокопробное – 950–900; средней пробности – 900–800; низко-пробное золото – 800–700; электрум – 700–300; кюстелит – 300–100; серебро (Au-содержащее серебро) < 100.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЛУГ-САИРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Улуг-Саирское золото-турмалин-кварцевое месторождение выявлено В.В. Зайковым в 1964 г., в процессе геологической съемки 1 : 50 000 масштаба.

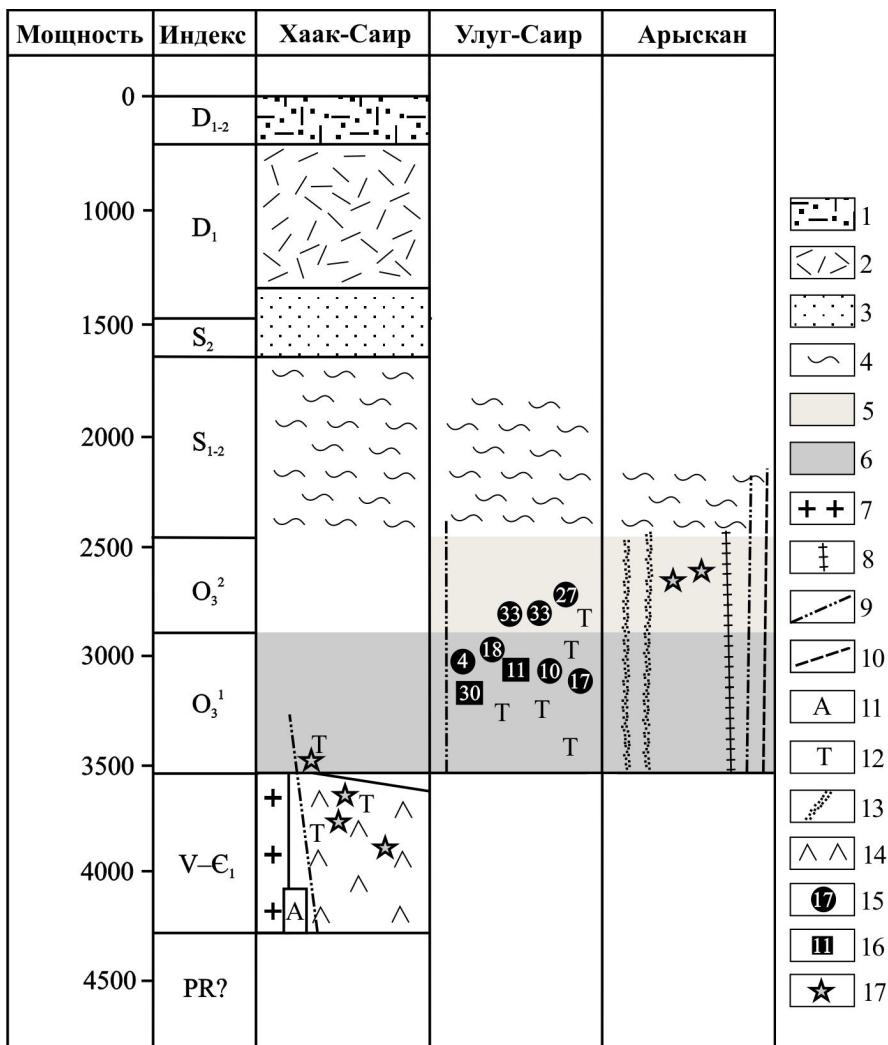


Рис. 2. Стратиграфическое положение исследованных золоторудных объектов АМЗУ.

1 – песчаники, алевролиты, гравелиты, эфузивы кислого и среднего состава саглинской свиты ( $D_{1-2}sg$ ); 2 – риолиты кендейской свиты ( $D_1kn$ ); 3 – красноцветные песчаники и алевролиты хондергейской свиты ( $S_2-D_1hn$ ); 4 – сероцветные аргиллиты с прослоями песчаников и известняков чергакской свиты ( $S_{1-2}cr$ ); 5–6 – адирташская свита ( $O_3ad$ ): 5 – лиловые алевролиты с прослоями песчаников и зеленоватых алевролитов, 6 – конгломераты, гравелиты; 7–10 – баянкольский комплекс ( $D_{2-3}$ ): 7 – гранит-порфиры I фазы, 8 – березитизированные дайки риолитов II фазы, 9 – дайки диабазов III фазы, 10 – дайки габброидов III фазы; 11–12 – борная минерализация: 11 – аксинитовая, 12 – турмалиновая; 13 – зоны апогеригенной березитизации; 14 – лиственитизированная офиолитовая ассоциация ( $V-E_1$ ): базальты, вулканомиктовые породы, тела гипербазитов; 15–16 – позиция опробованных золоторудных жил с их номерами: 15 – золото-сульфидно-турмалин-кварцевых, 16 – золото-теллуридно-кварцевых; 17 – золото-сульфидно-кварцевые жилы на Хаак-Саирском и Арысканском месторождениях.

Оно расположено в северо-восточной части АМЗУ и приурочено к осевой части Улуг-Саирской антиклинальной структуры. Ядро антиклинальной складки сложено венд-нижнекембрийскими офиолитами и конгломератами ордовика, крылья – ордовикскими алевролитами и силурийскими аргиллитами.

В пределах месторождения (размер  $1 \times 4$  км) развиты различные по размеру, морфологии и типу турмалинсодержащие кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны с золотой минерализацией (рис. 1). Они сосредоточены в пределах ордовикских конгломератов и алевролитов (рис. 2). За-

паднее развиты золотоносные листвениты (Хаак-Саирское месторождение), а восточнее – березиты и кварцевые жилы в силурийских сланцах (Арысканское месторождение).

На Улуг-Саирском месторождении выявлено и опробовано 37 кварцевых жил и несколько жильных зон с золоторудной минерализацией [10]. Простижение их восток-северо-восточное, падение близкое к вертикальному, мощность отдельных жил от 10 см до 2 м, длина – от 20 до 200 м. Жильные зоны имеют ширину до 40 м и протяженность от 20 до 120 м. В пределах месторожде-

Стадии Минералы	Этапы			I дорудный			II рудный			III пострудный		
	Кварц-турмалиновая	Пирит-кварцевая	Золото-сульфидно-турмалин-кварцевая	Золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая	Турмалин-кварцевая	Карбонатно-кварцевая	Хлорит-гематит-кварцевая					
Кварц	—	—	—	—	—	—	—					
Турмалин	—	—	—	—	—	—	—					
Шеелит	—	—	—	—	—	—	—					
Рутил	—	—	—	—	—	—	—					
Хлорит	—	—	—	—	—	—	—					
Апатит	—	—	—	—	—	—	—					
Магнетит	—	—	—	—	—	—	—					
Пирит	—	—	—	—	—	—	—					
Серицит	—	—	—	—	—	—	—					
Галенит	—	—	—	—	—	—	—					
Халькопирит	—	—	—	—	—	—	—					
Золото	—	—	—	—	—	—	—					
Электртум	—	—	—	—	—	—	—					
Борнит	—	—	—	—	—	—	—					
Кавацулит	—	—	—	—	—	—	—					
Фишессерит	—	—	—	—	—	—	—					
Волынскит	—	—	—	—	—	—	—					
Виттихенит	—	—	—	—	—	—	—					
Петцит	—	—	—	—	—	—	—					
Гессит	—	—	—	—	—	—	—					
Блеклые руды	—	—	—	—	—	—	—					
Анкерит	—	—	—	—	—	—	—					
Сидерит	—	—	—	—	—	—	—					
Доломит	—	—	—	—	—	—	—					
Кальцит	—	—	—	—	—	—	—					
Гематит	—	—	—	—	—	—	—					

Рис. 3. Парагенетическая схема Улуг-Сайрского месторождения.

Толщина линий указывает на относительную степень распространности минерала.

ния встречаются одиночные дайки диабазов мощностью до 0,7 м, которые секутся золото-сульфидно-турмалин-кварцевыми жилами (см. жилу № 28, рис. 1).

Золото-турмалин-кварцевые жилы, залегающие в конгломератах, имеют наибольшие параметры, более высокие концентрации Au и чаще являются золотоносными, чем жилы, залегающие в алевролитах. Особенно благоприятны сводовые и периклинальные части антиклиналей, где конгломераты перекрываются алевролитами, выполняющими роль экрана. Наличие халькопирита, борни-

та, турмалина, и шеелита в кварцево-жильных образованиях является косвенным признаком их золотоносности.

Среднее содержание Au в кварцевых жилах, установленное при поисковых работах пробирным анализом, равно 4 г/т (максимум – 286 г/т) [8]. По результатам поисково-оценочных работ поисковой партии ОАО “Красноярскгеолсъемка”, прогнозные ресурсы Au Улуг-Сайрского месторождения вместе с Арыканским рудопроявлением по категории Р2 (при среднем содержании Au – 2 г/т до глубины 200 м) оценено в 20 т [14].

### Этапы и стадии минералообразования

По данным предшественников [6, 15, 22] и собственным наблюдениям установлено, что формирование месторождения происходило в течение 3-х этапов, минеральной особенностью которых является повсеместное присутствие турмалина (рис. 3).

Дорудный этап проявился в пределах всего Улуг-Саирского месторождения. На кварц-турмалиновой стадии этапа происходило образование турмалиновых и кварц-турмалиновых метасоматитов с рутилом, W-содержащим рутилом, апатитом, шеелитом и пиритом. Турмалинодержащие метасоматиты по конгломератам и алевролитам ордовика мощностью до 5–7 м представлены светло-зеленоватым игольчато-призматическим турмалином, с кварц-турмалиновыми и кварцевыми прожилками. Завершилась стадия формированием кварц-турмалиновых жил и прожилков. В пирит-кварцевую стадию были образованы маломощные жилы, иногда создающие зоны проектирования мощностью до 3 м. Пирит-кварцевые жилы и прожилки данной стадии секут турмалиниты.

