

*На правах рукописи*



**КУЖУГЕТ РЕНАТ ВАСИЛЬЕВИЧ**

**ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ  
АЛДАН-МААДЫРСКОГО РУДНОГО УЗЛА  
(Западная Тува): МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ РУД И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.11 – ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА  
ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

**АВТОРЕФЕРАТ**

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Новосибирск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Тувинском институте комплексного освоения природных ресурсов  
Сибирского отделения РАН (г. Кызыл)

**Научный руководитель:**

**Лебедев Владимир Ильич**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, директор ФГБУН Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

**Официальные оппоненты:**

**Горячев Николай Анатольевич**, член-корреспондент РАН, профессор, доктор геолого-минералогических наук, директор ФГБУН Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН (г. Магадан);

**Мельцер Михаил Леонидович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор Новосибирского филиала НОУ ВПО Санкт-Петербургского университета управления и экономики (г. Новосибирск)

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск)

Защита состоится «3» декабря 2014 г. в 10:00 часов на заседании Диссертационного совета Д 003.067.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, в конференц-зале по адресу: г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, д. 3

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью организации, просим направлять по адресу:

630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, д. 3,

Туркиной О.М.

факс: (383)3332130; e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
(адрес сайта <http://www.igm.nsc.ru>, раздел «Образование»)

Автореферат разослан «20» октября 2014 г.

Учёный секретарь  
Диссертационного совета  
докт. геол.-мин. наук

О.М. Туркина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Расшифровка генезиса и условий образования золоторудных месторождений является одним из фундаментальных направлений современной геологической науки. Без описательной и генетической минералогии невозможно, в частности, воспроизведение реальных условий образования месторождений золотых руд, и, в свою очередь, является научной основой для их поисков, разведки и рациональной отработки.

В Туве одним из перспективных рудных узлов на коренное золото является Алдан-Маадырский золоторудный узел (АМЗУ). Основные данные по геологии и, особенно, минералогии АМЗУ были получены к середине 1970-х гг. Эти материалы 40-летней давности нуждаются в уточнении, дополнении и переосмыслении. В частности, имеет большое значение выяснение геологических и минералогических условий формирования и закономерностей размещения золоторудной минерализации для выявления новых потенциальных перспективных площадей и месторождений и переоценки уже известных в пределах рудного узла.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ** — выявление минералого-геохимических особенностей руд и условий их образования, прогноз золотоносности АМЗУ.

### **ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:**

1. Обзор, анализ и обобщение литературных данных о золоторудных объектах Алдан-Маадырского золоторудного узла.
2. Изучение геологического строения и закономерностей пространственного размещения золотого оруденения.
3. Изучение минерального состава и последовательности формирования минеральных ассоциаций первичных и окисленных руд Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений и рудопроявлений.
4. Установление типоморфных особенностей самородного золота Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений.
5. Оценка физико-химических параметров минералоотложения руд с золоторудной минерализацией исследуемых объектов.
6. Оценка перспектив золотоносности месторождений и рудопроявлений АМЗУ.

**ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Фактический материал для диссертации собран в результате полевых работ на рудных объектах АМЗУ в 2008–2014 гг. Основной объём геолого-минералогических исследований выполнен на Хаак-Саирском и Улуг-Саирском месторождениях, для которых изучено >700 образцов руд и пород, 250 аншлифов. Из протолочных и шлиховых проб выделено более 30-ти тыс. знаков золота. Выполнено 250 микронзондовых анализов, >5 тыс. определений химического состава минералов на сканирующих электронных микроскопах с энергодисперсионными приставками, в т. ч. 432 определения состава золота; 4 определения абсолютного возраста Ag / Ag методом. Физико-химические условия формирования золото-кварцевых жил изучались термобарогеохимическими методами, а также с помощью геотермометров, геофугометров и по минеральным парагенезисам. Перспективы золотоносности оценивались по геологическим данным и типоморфным особенностям самородного золота.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** Впервые изучена минералогия руд месторождений АМЗУ с использованием современного аналитического оборудования и методов. Детально охарактеризованы формы нахождения, минералого-геохимические особенности и физико-химические параметры отложения золоторудной минерализации. Установлено, что изученные объекты АМЗУ являются полистадийными объектами золото-теллуридного типа, ассоциирующими с вулcano-плутоническими комплексами. Выявлена и описана золото-ртутная, золото-селенидно-теллуридная (с селенидами Au-Ag, Ag, Hg, Pb, теллуридами Ag и Hg), иодидная, бромидная, хлоридная минерализация на Хаак-Саирском месторождении и золото-теллуридная (с селенидами и селенотеллуридами Ag и Bi) на Улуг-Саирском. Золото-теллуридный тип АМЗУ является новым для Тувы и Алтае-Саянской складчатой области. На Хаак-Саирском месторождении выявлено >30-ти, а на Улуг-Саирском — >12-ти ранее не описанных здесь минералов, а также несколько минеральных разновидностей. Установлено, что минеральный состав руд месторождений в значительной мере обусловлен фацией глубинности и составом рудовмещающих толщ. В работе приведён значительный объём новых данных о редких минералах — селенидах, селенотеллуридах, иодидах, а также I-содержащих разновидностях в ряду хлораргирит – бромаргирит. Все перечисленные данные автором получены впервые.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.** Полученные результаты и установленные закономерности размещения золотого оруденения будут полезны при постановке поисково-оценочных работ на изученных месторождениях и позволяют с новых позиций подойти к прогнозу промышленных объектов не только в пределах АМЗУ, но и в других известных золотоносных районах Тувы.

**АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ.** Результаты исследования представлялись на Международных и Всероссийских научных конференциях, таких как: «Large Igneous Provinces of Asia», Новосибирск, 2009; «V Сибирская конференция молодых учёных по наукам о Земле», Новосибирск, 2010; «Large igneous provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny», Иркутск, 2011; «Уральская минералогическая школа–2012», Екатеринбург, 2012; «Металлогения древних и современных океанов», Миасс, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013.

**ПУБЛИКАЦИИ.** По теме диссертации опубликовано 19 работ, в т. ч. 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

**СТРУКТУРА И ОБЪЁМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения и списка литературы из 278 наименований, изложена на 152-х страницах, включая 69 рисунков и 22 таблицы.

Во *введении* определены цели и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения. *Первая глава* включает общие сведения по геологии и металлогении АМЗУ. Во *второй главе* показано положение Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений в региональных структурах. В *третьей* охарактеризованы минеральные ассоциации руд и последовательность минералообразования. *Четвёртая* посвящена изучению типоморфных особенностей самородного золота, *пятая* — физико-химических параметров рудообразования, *шестая* — формационной принадлежности изученных объектов. В *заключении* приведены основные результаты и выводы.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Глубокою благодарностью я выражаю научному руководителю докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедеву за всестороннюю помощь при подготовке диссертации; своим учителям — докт. геол.-мин. наук В.В. Зайкову, проф. МГУ, докт. геол.-мин. наук Э.М. Спиридонову, канд. геол.-мин. наук А.А. Монгушу; коллегам — Е.К. Дружковой, А.М. Сугораковой, И.Ю. Мелекесцевой, Н.Н. Анкушевой, Л.И. Петровой, Л.К. Горшковой, Ч.К. Ойдуп, С.Г. Прудникову, Д.П. Горбунову, В.А. Котлярову, Н.С. Карманову, А.В. Травину, С.В. Палесскому, В.И. Забелину, Л.В. Агафонову, Ф.П. Леснову, Н.Б. Кононенко — за помощь в исследованиях и обсуждении результатов; а также докт. геол.-мин. наук А.С. Борисенко за ценные замечания и предложения.

Исследования проводились в рамках тематики НИР ТуВИКОПР СО РАН при финансовой поддержке гранта Председателя Правительства Республики Тыва для молодых учёных (2008–2009 гг.), грантов РФФИ (№№№ 10–05–10023–к, 11–05–10018–к, 11–05–00187–а, 13–05–98035–р\_сибирь\_а) и интеграционных проектов СО РАН (№№№ 23–2, 37).

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АМЗУ

Алдан-Маадырский золоторудный узел расположен на левобережье р. Хемчик в области развития V–Є метатерригенных комплексов Западного Саяна, V–Є<sub>1</sub> океанических офиолитов фундамента Хемчикско-Куртушибинской преддуговой зоны, O–S молласы Хемчикско-Сыстыгхемского коллизионного прогиба и D комплексов Тувинского рифтогенного прогиба. АМЗУ вытянут с запада на восток на 60 км при ширине 15 км. Рудные объекты сосредоточены в субширотной полосе размерами 45 × (5–7) км. Размещение золотого оруденения в пределах узла определяется, главным образом, структурно-тектоническим и магматическим факторами и контролируется разломами, оперяющими 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. Ядра линейных антиклиналей и горстантиклиналей сложены офиолитами меланж-олистостромовой ассоциации V–Є<sub>1</sub> (известняками и интенсивно лиственитизированными серпентинитами, высокотитанистыми базальтами, габброидами, песчаниками), а крылья — ордовикскими конгломератами, алевролитами и песчаниками (Рудные..., 1981; Кужугет, 2013).