Рудный этап включает золото-сульфидно-турмалин-кварцевую и золото-теллуридно-сульфидно-кварцевую стадии. В первую стадию образовалась основная масса жил месторождения, залегающих в конгломератах. Близкие по составу жилы распространены в алевролитах, перекрывающих конгломераты. В жилах установлены халькопирит, пирит, золото, галенит; содержание сульфидов не превышает 5%. Халькопирит – главный рудный минерал этой стадии, наблюдается почти во всех жилах. Обычно он образует ксеноморфные гнезда и вкрапленники в кварце. Галенит очень редок. Турмалин присутствует в кварце в виде кварц-турмалиновых ксенолитов или отдельных лучистых агрегатов, нарастающих на подобные ксенолиты. Формирование минеральных ассоциаций золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии, сопровождалось многоактными деформациями пород предыдущих минеральных ассоциаций, прежде всего, турмалиновых метасоматитов, что привело к их брекчированию.

Породы золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии распространены незначительно. Они слагают единичные жилы мощностью до 2 м и длиной до 28 м (жила № 30, западный фланг; жила № 11, восточный фланг). Признаки данной ассоциации отмечаются в отдельных фрагментах жил № 1 и 24. Рудная минерализация вкрапленная, гнездово-вкрапленная и прожилково-вкрапленная с неравномерным распределением. Содержание рудных минералов, среди которых преобладают борнит, халькоzin, ковеллин и теллуриды, не превышает 5%. Для данной стадии характерно исключительное минеральное разнообразие. Золото,

петцит, гессит, фишессерит, кавацулит, Se-содержащий волынскит, виттихенит, встречаются в виде вкрапленности в борните, халькоzinе по борниту, реже – в кварце. Теннантит встречен в единичных жилах и прожилках в ассоциации с борнитом, гесситом, петцитом, золотом и халькоzином. Центр зерен сложен Cu-теннантитом, кайма – Fe-теннантитом. Состав Cu-теннантита в мас. %: Cu – 44.35, Ag – 1.14, Fe – 1.88, Hg – 1.87, Mn – 0.14, Ni – 0.26, Co – 0.28, As – 19.72, Sb – 0.16, Te – 0.59, S – 27.31, Se – 0.37, формула, рассчитанная на 29 атомов:  $(\text{Cu}_{9.84}\text{Ag}_{0.16})_{10.00}(\text{Cu}^{2+}_{1.18}\text{Fe}_{0.51}\text{Hg}_{0.13}\text{Mn}_{0.04}\text{Ni}_{0.07}\text{Co}_{0.07})_{1.98}(\text{As}_{3.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Te}_{0.07})_{4.07}(\text{S}_{12.89}\text{Se}_{0.07})_{12.95}$ . Состав Fe-теннантита в мас. %: Cu – 42.72, Ag – 1.57, Fe – 5.87, Mn – 0.34, Hg – 0.35, Ni – 0.26, Co – 0.11, As – 19.58, Sb – 0.13, Te – 0.41, S – 27.85, Se – 0.21, формула, рассчитанная на 29 атомов:  $(\text{Cu}_{9.78}\text{Ag}_{0.22})_{10.00}(\text{Cu}^{2+}_{0.25}\text{Fe}_{1.57}\text{Mn}_{0.09}\text{Hg}_{0.03}\text{Co}_{0.03}\text{Ni}_{0.06})_{2.03}(\text{As}_{3.90}\text{Sb}_{0.02}\text{Te}_{0.05})_{3.97}(\text{S}_{12.96}\text{Se}_{0.04})_{13.00}$ .

Пострудный этап представлен турмалин-кварцевой, карбонатно-кварцевой и хлорит-гематит-кварцевой стадиями. Турмалин-кварцевые прожилки мощностью до 5 мм секут пирит-кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы предыдущего этапа. Прожилки образуют причудливые червеобразные формы, турмалин макроскопически темно-серого цвета обычно приурочен к их зальбандам. Карбонатно-кварцевая стадия проявлена практически во всех жилах в виде маломощных прожилков доломитового, доломит-кварцевого, кальцит-кварцевого состава. Доломит-кварцевые и хлорит-гематит-кварцевые прожилки мощностью до 5 мм тяготеют преимущественно к периферическим частям кварцевых жил.

Турмалины Улуг-Саирского месторождения, отнесенные к нескольким генерациям, по химическому составу почти одинаковы. Их средний ( $n = 16$ ) химический состав отвечает формуле  $(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.47}\text{Ca}_{0.01})_{1.00}(\text{Mg}_{1.50}\text{Fe}^{2+}_{0.96}\text{Al}_{0.51}\text{Ti}_{0.03})_{3.00}[\text{Al}_6\text{Si}_{5.93}\text{Al}_{0.07}\text{O}_{18}](\text{BO})_3(\text{OH})_4$ . Здесь формула турмалина рассчитана на 15 катионов. Турмалины Улуг-Саирского месторождения можно отнести к промежуточным членам ряда магнезио-фойит-фойит, преобладает магнезио-фойитовый компонент (железистость 0.80–1.38 к.ф., хромистость 0.00 к.ф.). Содержание  $\text{Fe}^{3+}$  – 0.00–0.15 к.ф., отношение  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{общ}} = 0.00–0.11$ .  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  рассчитаны по балансу зарядов. От ранних генераций к поздним увеличивается железистость турмалинов (величина  $X_{\text{Fe}}$  от 0.80–0.91 до 0.92–1.28 к.ф.). В турмалинах проявлен изоморфизм  $\text{Mg}, (\text{Al}) \rightarrow \text{Fe}$ . Отношение  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{общ}}$  низкое, находится в пределах 0.00–0.08. Турмалин третьей генерации ( $X_{\text{Fe}} = 0.91–1.02$  к.ф.) отлагался в самом начале золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии и присутствует в виде тонкораспыленных выделений в кварце [16].

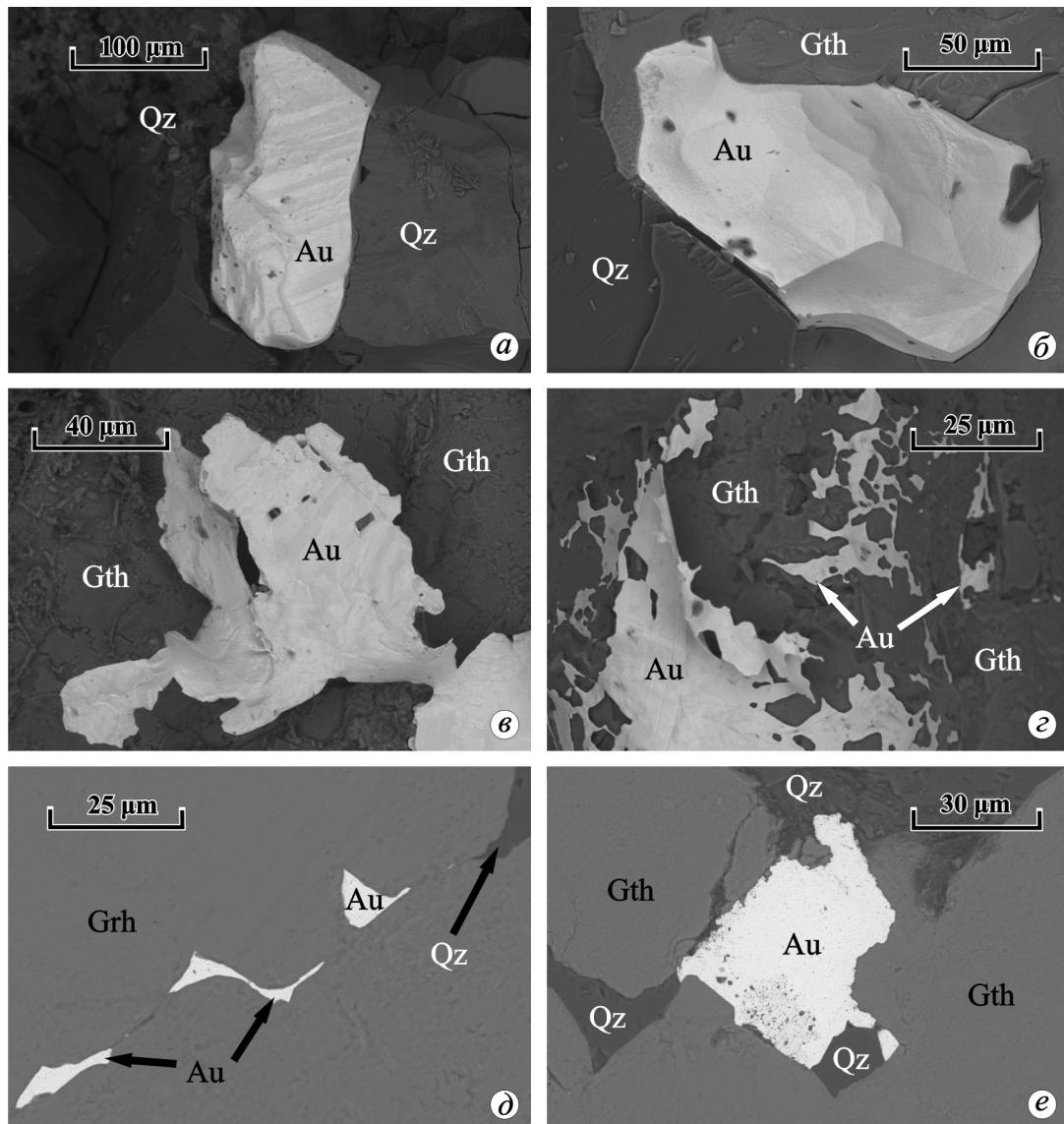


Рис. 4. Взаимоотношение золота (Au) золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии с гематитом (Gth), кварцем (Qz).

## ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ Au И Ag

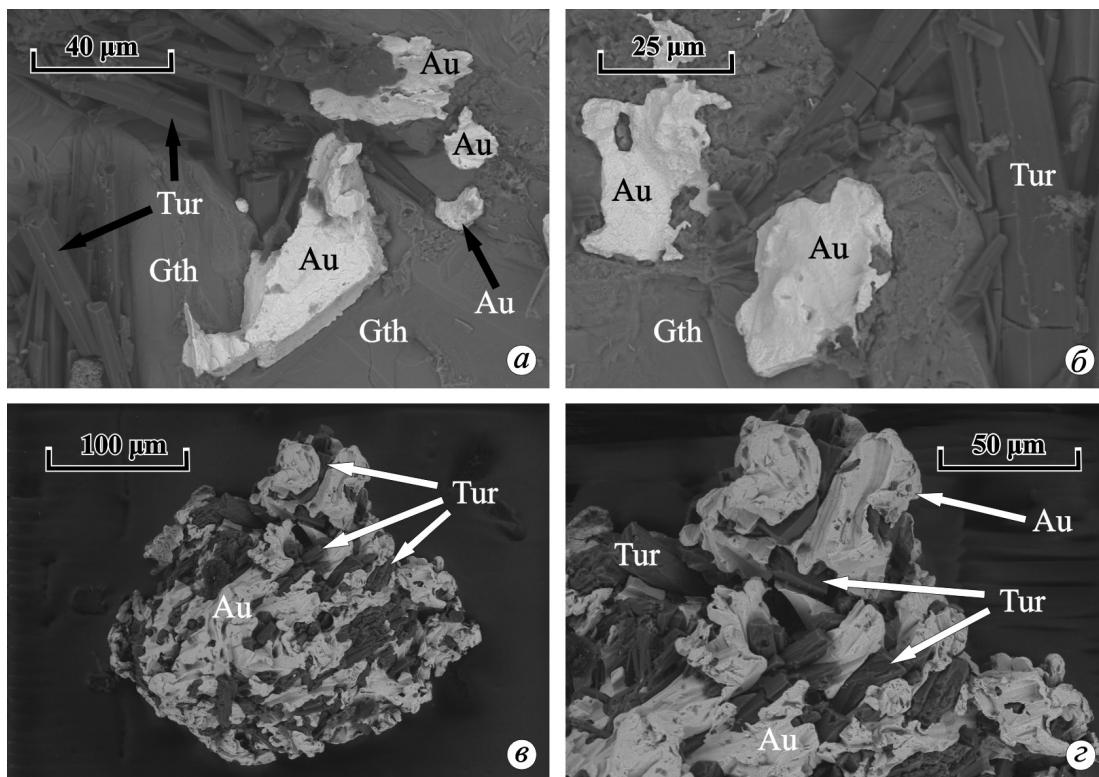
### Минералы Au и Ag золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии

Золото встречается в виде вкрапленности и тончайших жилок в кварце, заполняя межзерновые пространства и микротрешины, иногда образует срастания с сульфидами, с турмалином, реже – включения в гематите. Так как сульфиды рудных жил окислены, то золото наблюдается в гематите, развитом по халькопириту и пириту (рис. 4 $a-2$ , – обр. АЛ-18а,  $\delta-e$  – обр. АЛ-10а). Золоторудная минерализация данной стадии часто находится в ассоциации с турмалином. Во многих случаях наблюдаются сростки золота с игольчатым турмалином (рис. 5 $a-\delta$ , – обр. АЛ-18а;  $\vartheta-\varepsilon$  – обр. АЛ-18, шлих-

вая проба из отвалов жилы № 18). Данный факт ярко подчеркивает генетическое единство золотой и турмалиновой минерализации.

Морфология зерен золота весьма разнообразна, преобладают кристалломорфные и интерстициальные формы золотин. Первые представлены октаэдрами, кубооктаэдрами, сростками кристаллов, а также комковидными, плохо ограненными выделениями. Интерстициальные образования – прожилково-комковидные, с выступами и ответвлениями, с отпечатками кристаллов других минералов. Реже встречаются ксеноморфные, каплевидные, прожилково-ветвистые, удлиненные формы. Поверхность золотин шагреневая, иногда гладкая.

Гранулометрический состав золота из кварцевых жил золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии колеблется незначительно: количественно



**Рис. 5.** Формы выделения золота (Au) золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии в ассоциации с гетитом (Gth) и турмалином (Tur).

**Таблица 1.** Состав золота из жил золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии в конгломератах (мас. %).

№ п/п	№ образца	Элементы				Сумма	Кристаллохимическая формула	Пробность
		Au	Ag	Cu	Te			
1	АЛ-18а	96.44	3.26	—	0.01	99.70	(Au <sub>0.94</sub> Ag <sub>0.06</sub> ) <sub>1.00</sub>	967
2		95.58	4.73	0.05	—	100.36	(Au <sub>0.92</sub> Ag <sub>0.08</sub> ) <sub>1.00</sub>	952
3	АЛ-17	95.27	4.33	0.17	—	99.77	(Au <sub>0.92</sub> Ag <sub>0.07</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	955
4		95.08	4.73	0.08	0.02	99.91	(Au <sub>0.92</sub> Ag <sub>0.08</sub> ) <sub>1.00</sub>	952
5	АЛ-4-1	94.55	4.61	0.62	—	99.78	(Au <sub>0.90</sub> Ag <sub>0.08</sub> Cu <sub>0.02</sub> ) <sub>1.00</sub>	948
6		93.86	6.06	—	—	99.92	(Au <sub>0.89</sub> Ag <sub>0.11</sub> ) <sub>1.00</sub>	939
7		92.68	6.11	0.08	0.03	98.90	(Au <sub>0.89</sub> Ag <sub>0.11</sub> ) <sub>1.00</sub>	937
8	АЛ-10а	90.81	8.29	0.64	—	99.74	(Au <sub>0.84</sub> Ag <sub>0.14</sub> Cu <sub>0.02</sub> ) <sub>1.00</sub>	910
9		88.90	11.05	0.02	—	99.97	(Au <sub>0.81</sub> Ag <sub>0.19</sub> ) <sub>1.00</sub>	890
10	АЛ-18а	88.97	10.69	0.02	0.02	99.70	(Au <sub>0.82</sub> Ag <sub>0.18</sub> ) <sub>1.00</sub>	892
11		88.74	10.80	0.02	0.04	99.60	(Au <sub>0.82</sub> Ag <sub>0.18</sub> ) <sub>1.00</sub>	891
12	АЛ-4-1	86.00	14.70	0.02	0.04	100.76	(Au <sub>0.76</sub> Ag <sub>0.24</sub> ) <sub>1.00</sub>	854
13	АЛ-4-2	85.43	13.94	0.09	—	99.46	(Au <sub>0.77</sub> Ag <sub>0.23</sub> ) <sub>1.00</sub>	859
14		80.77	18.74	0.32	—	99.83	(Au <sub>0.70</sub> Ag <sub>0.29</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	809
15	АЛ-4-2	73.46	26.37	0.01	—	99.84	(Au <sub>0.60</sub> Ag <sub>0.40</sub> ) <sub>1.00</sub>	736
16		72.12	27.69	0.10	—	99.91	(Au <sub>0.59</sub> Ag <sub>0.41</sub> ) <sub>1.00</sub>	722
17	АЛ-4-1	66.85	32.22	0.18	—	99.25	(Au <sub>0.53</sub> Ag <sub>0.47</sub> ) <sub>1.00</sub>	674
18		66.52	32.72	—	—	99.24	(Au <sub>0.53</sub> Ag <sub>0.47</sub> ) <sub>1.00</sub>	670
19		64.04	35.02	0.22	—	99.28	(Ag <sub>0.50</sub> Au <sub>0.50</sub> ) <sub>1.00</sub>	645

Примечание. В данной таблице показаны представительные анализы золотин из кварцевых жил №4, 10, 17 и 18. 1–16 состав минералов определялся на микрозонде JXA 8100, САМЕВАХ-Micro, 17–19 – на электронном микроскопе РЭММА 202МВ. 1–16 – золото, 17–19 – электрум. Здесь и в табл. 2 и 3 кристаллохимическая формула золота и электрума рассчитана по сумме металлов, равной 1. Здесь и в других таблицах прочерк означает содержание ниже пределов обнаружения.