Однотипная ориентировка главных складчатых и разрывных структур обусловила линейный характер распределения магматических пород и золоторудных объектов, благоприятствовала формированию нескольких узких линейных зон березитизированных и лиственитизированных пород, насыщенных золото-кварцевыми жилами (*прил. 1*). С уменьшением глубины эрозионного среза состав рудовмещающих пород меняется от лиственитов по венд-нижнекембрийским породам через ордовикские конгломераты и алевролиты, до березитов по ордовикским песчаникам и алевролитам и силурийским сланцам. Рудоносны кварцевые, сульфидно-кварцевые и карбонатно-кварцевые жилы и жильные зоны в конгломератах, алевролитах и лиственитах, а также листвениты и березиты с вкрапленной золотой минерализацией.

В пределах АМЗУ выделяются золото-кварцевые месторождения и ряд рудопроявлений Au. Наиболее крупными из них являются Улуг-Саирское месторождение в конгломератах и Хаак-Саирское — в лиственитах (см. прил. 1). Хаак-Саирское месторождение представлено 5-ю участками развития золото-кварцевых жил на площади  $2 \times 8$  км среди лиственитов, офиолитов (V–C<sub>1</sub>) и конгломератов, алевролитов и песчаников (O). Большую часть его площади занимают мусковит-парагонит-кварц-карбонатные (зелёные) и типичные кварц-карбонатные (серые) листвениты по офиолитам. Оруденение локализовано в жилах халцедоновидного и тонкозернистого кварца, приуроченных к центральным частям линейных тел лиственитов. Рудные тела Улуг-Саирского месторождения развиты на площади  $1 \times 4$  км. Золоторудная минерализация здесь чаще всего наложена на кварц-турмалиновые метасоматиты. Золотоносны кварцевые жилы и кварцево-жилы зоны, локализованные в конгломератах и алевролитах, реже в сланцах. Содержание сульфидов в рудах обоих месторождений не превышает 5%. Прогнозные ресурсы Au на Хаак-Саирском месторождении (по: Кононенко и др., 2012) категории P<sub>2</sub> оцениваются в 18 т до глубины 200 м при среднем содержании Au 2 г/т; Улуг-Саирского месторождения вместе с Арысканским рудопроявлением — в 20 т. Прогнозные ресурсы категории P<sub>3</sub> по АМЗУ в целом оцениваются в 80 т Au.

## ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АМЗУ

Существует множество классификаций месторождений Au, основанных на разных критериях и подходах к их систематике, таких как генезис, связь с магматизмом, характер рудовмещающих толщ, структурно-морфологические типы рудных тел, возможные источники Au, фации глубинности, температура образования, минеральный состав руд, ассоциация рудогенных элементов и т. д. (Lindgren, 1933; Schneiderhohn, 1941; Билибин, 1959; Фогельман, Бородаевская, 1967; Гамянин, 1971; Петровская, 1973, 1976; Ивенсен, Левин, 1975; Ramdohr, 1982; Смирнов, 1982; Некрасов, 1991; Спиридонов, 1995, 2010; Коваленкер, 1995, 2006; Сафонов, 1997; Мельцер, 1997, 1999, 2011; Горячев, 1998, 2003, 2012; Константинов и др., 2000; Борисенко и др., 2004; Сидоров и др., 2011 и др.).

Золоторудные месторождения АМЗУ характеризуются весьма своеобразным минеральным составом руд и полихронностью их образования, что выражается в последовательном формировании различных типов золотой минерализации. Хаак-Саирскому и Улуг-Саирскому месторождениям присущи некоторые черты вулканогенно-гидротермальных золоторудных объектов. По минералого-геохимическим критериям типизации месторождений их можно отнести к золото-теллуридному (Au-Ag-Te) типу, связанному с вулcano-плутоническими магматическими комплексами. Типовыми объектами золото-теллуридного типа вулcano-плутонических поясов и районов являются месторождения Крипл Крик, Калгурли, Кочбулак и др. (Константинов, 1984; Коваленкер, 1995, 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 —  $500 \div 1000$ , чаще  $60 \div 100$ . Формирование руд месторождений золото-теллуридного типа может происходить не только в эпитеpmальных, но и в мезотермальных усло-

виях при давлениях  $> 1,5$  кбар (Berger, Eimon, 1983). Ряд исследователей (Hedenquist, 1995; Richards, 1995; Коваленкер, 1995; 2004 и др.) месторождения этого типа относят к А-типу (alkaline-Au-Te type) в классе эпитермальных месторождений, связанных с вулканоплутоническими комплексами. В качестве примера приводятся месторождения Агинское, Крипл Крик, Калгурли и Кочбулак. А.А. Сидоров и А.В. Волков (2004) эти объекты относят к золото-серебро-теллуриднему минеральному типу.

В одних систематиках месторождения золото-теллуридного (минерального) типа относятся только к вулканогенным рудным формациям (Тимофеевский, 1971; Щербаков, 1977), в других — к вулканогенным и плутоногенным (Рожков, 1968), в третьих — к тем и другим, а также к вулканогенно-плутоногенным (Котляр, 1962; Константинов, 1984; Спиридонов, 1995, 2010; Коваленкер, 2004).

## ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

**1. Хаак-Саирское и Улуг-Саирское месторождения — полистадийные объекты золото-теллуридного типа, сформированные при последовательном отложении различных типов золотой минерализации. По составу продуктивных ассоциаций Хаак-Саирское месторождение отвечает золото-галенит-сульфоантимонитовому типу с серебристыми блёклыми рудами, минералами ряда Au–Ag–Hg, селенидами Au–Ag, Ag, Hg, теллуридами Ag, Hg, Улуг-Саирское — золото-сульфидному типу с теллуридами и селенидами Au и Ag и селенотеллуридами Ag и Bi.**

Месторождения Хаак-Саир и Улуг-Саир АМЗУ являются производными единой сложной флюидно-гидротермальной рудообразующей системы золото-теллуридного (Au–Ag–Te) типа с латеральной и вертикальной минеральной зональностью. Формирование рудных тел происходило в течение ряда этапов (*прил. 2 а–б*). На 1-м этапе возникла кварц-турмалиновая формация с фторапатитом и W-содержащим рутилом. Высокотемпературная кварц-турмалиновая формация (кварц-турмалиновые метасоматиты и кварц-турмалиновые жилы) генетически связана с малыми интрузиями гранодиорит- и тоналит-порфиров I фазы баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>), что установлено в рудном поле Хаак-Саирского месторождения (Рудные..., 1981). На 2-м этапе сформировались метасоматиты березит-лиственитовой формации и сопряжённые с ней кварц-пиритовые жилы с шеелитом. Завершился этап внедрением предзолоторудных даек микродиоритов и диорит-порфиров III фазы баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>). **На 3-м, продуктивном** этапе последовательно отлагались различные типы золотой минерализации. На 4-м, постпродуктивном этапе образовались турмалин-кварцевые, карбонат-кварцевые и хлорит-гематит-кварцевые прожилки, секущие все более ранние минеральные парагенезисы.

По опубликованным данным (Васильев и др., 1977; Рудные..., 1981) и собственным наблюдениям на Хаак-Саирском месторождении установлены три продуктивные стадии (**жирным** в описании выделены стадии, минеральные ассоциации и минералы, описанные впервые):

1) золото-сульфосольно-сульфидно-кварцевая (с ней связано ~65 % Au месторождения) представлена кварцем, Fe-тетраэдритом, Fe-геннантит-тетраэдритом,

галенитом, халькопиритом, **Ag-тетраэдритом, Zn-тетраэдритом, аргентотетраэдритом, аргентотеннантит-тетраэдритом, Fe-теннантитом, борнитом, золотом, электрумом, Cu-содержащим золотом, арсенопиритом, герсдорфитом, Fe-Co-герсдорфитом, бурнонитом, сфалеритом, гесситом, акантитом, ялпанитом;**

- 2) **золото-ртутисто-кварцевая** (~30 % Au) — кварц, золото, **ртутистый электрум, ртутистый кюстелит, Hg-содержащее золото, ртутистое золото, Au-содержащее ртутистое серебро;**
- 3) **золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевая** (~5 % Au) — кварц, борнит, **герсдорфит, Zn-тетраэдрит, Fe-содержащим тетраэдритом, Семитерит, Se-киноварь, неограниченные твёрдые растворы минералов ряда галенит – клаусталит, тиманнит, науманнит, S-науманнит, Te-, Hg-содержащие разновидности науманнита, фишессерит, золото, ртутистое золото, ртутистый электрум, колорадоит, гессит и т. д.**