**Таблица 2.** Состав золота жил золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии в алевролитах (мас. %)

№ п/п	№ образца	Элементы				Сумма	Кристаллохимическая формула	Пробность
		Au	Ag	Cu	Hg			
1	AM-14-2-2	94.21	5.30	0.26	—	99.77	(Au <sub>0.90</sub> Ag <sub>0.09</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	944
2		94.50	5.33	0.24	—	100.07	(Au <sub>0.90</sub> Ag <sub>0.09</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	944
3		94.01	5.76	0.19	—	99.96	(Au <sub>0.89</sub> Ag <sub>0.10</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	940
4		93.49	5.99	0.27	—	99.75	(Au <sub>0.89</sub> Ag <sub>0.10</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	937
5		92.63	6.90	0.21	—	99.74	(Au <sub>0.87</sub> Ag <sub>0.12</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	929
6	AM-14-2-3	92.32	7.33	0.21	—	99.86	(Au <sub>0.87</sub> Ag <sub>0.12</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	924
7		91.71	7.67	0.20	—	99.58	(Au <sub>0.86</sub> Ag <sub>0.13</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	921
8		90.92	8.58	0.41	—	99.91	(Au <sub>0.84</sub> Ag <sub>0.15</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	910
9		90.06	9.57	0.27	—	99.90	(Au <sub>0.83</sub> Ag <sub>0.16</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	902
10		89.65	10.15	0.24	—	100.04	(Au <sub>0.82</sub> Ag <sub>0.17</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	896
11	АЛР-РУ	88.46	11.44	—	—	99.90	(Au <sub>0.81</sub> Ag <sub>0.19</sub> ) <sub>1.00</sub>	885
12		88.07	11.85	—	—	99.92	(Au <sub>0.80</sub> Ag <sub>0.20</sub> ) <sub>1.00</sub>	881
13		88.04	11.95	0.07	—	100.06	Au <sub>0.80</sub> Ag <sub>0.20</sub> ) <sub>1.00</sub>	880
14		87.95	12.02	—	—	99.97	Au <sub>0.80</sub> Ag <sub>0.20</sub> ) <sub>1.00</sub>	880
15	AM-14-2-1	87.59	12.08	0.18	—	99.85	(Au <sub>0.79</sub> Ag <sub>0.20</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	877
16		86.16	13.69	0.19	—	100.03	(Au <sub>0.77</sub> Ag <sub>0.22</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	861
17		85.76	14.13	0.10	—	99.99	(Au <sub>0.77</sub> Ag <sub>0.23</sub> ) <sub>1.00</sub>	858
18		85.58	14.15	0.21	—	99.93	(Au <sub>0.76</sub> Ag <sub>0.23</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	856
19	АЛ-32	84.23	15.80	0.03	—	100.06	(Au <sub>0.75</sub> Ag <sub>0.25</sub> ) <sub>1.00</sub>	842
20	AM-14-2-1	83.81	15.54	0.29	—	99.63	(Au <sub>0.74</sub> Ag <sub>0.25</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	841
21		83.68	16.24	0.11	—	100.03	(Au <sub>0.74</sub> Ag <sub>0.26</sub> ) <sub>1.00</sub>	837
22		83.44	16.25	0.12	—	99.81	(Au <sub>0.74</sub> Ag <sub>0.26</sub> ) <sub>1.00</sub>	836
23	АЛ-32	83.12	16.67	0.02	0.04	99.85	(Au <sub>0.73</sub> Ag <sub>0.27</sub> ) <sub>1.00</sub>	832
24	AM-14-2-2	82.83	16.96	0.25	—	100.04	(Au <sub>0.72</sub> Ag <sub>0.27</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub>	828
25	АЛР-РУ	82.34	17.61	0.03	—	99.98	(Au <sub>0.72</sub> Ag <sub>0.28</sub> ) <sub>1.00</sub>	824
26		80.71	19.17	0.10	—	99.98	(Au <sub>0.70</sub> Ag <sub>0.30</sub> ) <sub>1.00</sub>	807
27		80.25	19.67	—	—	99.92	(Au <sub>0.69</sub> Ag <sub>0.31</sub> ) <sub>1.00</sub>	803
28		79.94	19.82	0.12	—	99.88	(Au <sub>0.69</sub> Ag <sub>0.31</sub> ) <sub>1.00</sub>	800
29		79.75	20.21	—	—	99.96	(Au <sub>0.68</sub> Ag <sub>0.32</sub> ) <sub>1.00</sub>	798
30		77.36	22.54	0.04	—	99.94	(Au <sub>0.65</sub> Ag <sub>0.35</sub> ) <sub>1.00</sub>	774
31		76.54	23.27	0.07	—	99.88	(Au <sub>0.64</sub> Ag <sub>0.36</sub> ) <sub>1.00</sub>	766
32		73.02	26.94	0.01	—	99.97	(Au <sub>0.60</sub> Ag <sub>0.40</sub> ) <sub>1.00</sub>	730
33		68.42	31.61	0.04	—	100.07	(Au <sub>0.54</sub> Ag <sub>0.46</sub> ) <sub>1.00</sub>	684
34		67.24	32.71	0.05	—	100.02	(Au <sub>0.53</sub> Ag <sub>0.47</sub> ) <sub>1.00</sub>	672
35		61.55	38.45	—	—	100	(Au <sub>0.47</sub> Ag <sub>0.53</sub> ) <sub>1.00</sub>	615

Примечание. В данной таблице показаны представительные анализы из кварцевых жил № 27, 32 и 33. Для 1–18, 20–22 состав минералов определялся на микроскопе РЭММА 202МВ, 19, 23 – на микрозонде JXA 8100, CAMEBAX-Micro. 25–35 – на микроскопе MIRA LM.

преобладают фракции 0.25–0.1 (15–27%) и < 0.1 мм (66–79%), в меньшей степени – 0.5–0.25 мм (6%) и 1–0.5 мм (0.6%), 2–1 мм – (0.1%). Соотношение веса: зерна с размерами 0.25–0.1 мм (36–44%); 0.5–0.25 мм (25–42%), < 0.1 мм (12–21%), 2–1 (11%), 1–0.5 мм (8%).

Состав золота меняется от весьма высокопробного до электрума. Последний очень редок, выявлен в жиле № 4 и 27. Золотины слабо зональные с тенденцией к увеличению содержания Ag к периферии зерен на 3–7 мас. %. Содержание Ag в электруме – до 38.45 мас. %, Te в золоте – до 0.4 мас. %, Cu – до 0.69 мас. % (табл. 1, 2).

По химическому составу золотины образуют следующий ряд в мас. %:

1) весьма высокопробное: Au – 94.95–96.44, Ag – 3.36–4.91, Cu – 0.00–0.17, Te – 0.00–0.02.

2) высокопробное: Au – 90.06–94.50, Ag – 4.61–9.57, Cu – 0.00–0.64, Te – 0.00–0.03.

3) среднепробное: Au – 79.94–89.65, Ag – 9.89–19.67, Cu – 0.00–0.69, Te – 0.00–0.04.

4) низкопробное: Au – 72.12–79.75, Ag – 20.21–27.69, Cu – 0.00–0.07.

5) электрум: Au – 61.55–69.71, Ag – 29.80–38.45, Cu – 0.00–0.46.

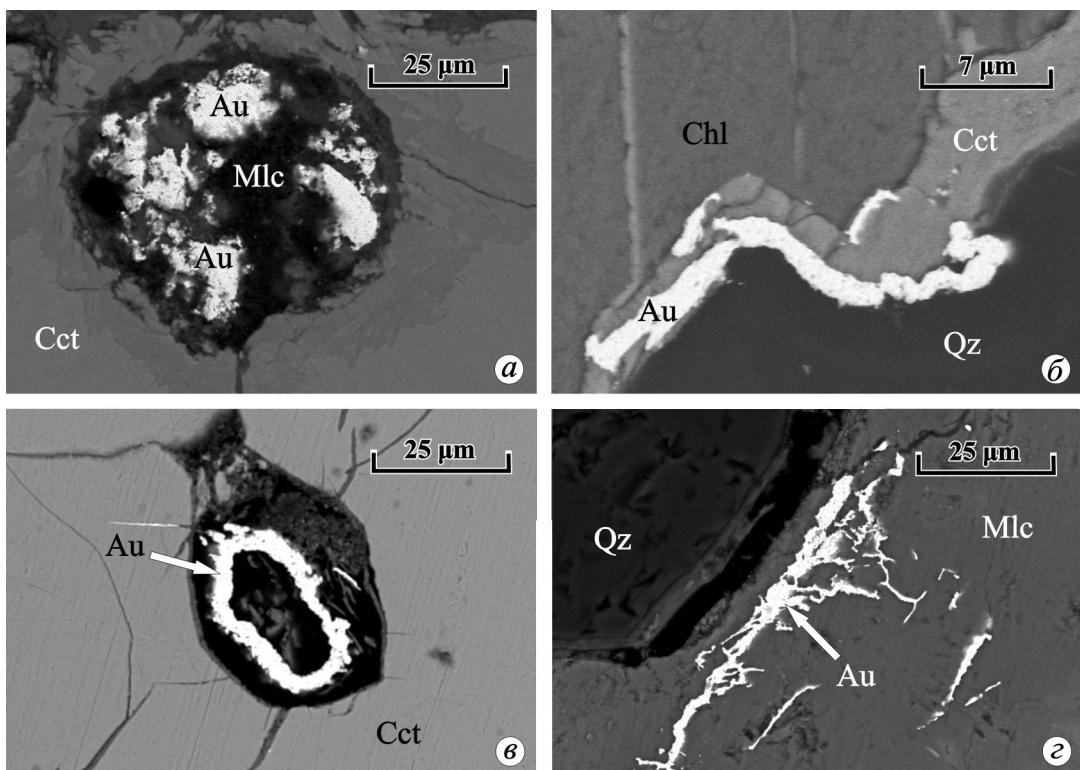
### Минералы Au и Ag золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии

Золото присутствует в кварце, халькозине, гессите, петците и малахите (рис. 6). Морфология его зерен весьма разнообразна, преобладают трещинно- прожилковые, цементационные и комковидно-ветвистые выделения размером до

**Таблица 3.** Состав золота золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии (мас. %)

№ п/п	№ образца	Элементы				Сумма	Кристаллохимическая формула	Пробность
		Au	Ag	Cu	Te			
1	АЛ-30-2	90.10	9.52	0.09	—	99.67	$(Au_{0.84}Ag_{0.16})_{1.00}$	904
2		89.12	9.89	0.02	—	99.03	$(Au_{0.83}Ag_{0.17})_{1.00}$	900
3		87.48	12.64	0.10	0.01	100.23	$(Au_{0.79}Ag_{0.23})_{1.00}$	873
4		86.47	13.01	0.12	—	99.60	$(Au_{0.78}Ag_{0.22})_{1.00}$	868
5		86.27	13.63	—	—	99.90	$(Au_{0.78}Ag_{0.22})_{1.00}$	864
6		85.97	13.86	0.09	0.02	99.94	$(Au_{0.77}Ag_{0.23})_{1.00}$	860
7		85.39	13.82	0.50	—	99.71	$(Au_{0.76}Ag_{0.23}Cu_{0.01})_{1.00}$	856
8		81.45	18.54	—	—	99.99	$(Au_{0.71}Ag_{0.29})_{1.00}$	815
9		80.94	19.04	—	—	99.96	$(Au_{0.70}Ag_{0.30})_{1.00}$	810
10		78.13	21.75	—	—	99.88	$(Au_{0.66}Ag_{0.34})_{1.00}$	782
11		74.50	25.47	—	—	99.99	$(Au_{0.62}Ag_{0.39})_{1.00}$	745
12		72.56	27.44	—	—	100	$(Au_{0.59}Ag_{0.41})_{1.00}$	725

Примечание. В данной таблице показаны представительные анализы 12 золотин из кварцевых жил №11 и 30. Состав минералов определялся: 1–8, 11–12 – на микрозонде JXA 8100, SAMEBAX-Micro; 9–10 – на электронном микроскопе MIRA LM.