В коре выветривания развиты халькозин, ковеллин, малахит, азурит, гематит, гётит, гидрогётит, **штрмейерит, англезит, церуссит, линарит, ромеит, гидроромеит, трипугнит, триппкеит, конихальцит, брошантит, скородит, акантит, серебро, золото, атакамит, иодиды, хлориды, бромиды и т. д.**

На Улуг-Саирском месторождении выявлены три продуктивные стадии:

- 1) **золото-сульфидно-кварцевая** (~70 % Au на месторождении) — кварц, халькопирит, пирит, золото, **электрум, галенит;**
- 2) **золото-пирит-халькопирит-кварцевая** (~20 % Au) — кварц, пирит, халькопирит, золото, **электрум;**
- 3) **золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая** (~15 % Au) — кварц, хлорит, мусковит, халькопирит, **Fe-теннантит, Cu-теннантит, Te-, Se-, Hg-содержащий теннантит, золото, галенит, Se-содержащий галенит, петцит, гессит, Pb-, Se-содержащий гессит, фишессерит, Pb-, Te-содержащий фишессерит, кавацилит, Se-волынскит, виттихенит и борнит.**

В коре выветривания развиты малахит, азурит, гётит, ковеллин, халькозин, **бисмит, куприт, самородная медь, англезит, церуссит и др.**

Исследованные месторождения характеризуются: 1) малосульфидным типом оруденения; 2) значительными вариациями Ag : Au — от 0,12 до 67 для Хаак-Саира и от 0,10 до 19, реже до 60 для Улуг-Саира; 3) развитием теллуридов, селенидов, селенотеллуридов; 4) устойчивостью геохимических характеристик от ранних продуктивных стадий к поздним, вне зависимости от различий в минеральном составе; 5) положительной корреляцией в рудах Au с Cu, Sb, As, Ag, Pb, В, Ва, Мо, Те, Вi, Сd и W; 6) наличием сложно-зональных золотин; 7) широкими вариациями пробности самородного Au — от 19 до 957‰ в хааксаирских рудах и от 615 до 967‰ в улугсаирских; 8) примесями в блёклых рудах: Те (до 0,57 мас.%) и Вi (до 1,55 мас.%) на Хаак-Саире; Те (до 1,58 мас.%) и Se (до 0,62 мас.%) на Улуг-Саире; 9) резко выраженной осцилляционной зональностью для некоторых кристаллов блёклых руд Хаак-Саирского месторождения.

По опубликованным данным (Спиридонов, 1987; Spiridonov et al., 2005; Плотинская и др., 2005; Филимонов, 2009), минералы группы блёклых руд с осцилляцион-



ной зональностью характерны для вулканогенных и вулканогенно-плутоногенных месторождений Au. Содержание Bi в блёклых рудах плутоногенных месторождений Au составляет не менее 0,4 мас. %, Te — < 0,12 мас. % (Филимонов, 2009). Колорадоит [HgTe] также является типоморфным минералом вулканогенных гидротермальных золоторудных и золотосодержащих месторождений (Бадалов и др., 1984; Спиридонов и др., 2002 и др.).

В гидротермальных месторождениях Au АМЗУ проявлена латеральная зональность по составу рудовмещающей среды: породы кремнекислого и среднего состава замещены березитами, а породы базитового и гипербазитового — лиственитами. Руды среди лиственитов богаты минералами Cu (в т. ч. блёклыми рудами), а также Cr-, Ni-, Co-содержащими минералами. Здесь также чётко проявлена и минеральная зональность по фациям глубинности формирования руд. Для Хаак-Саирского месторождения гипабиссальной фации глубинности (P ~ 0,5 кбар) характерны минералы систем Au–Ag (486–957‰) и Au–Ag–Hg (19–912‰, Hg — до 22 мас. %), селениды (HgSe, PbSe, Ag<sub>2</sub>Se и Ag<sub>3</sub>AuSe<sub>2</sub>), теллуриды (HgTe, Ag<sub>2</sub>Te), блёклые руды богатые Ag (до 50 мас. %). Для Улуг-Саирского гип-мезоабиссального (P ~ 0,9–1,0 кбар) месторождения — минералы ряда Au–Ag (615–967‰), теллуриды Au–Ag, Ag, селенотеллуриды Ag, Bi и Te-, Se-содержащие минералы. С зональностью по фациям глубинности коррелируют особенности самородного Au.