**Рис. 6.** Формы выделения золота (Au) золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии в ассоциации с халькозином (Cct), малахитом (Mlc), хлоритом (Chl) и кварцем (Qz).

100 мкм. Состав золота варьирует от высокопробного до низкопробного: содержание Ag достигает 27.44 мас. %, Cu – 0.12 и Te – 0.02 мас. % (табл. 3). Содержание Au от центра к краю золотин закономерно уменьшается на 2–5 мас. %, при этом содержание Ag увеличивается. По химическому составу золотины данной стадии образуют следующий ряд (в мас. %):

1) высокопробное: Au – 89.12–90.10, Ag – 9.52–9.85, Te – 0.00–0.01.

2) среднепробное: Au – 80.94–89.36, Ag – 9.96–19.04, Cu – 0.00–0.10, Te – 0.00–0.02.

3) низкопробное: Au – 72.56–78.13, Ag – 21.75–27.44.

Петцит и гессит представлены в основном мелкими включениями (1–50 мкм) в халькозине, реже в борните и кварце. Морфология выделений петцита, гессита в аншлифах самая разная, чаще всего они представлены комковидными выделениями (рис. 7 и 8). В некоторых выделениях отмечает-

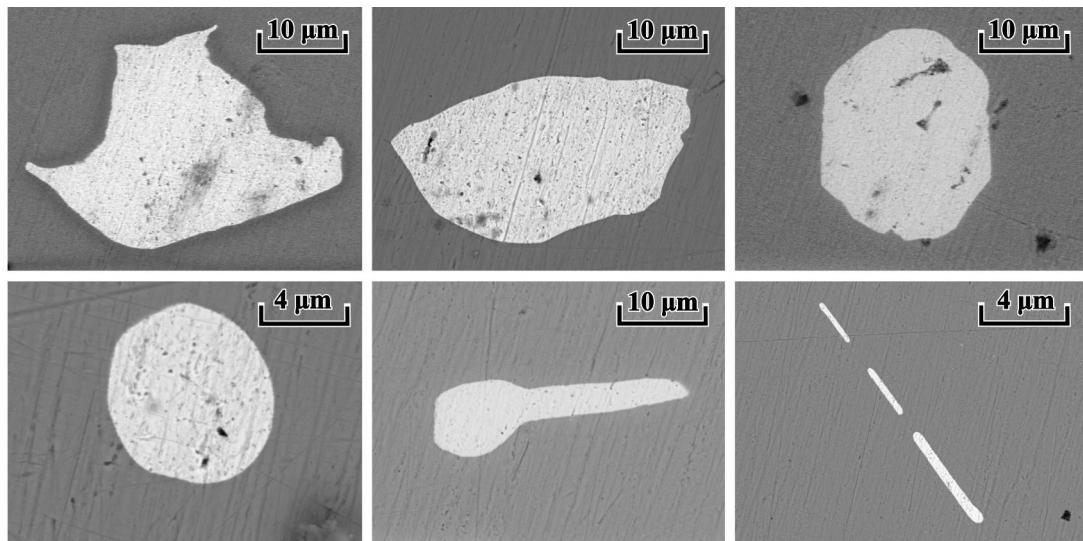


Рис. 7. Формы выделения гессита в халькозине в жиле № 30.

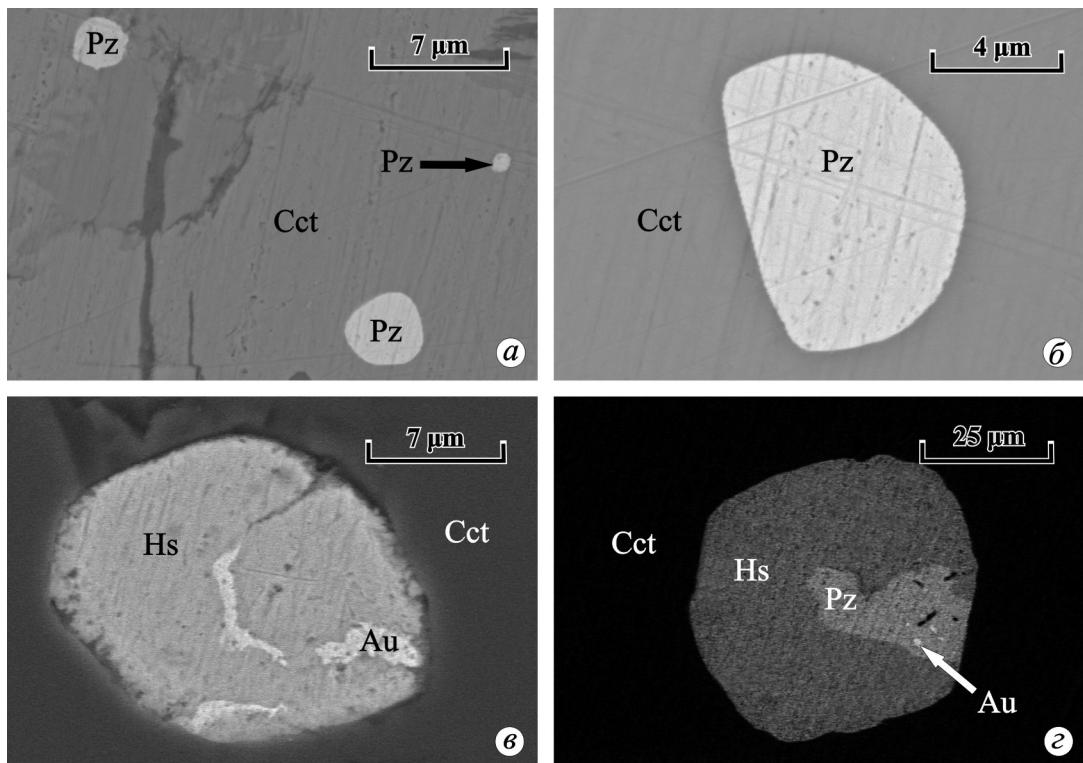


Рис. 8. Формы выделения петцита (Pz), гессита (Hs) и золота (Au), матрица – халькозин (Cct).

*a–б* – обр. АЛ-30-1, жила № 30; *в–г* – обр. АЛ-11-11, жила № 11.

ся распад твердого раствора  $(\text{Ag}, \text{Au})_2\text{Te}_2$  на гессит, петцит и высокопробное золото. Выделения последнего отмечаются в петците в виде небольших вкрапленников (рис. 8 $\gamma$ ; табл. 3, ан. 1–2). В гессите также отмечаются выделения высокопробного золота (рис. 8 $\nu$ ,  $\gamma$ ). Гессит иногда образует каймытолщиной до 4 мкм в кавацулите и Se-содержащем

волынските (рис. 9). Состав гессита не отклоняется от стехиометрии (табл. 4, ан. 7–8). Для гессита в срастании с кавацулитом характерна примесь Pb (от 1.75 до 5.41 мас. %), Se (3.06 мас. %) (табл. 4, ан. 9–12). Возможно, некоторые выделения представлены в виде тонких срастаний гессита с клаустолитом (табл. 4, ан. 12).

**Таблица 4.** Химические составы петцита и гессита (мас. %)

№ п/п	№ образца	Элементы					Сумма	Кристаллохимическая формула
		Au	Ag	Pb	Te	Se		
1	АЛ-11-1	25.21	41.56	—	32.69	—	99.46	$\text{Ag}_{3.00}\text{Au}_{1.00}\text{Te}_{2.00}$
2	АЛ-30-1	25.10	41.55	—	33.15	—	99.80	$\text{Ag}_{2.99}\text{Au}_{0.99}\text{Te}_{2.02}$
3		—	62.80	—	37.08	—	99.88	$\text{Ag}_{2.00}\text{Te}_{1.00}$
4		—	62.38	—	36.86	—	99.24	$\text{Ag}_{2.00}\text{Te}_{1.00}$
5	АЛ-11-1	—	62.35	—	37.63	—	99.98	$\text{Ag}_{1.99}\text{Te}_{1.01}$
6		—	62.08	—	37.34	—	99.42	$\text{Ag}_{1.99}\text{Te}_{1.01}$
7	АЛ-30-1	—	63.03	—	37.12	—	100.15	$\text{Ag}_{2.00}\text{Te}_{1.00}$
8		—	63.30	—	37.45	—	100.75	$\text{Ag}_{2.00}\text{Te}_{1.00}$
9		—	61.85	—	37.37	—	99.22	$\text{Ag}_{1.99}\text{Te}_{1.01}$
10		—	60.72	1.80	36.93	—	99.15	$(\text{Ag}_{1.96}\text{Pb}_{0.03})_{1.99}\text{Te}_{1.01}$
11		—	60.65	1.75	36.95	—	99.35	$(\text{Ag}_{1.96}\text{Pb}_{0.02})_{1.98}\text{Te}_{1.02}$
12		—	56.68	5.41	34.09	3.06	99.24	$(\text{Ag}_{1.84}\text{Pb}_{0.09})_{1.93}(\text{Te}_{1.01}\text{Se}_{0.14})_{1.07}$

Примечание. Состав минералов определялся на электронном микроскопе MIRA LM. 1–2 – составы петцита, 3–6 – составы гессита в халькозине, 7–8 – составы гессита в срастании с Se-содержащим волынскитом, 9–12 – составы гессита в срастании кавацулитом. Формула петцита рассчитана на 6 атомов, гессита – на 3 атома формуле.