Минеральные и геохимические особенности хааксаирских руд гипабиссальной фации глубинности (~ 1,5 км), возможно, могут свидетельствовать о том, что они являются аналогом эродированной верхней части Улуг-Саирского месторождения гип-мезоабиссальной фации (~ 2,7–3,0 км). По данным некоторых исследователей (Спиридонов, Бадалов, 1983–1991; Коваленкер и др., 2003), на верхних горизонтах месторождения Кайрагач в Узбекистане с Au–Sn–Bi–Se–Te геохимическим профилем широко развиты селениды, Te-содержащие блёклые 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; Наумов, 2007). По мнению некоторых исследователей (Спиридонов, 1995; Назьмова и др., 2010), это обусловлено тем, что, с ростом глубинности формирования Au-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).

Таким образом, изученные месторождения АМЗУ являются полистадийными объектами золото-теллуридного типа, поздние продуктивные стадии которых представлены золото-теллуридными ассоциациями. Различия их минерального состава обусловлены глубиной формирования и особенностями рудовмещающей среды.

## **2. Типоморфные признаки самородного золота изученных месторождений (состав, размерность и морфология, зональность, характер распределения, минеральные парагенезисы) отражают генетические особенности эндогенной и гипергенной золоторудной минерализации.**

**Хаак-Саирское месторождение.** Золоторудная минерализация золото-сульфосольно-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; 2) сростков с халькопиритом, Fe-теннантитом, Fe-теннантит-тетраэдритом, Fe-тетраэдритом и Ag-тетраэдритом; 3) в Fe-тетраэдрите и Fe-теннантит-тетраэдрите.

По содержанию Ag и Cu выделяется несколько групп минералов Au (мас. %):

- 1) *весьма высокопробное Au* (Au — 94,64–95,64; Ag — 4,27–4,97);
- 2) *высокопробное Au* (Au — 89,20–94,74; Ag — 4,63–9,64; Cu — 0,00–0,37);
- 3) *серебристое Au* (Au — 74,64–89,82; Ag — 9,81–24,83; Cu — 0,00–0,65);
- 4) *Cu-содержащее Au* (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 Au ассоциирует только с арсенопиритом и Fe-теннантитом, которые по отношению к другим рудным минералам (халькопириту, серебристым блёклым рудам, гесситу) являются более ранними. Для золотин характерна зональность с закономерным увеличением содержания Ag от центра зерна к периферии (*прил. 3*). Содержание Hg ниже пределов обнаружения; Cu — в целом не > 1 мас. % но в единичных золотилах в кварце отмечаются каёмки с примесью Cu до 2,44–3,93 мас. %.

**Теллуридная** минерализация представлена гесситом. Выделения гессита до 5 мкм встречаются в Fe-тетраэдрите.

**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 удлинённых выделений неправильной формы; 2) прожилков в кристаллах блёклых руд; 3) наростов на высокопробном Au первой продуктивной стадии.

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

- 1) *высокопробное Au* (Au — 90,24–94,76; Ag — 3,39–9,70; Hg — 0,00–0,42; Cu — 0,00–0,78);
- 2) *Hg-содержащее Au* (Au — 76,98–89,26; Ag — 9,35–21,19; Hg — 0,05–1,78; Cu — 0,00–0,59);
- 3) *ртутистое Au* (Au — 69,91–83,08; Ag — 8,64–24,13; Hg — 5,36–10,60; Cu — 0,00–0,85);
- 4) *ртутистый электрум* (Au — 31,24–66,93; Ag — 25,22–64,73; Hg — 3,61–11,83; Cu — 0,00–0,81);
- 5) *ртутистый кюстелит* (Ag — 56,26–72,76; Au — 11,81–29,15; Hg — 5,31–17,51; Cu — 0,00–0,58);
- 6) *Au-содержащее ртутистое Ag* (Ag — 73,12–75,91; Hg — 18,05–22,15; Au — 1,91–8,32; Cu — 0,00–0,28).

Для этой стадии также характерны зональные золотины различной морфологии, в которых содержание Au уменьшается от центра зёрен к периферии (с 90,28 до 24,86 мас. %) при увеличении содержания Ag с 9,7 до 56,26 мас. % и Hg от следов до 17,51 мас. % (*прил. 4, ан. 16\*–20\*, 21\*–25\**).