**Таблица 5.** Химический состав кавацулита и Se-содержащего волынскита и виттихенита (мас. %)

№ п/п	№ образца	Элементы					Сумма	Кристаллохимическая формула
		Bi	Te	Ag	Cu	Se		
1	АЛ-11-1	54.22	36.01	—	—	8.98	—	99.21 $\text{Bi}_{1.98}\text{Te}_{2.15}\text{Se}_{0.87}$
2		55.37	36.50	—	—	7.79	—	$\text{Bi}_{2.04}\text{Te}_{2.20}\text{Se}_{0.76}$
3	АЛ-30-1	55.48	35.61	—	—	8.78	—	$\text{Bi}_{2.02}\text{Te}_{2.13}\text{Se}_{0.85}$
4		55.26	35.55	—	—	8.28	—	$\text{Bi}_{2.04}\text{Te}_{2.15}\text{Se}_{0.81}$
5		55.17	35.56	—	—	8.74	—	$\text{Bi}_{2.02}\text{Te}_{2.13}\text{Se}_{0.85}$
6		39.23	30.58	19.76	—	9.59	—	$\text{Ag}_{1.00}\text{Bi}_{1.03}\text{Te}_{1.31}\text{Se}_{0.66}$
7		39.17	29.48	20.37	—	10.45	—	$\text{Ag}_{1.02}\text{Bi}_{1.01}\text{Te}_{1.25}\text{Se}_{0.72}$
8		39.93	—	—	40.09	—	19.70	$\text{Cu}_{3.07}\text{Bi}_{0.93}\text{S}_{3.00}$
9		40.89	—	—	39.27	—	19.38	$\text{Cu}_{3.05}\text{Bi}_{0.97}\text{S}_{2.98}$
10		31.93	4.15	7.89	39.98	—	16.39	$\text{Cu}_{3.15}\text{Bi}_{0.76}\text{Ag}_{0.37}\text{S}_{2.56}\text{Te}_{0.16}$
12		29.94	4.27	8.74	40.43	1.01	15.50	$\text{Cu}_{3.20}\text{Bi}_{0.72}\text{Ag}_{0.41}\text{S}_{2.43}\text{Te}_{0.17}\text{Se}_{0.07}$

Примечание. Состав минералов определялся на электронном микроскопе MIRA LM. 1–5 – кавацулит, 6–7 – Se-содержащий волынскит, 8–9 – виттихенит, 10–12 – Se-, Te-, Ag-содержащий виттихенит. Формула кавацулита рассчитана на 5 атомов, Se-содержащего волынскита – на 4 атома, виттихенита – на 7 атомов в формуле.

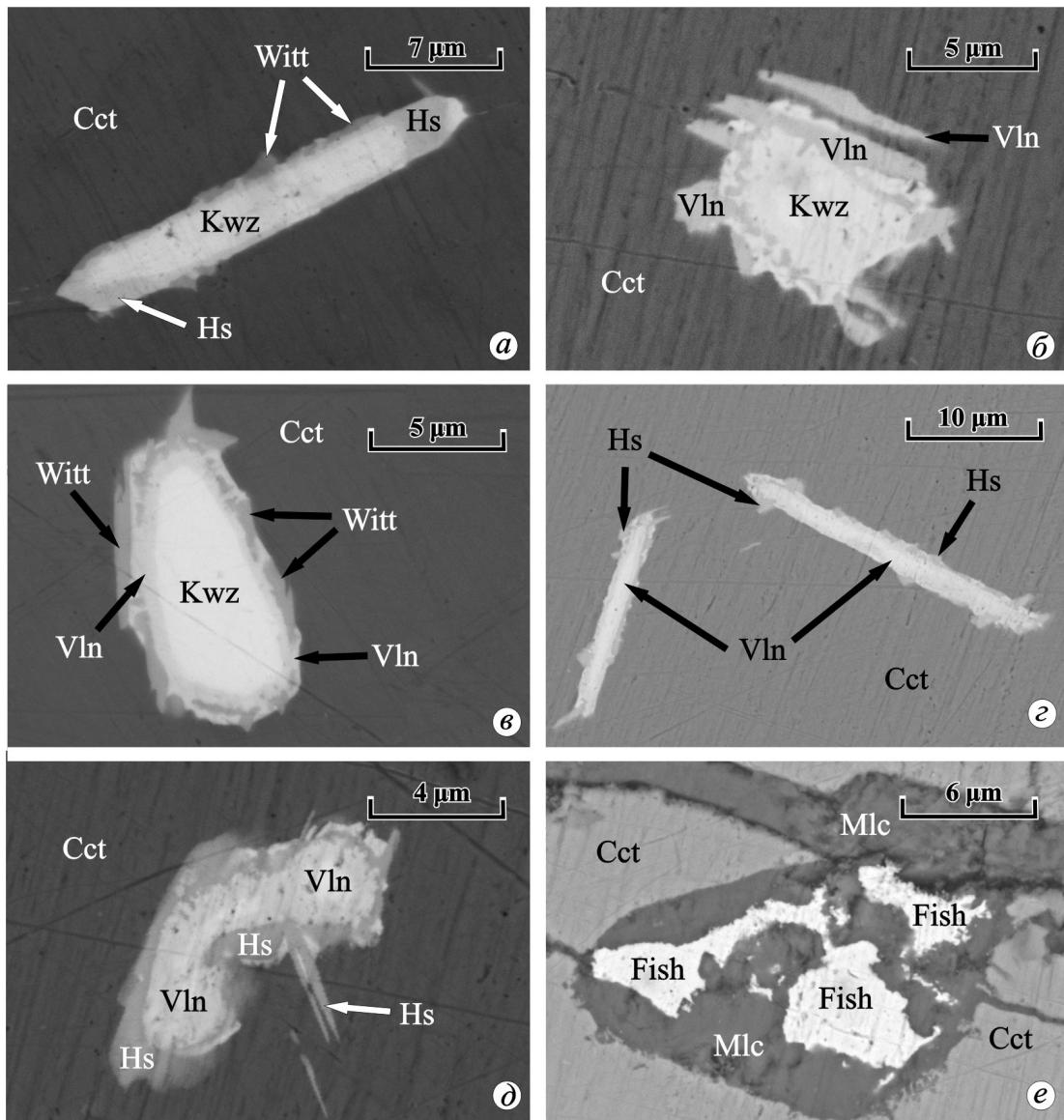
Фишессерит, кавацулит, Se-содержащий волынскит и виттихенит встречаются более ограниченно, чем теллуриды Au и Ag. Их включения (размером до 40 мкм) и тонкие срастания встречаются только в халькозине (рис. 9). Довольно часто наблюдаются выделения кавацулита и Se-содержащего волынскита, имеющие преимущественно вытянутые формы длиной 10–40 мкм. Часто наблюдаются срастания кавацулита с гесситом, реже – с Se-содержащим волынским и виттихенитом. Для Se-содержащего волынскита характерна примесь Se (до 10.45 мас. %), (табл. 5, ан. 6–7). Se-содержащий волынскит, как и виттихенит, образует каймы (шириной до 2 мкм) вокруг кавацулита (рис. 9в). Для виттихенита характерна примесь Ag (до 8.74 мас. %), Te (до 4.27 мас. %), Se (до 1.01 мас. %) (табл. 5, ан. 8–12), формы выделения весьма разнообразны. Выделения фишессерита в виде неправильных зерен до 20 мкм встре-

чаются в халькозине (рис. 9е). Минерал содержит небольшую примесь Pb (до 0.98 мас. %) и Te (до 0.62 мас. %), (табл. 6).

## ОБСУЖДЕНИЕ

### Особенности состава золота

В рудах количественно преобладает высокопробное и среднепробное золото (рис. 10). Состав золота в золото-турмалин-кварцевых жилах, развитых на двух стратиграфических уровнях (в конгломератах и алевролитах), близок (табл. 1, 2). Средняя пробность золота основной золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии составляет 885‰, с разбросом значений пробности от 967 до 615‰. Средняя пробность золота золото-теллуридно-сульфидной стадии составляет 851‰ при вариациях от 904 до 725‰ (рис. 11). Наименьший разброс пробности золота



**Рис. 9.** Формы выделения кавацулита (Kwz), гессита (Hs), Se-содержащего волынскита (Vln), виттихенита (Witt) и фишессерита (Fish) в халькоzinе (Cct) и замещающем его малахите (Mlc) в жиле №30.

**Таблица 6.** Химический состав фишессерита (мас. %)

№ п/п	№ образца	Элементы					Сумма	Кристаллохимическая формула
		Au	Ag	Pb	Te	Se		
1	АЛ-30-2	27.39	48.86	—	—	23.27	99.52	$\text{Au}_{0.94}\text{Ag}_{3.06}\text{Se}_{2.00}$
2		25.42	51.36	—	—	23.08	100.06	$\text{Au}_{0.86}\text{Ag}_{3.19}\text{Se}_{1.95}$
3	АЛ-30-1	27.95	48.70	—	—	23.07	99.72	$\text{Au}_{0.96}\text{Ag}_{3.06}\text{Se}_{1.98}$
4		25.56	50.44	—	—	23.72	99.72	$\text{Au}_{0.87}\text{Ag}_{3.13}\text{Se}_{2.01}$
5		26.00	51.42	—	—	23.04	100.46	$\text{Au}_{0.88}\text{Ag}_{3.18}\text{Se}_{1.94}$
6		26.49	50.19	—	—	23.26	99.94	$\text{Au}_{0.90}\text{Ag}_{3.12}\text{Se}_{1.98}$
7		27.14	49.63	—	—	23.01	99.78	$\text{Au}_{0.93}\text{Ag}_{3.10}\text{Se}_{1.97}$
8		26.12	49.16	0.70	0.32	23.36	99.66	$(\text{Au}_{0.89}\text{Pb}_{0.03})_{0.91}\text{Ag}_{3.07}(\text{Se}_{1.99}\text{Te}_{0.02})_{2.01}$
9		26.74	48.60	0.98	0.62	22.57	99.51	$(\text{Au}_{0.92}\text{Pb}_{0.03})_{0.95}\text{Ag}_{3.07}(\text{Se}_{1.95}\text{Te}_{0.03})_{1.97}$

Примечание. Состав минерала определялся на электронном микроскопе MIRA LM. Формула минерала рассчитана на 6 атомов в формуле.