Встречаются и кубооктаэдрические зональные кристаллы, центр которых сложен высокопробным Au, промежуточные зоны — низкопробным Au, внешние — ртутистым электрумом, далее — ртутистым кюстелитом (*см. прил. 2, ан. 10\*–15\**;

прил. 5 б). Содержания Hg и Ag в минералах системы Au–Ag–Hg обнаруживают прямую корреляцию, а содержание Cu не превышает 0,85 мас. %.

**Золотородная минерализация золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии.** Золото, ртутистое золото, ртутистый электрум этой стадии встречаются в виде тонких вкраплений неправильной формы (до 0,1 мм) в кварце и минералах Cu в ассоциации с Se-галенитом (Se до 12 мас. %), Se-киноварью (Se от 10 до 15 мас. %), Se-имитеритом [Ag<sub>2</sub>Hg(S,Se)<sub>2</sub>] (Se до 7 мас. %), селенидами (клаусталитом [PbSe], тиманнитом [HgSe], науманнитом [Ag<sub>2</sub>Se], фишессеритом [Ag<sub>3</sub>AuSe<sub>2</sub>]) и теллуридами (гесситом [Ag<sub>2</sub>Te], колорадоитом [HgTe]). Последние редки и встречаются в виде неправильных зёрен 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 (прил. 6). Для селенидов характерна примесь S до 5,24 мас. %, Te до 0,95 мас. %, Hg до 3,69 мас. %; для теллуридов — S до 0,42 мас. %.

Для этой стадии тоже характерны зональные минералы системы Au–Ag–Hg, содержания Hg и Ag в которых обнаруживают прямую корреляцию. Выделяются следующие минералы ряда Au–Ag–Hg:

- 1) *высокопробное Au* (Au — 90,20–90,56; Ag — 9,68–9,75);
- 2) *ртутистое Au* (Au — 78,21–87,16; Ag — 11,94–19,15; Hg — 0,51–2,03);
- 3) *ртутистый электрум* (Au — 42,56–57,81; Ag — 36,11–50,17; Hg — 5,19–7,14).

Установлено, что средняя пробность самородного Au Хаак-Саирского месторождения для 160 золотин (249 анализов) составляет 690‰ при вариациях от 19 до 957‰. При этом средняя пробность золотин первой стадии — 874‰ при вариациях от 486 до 957‰, второй — 467‰ (19–911‰), третьей стадии — 718‰ (426–912‰); количественно преобладает высоко- и среднепробное золото и ртутистые разновидности электрума и кюстелита (прил. 7, 8).

Золотины с разных участков Хаак-Саирского месторождения близки по составу и характеризуются одинаковыми трендами эволюции. Тренд состава самородного Au: *золото-сульфосольно-сульфидно-кварцевой стадии* (прил. 9а): весьма высокопробное Au → серебристое Au → электрум + серебристые блёклые руды ± Ag<sub>2</sub>S ± гессит; *золото-ртутисто-кварцевой стадии* (см. прил. 9б, 1–3): высокопробное Au → ртутистое Au → ртутистый электрум → ртутистый кюстелит → Au-содержащее ртутистое Ag; *золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии* (см. прил. 9б, 4): высокопробное Au → ртутистое Au → ртутистый электрум + науманнит + фишессерит + тиманнит + гессит + колорадоит + Ag-содержащие минералы ряда галенит – клаусталит (Ag до 6 мас. %) ± Se-киноварь ± Se-имитерит.

Распределение золота по размерности зёрен: доля золотин фракции 1–0,5 мм — 0,2 %; 0,5–0,25 мм — 7,2 %; 0,25–0,1 мм — 58,8 %; <0,1 мм — 33,7%). По весу на фракцию 1–0,5 мм приходится 0,5 % золотин; 0,5–0,25 мм — 3,7 %; 0,25–0,1 мм — 71,8 %; <0,1 мм — 24 %.

Цвет хааксаирского золота варьируют от золотисто-жёлтого до серебристого с желтоватым оттенком. Форма выделений разнообразна: преобладают комковатые, угловатые и ячеистые золотины — ~ 47%; каплевидные, проволоковидные, уплощённые, лепёшковидные, губчатые и амёбообразные — ~ 35%; дендриты (объёмные и плоские) — ~ 10%; кристаллы (октаэдры, кубооктаэдры и их комбина-

ции и сростки) — редки (~7%). Поверхность золотин шагреневая, мелкоямчатая, зеркально гладкая и ямчато-бугорчатая.