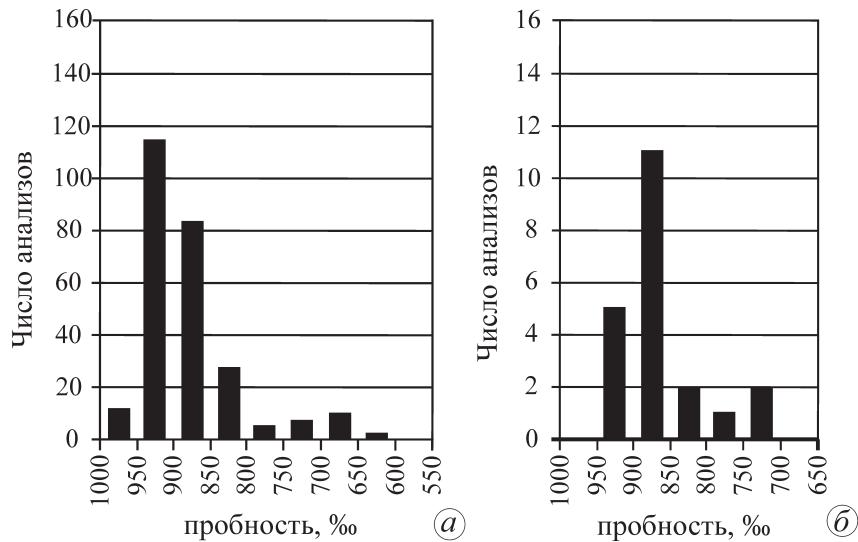


Рис. 10. Частота встречаемости пробностей золота первой (а), второй (б) рудных стадий Улуг-Саирского месторождения.

второй стадии, видимо, связан с наличием теллуридной минерализации, т.к. степень родства Bi и Ag к теллурю больше, чем к Au. Данное предположение подтверждается широким распространением гессита в ассоциации с высокопробным золотом.

Петцит и гессит характерны для золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии, все остальные селениды, сelenотеллуриды являются редкими минералами. Развитие фишессерита, кавацутита, гессита с содержанием Se до 3.06 мас. %, волынскита с содержанием Se до 10 мас. %, виттихенита с содержанием Se до 1.01 мас. % является аномальным для золото-кварцевых месторождений. Выше-перечисленные селениды и Se-содержащие минералы являются характерными минералами (Au)-Супорфировых, эптермальных (вулканогенно-гидротермальных) золото-серебряных (Дукат, Озерное, Кызылалмасай) и золото-теллуридных месторождений вулкано-плутонических комплексов (Кочбулак, Крипл Крик) [4, 12, 13, 20, 23].

### Условия и глубина минералообразования

Условия образования золото-сульфидно-турмалин-кварцевых жил оценены по температурам гомогенизации газово-жидких включений [1, 2]. По концентрациям солей и температурам гомогенизации выделяются 2 группы жил: 1) с концентрациями солей в растворе 4–9.5 мас. % NaCl-экв. и температурами гомогенизации газово-жидких включений в кварце 110–250°C и 2) с соленостью 4.4–10 мас. % NaCl-экв. и температурами гомогенизации газово-жидких включений в кварце 200–360°C. Формирование жил данной стадии в обоих случаях произошло из растворов сложного солевого состава, от-

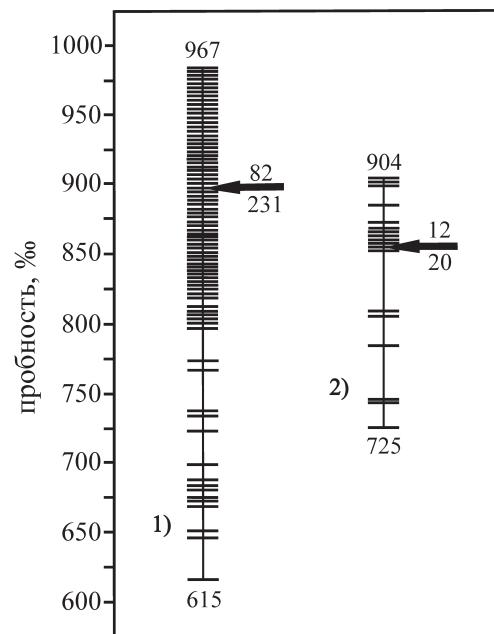


Рис. 11. Вариации пробностей самородного золота Улуг-Саирского месторождения.

1 – золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии;  
2 – золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии.  
Стрелкой показана средняя пробность золота, в числителе – количество проанализированных золотин, в знаменателе – количество анализов.

мечаются системы  $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ . Первая группа характерна для жил, залегающих в алевролитах верхней толщи, а вторая – для жил, располагающихся в конгломератах нижней толщи.

По данным [3], температуры гомогенизации газо-жидких включений кварца кварцевых жил Улуг-Саирского месторождения происходило при температурах 250–370°C, с концентрациями солей в растворе 4–10 мас. % NaCl-экв и при давлении 0.9–1 кбар.

Золото золото-сульфидно-турмалин-кварцевой стадии отлагалось при восстановительном потенциале рудоносных растворов, при  $\log f(S_2) = 10^{-7} - 10^{-12}$  (при 300°C) и  $10^{-12} - 10^{-18}$  (при 200°C) [24, 25]. Отсутствие теллуридов (петцита, гессита) указывает на низкую активность Te и предполагает  $\log f(Te_2) = 10^{-20}$  (при 200°C) [7, 24, 25].

Отложение минеральных ассоциаций золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии происходило при снижении окислительного потенциала рудоносных растворов, об этом говорит наличие Си-теннантита, каймы которого сложены Фентантитом. По данным [30], при высокой  $f(O_2)$  (повышении окислительного потенциала) возникают цинкистые и высокомедистые блеклые руды вместо железистых. Температурный интервал формирования золото-теллуридной минерализации судя по диаграмме стабильности Au-Ag-Te минералов ассоциации петцит-гессит-самородное золото соответствует 145–292°C, при значениях  $f(Se_2) = 10^{-18} - 10^{-10}$  [5]. Соответственно, именно этот температурный интервал отвечает второй продуктивной стадии. Наличие фишессерита и борнита в данной ассоциации предполагает  $\log f(Se_2) = 10^{-17} - 10^{-14}$  и  $\log f(S_2) = 10^{-9} - 10^{-12}$  (при 180–270°C) [7, 24, 25]. Отсутствие примеси S в фишессерите предполагает колебание  $f(S_2)$ . Обрастание кавацуита Se-содержащим волынским, а последнего – виттихенитом, указывает на снижение  $f(Se_2)$  в процессе кристаллизации данной минеральной ассоциации.

Формирование руд Улуг-Саирского месторождения на уровне эрозиного среза происходило в гипабиссальной фации глубинности при 0.9–1.0 кбар (2.7–3.0 км), при температурах 370–145°C. Район месторождения в период рудообразования перекрывался вулканитами раннего девона и отложениями саглинской свиты ( $D_{2sg}$ ) (рис. 2). Изученные рудные жилы являются верхними уровнями месторождения, соответственно, рудные тела ниже могли формироваться на глубинах мезоабиссальной фации (более 3 км).

### Возраст оруденения

Золото-турмалин-кварцевая минерализация наложена на дайки риолитов II фазы баянкольского комплекса ( $D_2$ ) [22]. Возраст кварцевой жилы № 2 золото-сульфидно-кварцевой стадии, определенный авторами Ar-Ar методом по серициту, дал относительно устойчивое плато с рассчитанным значением  $T = 371.5 \pm 2.6$  млн. лет. Возраст даек габбро Ar-Ar методом по роговой обманке дал устойчивое плато с рассчитанным значением  $T = 376.5 \pm 3.4$  млн. лет,

что соответствует позднему девону [19]. Во время указанного периода завершилось формирование девонских отложений. По данным [18] девонская эпоха рифтогенного магматизма, охватывает временной интервал 420–360 млн. лет.

Проблема генезиса золото-теллуридной минерализации остается дискуссионной. Неясно пока, связана ли она с основным золоторудным процессом или оторвана во времени. О такой возможности свидетельствуют селенидная, селено-теллуридная минерализация, которая характеризуется признаками, свойственными золото-теллуридным месторождениям вулкано-плутонических комплексов. Ряд исследователей [12, 13, 27, 28, 31 и др.] месторождения данного типа относят к золото-теллуридному A-типу (alcaline-Au-Te type), связанному с вулкано-плутоническими комплексами. Данные комплексы вмещают вулканогенные и вулканогенно-плутоногенные месторождения золота. Типовыми объектами золото-теллуридного типа вулкано-плутонических поясов и районов являются месторождения Крипл-Крик, Калгури, Кочбулак и др. Установлено, что формирование руд месторождений золото-теллуридного типа может происходить и при более высоких температурах и давлениях [26]. Их характерной особенностью является тесная пространственная связь со щелочным магmatизмом, и часто важную роль среди минералов занимают теллуриды Au, Ag и Bi [4, 12, 13]. В АМЗУ известны интрузивные массивы (Западно-Эдегейский, Восточно-Эдегейский, Хорумдагский) эдегейского габбро-монцодиорит-сиеногранитового комплекса ( $D_3-C_1ed$ ) [11]. Возраст монцодиорита II фазы Западно-Эдегейского массива, определенный Ar-Ar методом, составляет  $358 \pm 2.4$  млн. лет, что соответствует  $D_3-C_1$ . Возможно, золото-теллуридная минерализация Улуг-Саирского месторождения связана с данным комплексом.

### Перспективы оруденения

На объектах АМЗУ буровые работы не проводились, и они не получили достоверной оценки ни в отношении коренной, ни в отношении россыпной золотоносности. Выявленные к настоящему времени золотосодержащие кварцевые жилы в поле ордовикских и силурийских отложений следует рассматривать как надрудные образования, т.к. наличие электрума в рудах – хороший показатель продолжения оруденения на значительную глубину. Наиболее продуктивный уровень предполагается на контакте базальных конгломеров ордовика с лиственитами на глубине 200–400 м.

### ВЫВОДЫ

1. Улуг-Саирское золото-турмалин-кварцевое месторождение относится к полистадийным объек-

там золото-кварцевой малосульфидной формации. Формирование руд происходило в условиях гипабиссальной фации глубинности (0.9–1.0 кбар, 2.7–3.0 км), при температурах 370–145°C. По составу продуктивных ассоциаций данный объект отвечает золото-сульфидному типу с теллуридами (Au и Ag), редкими селенотеллуридами (Ag и Bi) и фишессеритом.

2. В рудах месторождения развиты специфические минералы (электрум, петцит, гессит, Pb-содержащий гессит, Pb-, Se-содержащий гессит, фишессерит, Te, Se, Hg-содержащий теннантит, кавацулит, Se-содержащий волынскит, виттихенит, Se-содержащий виттихенит, Pb-, Te-содержащий фишессерит), для теннантита характерна примесь Te – до 1.58 мас. %, Bi – до 0.20 мас. % и Se – 0.62 мас. %. Часть вышеперечисленных минералов характерна для Au-Cu-порфировых и золото-теллуридных месторождений вулкано-плутонических комплексов.

3. Отложение минералов Au и Ag происходило в течение двух стадий минералообразования: золото-сульфидно-кварцевой и золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой. Более продуктивной является первая золото-сульфидно-кварцевая стадия.

4. Золоторудная минерализация часто находится в ассоциации с турмалиновой минерализацией. Во многих случаях наблюдаются сростки золота с игольчатым турмалином, что указывает на их синхронность.

Авторы благодарны А.А. Монгушу, И.Ю. Мелекесцевой за консультации и помощь в проведении исследований, Л.И. Петровой, Е.К. Дружковой, Л.К. Горшковой, В.А. Котлярову и Н.С. Карманову и Е.Г. Дацкевичу за помощь в минералогических и аналитических исследованиях.

*Работа выполнена при поддержке Гранта Председателя Правительства Республики Тыва для молодых ученых, Президиума СО РАН (№ 98) и РФФИ № 13-05-98035-р\_сибирь\_a.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анкушева Н. Н., Зайков В. В. Физико-химические условия формирования золото-кварцевых жил Улуг-Саирского месторождения (Западная Тува) // Металлогенез древних и современных океанов-2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 127–135.
2. Анкушева Н.Н., Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В., Котляров В.А. Физико-химические параметры флюидов Улуг-Саирского золото-турмалин-кварцевого месторождения (Западная Тува) // Уральская минералогическая школа-2012. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 21–23.
3. 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.
4. Борисенко А.С., Наумов Е.А., Айриянц А.А. и др. Роль мантийных флюидов в формировании эпигермальных месторождений (по данным изотопии гелия) // Матер. XVII симпоз. о геохимии изотопов. М.: ГЕОХИ, 2004. С. 220–223.
5. Бортников Н.С., Крамер Х., Генкин А.Д. Парагенезисы теллуридов золота и серебра в золоторудном месторождении Флоренсия (Республика Куба) // Геология рудных месторождений. 1988. № 2. С. 49–61.
6. Васильев Б.Д., Дружков В.П., Красиков А.И., Боярко Г.Ю. Золотое оруденение в зоне Хемчикско-Куртушибинского разлома // Рудные формации и месторождения Сибири. Томск: ТГУ, 1978. С. 91–95.
7. Ечмаева Е. А. Экспериментальное определение стандартных термодинамических свойств минералов и фазовых отношений в системах Ag–Au–X, где X = S, Se, Te // Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М.: ГЕОХИ, 2009. 25 с.
8. Зайков В.В., Куликов С.С., Онуфриева (Зайкова) Е.В. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Хемчик–Ак-Суг. Кызыл. Геолфонды. 1966. 340 с.
9. Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А., Монгуш А.А., Күжүгет Р.В. Алдан-Маадырская золоторудная зона на западном фланге Саяно-Тувинского разлома // Металлогенез древних и современных океанов-2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 123–127.
10. Зайкова Е. В., Зайков В. В. О золотом оруденении в Западной Туве, связанном с девонским магматизмом // Материалы по геологии Тувинской АССР. Кызыл: Тув. кн. изд-во, 1969. С. 72–76.
11. Ковалев П.Ф. Обоснование возраста, расчленение и корреляция девонских гранитоидных комплексов Тулы с целью подготовки опорной легенды для Госгеокарты-50: Отчет Тематической партии по работам 1990–1993 гг. Кызыл. Геолфонды. 1993. 229 с.
12. Коваленкер В.А. Минералого-геохимические закономерности формирования эпигермальных руд золота и серебра. Дис. ... док. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 1995. 102 с.
13. Коваленкер В.А. Рудообразующие системы эпигермальных золото-серебряных месторождений: концепции, реальность, модели // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 160–183.
14. Кононенко Н.Б. Ревизионные поисковые работы на рудное золото в пределах наиболее перспективных рудных узлов Республики Тыва: Отчет о результатах работ ОАО “КрасноярскгеоЛСЕМКА”. Красноярск. Геолфонды. 2012. 252 с.
15. Красиков А.И. Стадийность золотого оруденения Западной Тувы // Рудные формации и месторождения Сибири. Томск: ТГУ, 1978. С. 96–100.
16. Күжүгет Р.В. Особенности минералообразования золото-кварцевых рудопроявлений Алдан-Маадырского золоторудного узла (Западная Тува) // Состояние и освоение природных ресурсов Тулы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология

- природной среды и общества: Вып. 11 / Отв. ред. В.И. Лебедев. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2012. С. 44–64.
17. Кужугет Р.В., Монгуш А.А. Алдан-Маадырский золоторудный узел (Западная Тува): особенности геолого-структурного строения и химического состава золота // Вестн. ТГУ. 2013. № 369. С. 188–192.
  18. Лебедев В.И., Ярмолюк В.В., Сугоракова А.М., Ой-дун Ч.К. Внутриплитный магматизм и металлогенез Тувы // Тектоника и металлогенез Центральной и Северо-Восточной Азии: мат-лы междунар. конф. Новосибирск. 2002. <http://www.econf.info/Tektonika-i-metallogenija-2002>.
  19. Монгуш А.А., Кужугет Р.В., Дружкова Е.К. Особенности состава магматических пород и Ar-Ar данные о возрасте базитовых даек Алдан-Маадырской золоторудной зоны (Западная Тува) // Металлогенез древних и современных океанов-2011. Рудоносность осадочно-вулканогенных и гипербазитовых комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. С. 262–268.
  20. Назымова 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 // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: мат-лы Всерос. конф. Т. 2. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 70–72.
  21. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 348 с.
  22. Рудные формации Тувы / Отв. ред. В.А. Кузнецова. Новосибирск: Наука, 1981. 201 с.
  23. Спиридонов Э.М., Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Назымова Г.Н., Ряховская С.К., Филимонов С.В. Особенности минеральных ассоциаций гидротермальных плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных,
  - вулканогенных и телетермальных месторождений золота // Золото северного обрамления Пацифика. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. С. 155–158.
  24. 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. 377–404.
  25. Barton P.B., Skinner B.J. Sulfide mineral stabilities // Geochemistry of hydrothermal ore deposits / H.L. Barnes (ed.) New York: John Wiley and Sons, 1979. P. 278–403.
  26. Berger B.R., Eimon P. Conceptual models of epithermal precious metal deposits // Cameron volume on Unconventional Mineral Deposits / W.C. Shanks ed., AIME Soc. Mining Ing. 1983. P. 191–205.
  27. Bonham H.F.Jr. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: a review // Int. Volcanol. Congress. Hamilton, New Zealand. Symp. 5. Proceedings, 1986. 17 p.
  28. Hedenquist J.W. The ascent of magmatic fluid: discharge versus mineralization // Magmas, fluid and ore deposits / J.F.H. Thompson, ed. Mineralogical Assoc. of Canada. Short course ser. 1995. V. 23. P. 263–289.
  29. Richards J.P. Alcalic-type epithermal gold deposits – a review // Magmas, fluid and ore deposits / F.H. Thompson, ed. Mineralogical Assoc. of Canada. Short course ser. 1995. V. 23. P. 367–400.
  30. Spiridonov E., Maleev M., Kovachev V., Kulikova I., Nazymova G., Filimonov S. Minerals of Fahlore group: Indicators of Ore Genesis // Bulgarian Geological Society, 80-th Anniversary. Proceedings of the Jubilee International Conference. Sofia: Bulgarian Geological Society, 2005. P. 79–82.
  31. White N.C., Hedenquist J.W. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. SEG Newsletters. 1995. № 23. P. 9–13.

Рецензент А.Ю. Кисин

## The Ulug-Sair gold-tourmaline-quartz deposit, Western Tuva

R. V. Kuzhuget\*, V. V. Zaykov\*\*, V. I. Lebedev\*

\*Tuvianian Institute for Exploration of Natural Resources Siberian Branch of RAS,

\*\*Institute of Mineralogy Urals Branch of RAS

The geological structure and mineralogical and geochemical features of the Ulug-Sair gold-quartz deposit is described in the paper. The features of native gold, tellurides, selenides, Bi and Ag selenotellurides mineralization and conditions of ore formation are characterized. It is shown that the deposit belongs to polystaged objects of gold-quartz formation. Ore formation at the level of erosional truncation occurred in the hypabyssal depth facies of 0.9–1.0 kbar (2.7–3.0 km), at temperatures of 370–145°C. The deposition of Au and Ag minerals occurred during two stages of mineralization: gold-sulfide-tourmaline-quartz and gold-telluride-sulfide-quartz. The first stage is more productive. The following minerals are characteristic for the gold-telluride-sulfide-quartz stage: petzite [AuAg<sub>3</sub>Te<sub>2</sub>], hessite [Ag<sub>2</sub>Te], fischesserite [AuAg<sub>3</sub>Se], kawazulite [Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>Se], Se-bearing volynskite [AgBi (Te,Se)<sub>2</sub>], etc. It is found that the average fineness of the gold of the Ulug-Sair deposit is 893‰, with variations from 967 to 615‰.

Key words: gold, petzite, hessite, fischesserite, kawazulite, Se-volynskite, wittichenite, tourmaline, gold-quartz deposit, Tuva.