Высоко- и среднепробное золото, в отличие от более серебристых и ртутистых разностей, часто встречается в виде крупных (до 1 мм) выделений, нередко с кристаллографическими очертаниями. Минералы Au–Ag–Hg ряда развиты в виде скопленений мелких зёрен от комковидной до удлинённой формы, нередко образуют пористые и губчатые зёрна и агрегаты (дающие в сечении ячеистую структуру — *прил. 10*).

В рудах *Улуг-Саирского месторождения* состав Au *первой стадии* эволюционирует от весьма высокопробного Au до электрума, *второй* — от высокопробного Au до электрума, *третьей стадии* — от высокопробного до низкопробного Au + гессит + петцит ± Se-вольынскит ± фишессерит ± теннатит (с Ag до 2 мас. %).

Золотины продуктивных стадий близки по составу и образуют следующий ряд (мас. %):

- 1) *весьма высокопробное Au* (Au — 94,95–96,44; Ag — 3,26–4,91; Cu — 0,00–0,17; Te — 0,00–0,02);
- 2) *высокопробное Au* (Au — 89,12–94,66; Ag — 4,61–9,57; Cu — до 0,64; Te — 0,00–0,03);
- 3) *среднепробное Au* (Au — 79,91–89,65; Ag — 9,89–19,67; Cu — 0,00–0,69; Te — 0,00–0,04);
- 4) *низкопробное Au* (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).

Золотины слабо зональны, содержание Ag увеличивается от центра зёрен к периферии (с 9,32 до 13,94 мас. %): центральная часть зерна содержит 89,88 мас. % Au и 9,32 Ag; 0,24 Cu; краевая часть — 85,43 Au; 13,94 Ag; 0,09 Cu. Содержание Te, наоборот, снижается (с 0,04 до 0,02 мас. %): центр зерна — 88,74 Au; 10,80 Ag; 0,02 Cu; 0,04 Te; краевая часть — 88,27 Au; 13,94 Ag; 0,02 Cu; 0,02 мас. % Te. В целом в рудах количественно преобладает высоко- и среднепробное золото, менее распространено низкопробное (*прил. 12*).

Весьма высокопробное Au характерно для жил первой продуктивной стадии, а электрум — для первой и второй стадий. Средняя пробность улугсаирского золота (94 золотин, 251 анализ) 893 ‰ при вариациях от 615 до 967 ‰. Средняя пробность Au главной (1-й продуктивной) стадии 892 ‰ (от 645 до 967 ‰), второй — 872 ‰ (615–945 ‰), третьей — 851 ‰ (725–904 ‰) (*см. прил. 7*). Золото первой стадии присутствует в виде мелких выделений в кварце, а также в сростании с халькопиритом, пиритом и реликтовым турмалином. Золото второй стадии образует сростания с пиритом, реже халькопиритом, либо обособлено от сульфидов. В минеральных агрегатах золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии ассоциирует с петцитом [Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub>], гесситом [Ag<sub>2</sub>Te], фишессеритом [Ag<sub>3</sub>AuSe<sub>2</sub>], кабацулитом [Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>Se], Se-вольынскитом [AgBi(TeSe)<sub>2</sub>], Ag-, Te- и Se-содержащими блёклыми рудами, а также встречается в кварце, халькозине, гессите, петците. Морфология золотин весьма разнообразна, но преобладают трещинно-прожилковые, комковидные, комковидно-ветвистые и кристаллические формы с плохо развитыми гранями. Поверхность золотин шагреневая, зеркально гладкая, часто ксеноморфная.

Размерность золотин по количеству зёрен различных фракций: 2–1 мм — 0,10 %; 1–0,5 мм — 0,6 %; 0,5–0,25 мм — 6 %; 0,25–0,1 мм — 27 %; <0,1 мм — 66,3 %; по весу золотин: фракции 2–1 мм — 11 %; 1–0,5 мм — 8 %; 0,5–0,25 мм — 25 %; 0,25–0,1 мм — 44 %; <0,1 мм — 12 %.

Петцит и гессит представлены мелкими (1–50 мкм) включениями в халькозине, реже в борните и кварце. Морфология выделений петцита и гессита разнообразна, но преобладают овальной формы, часто представленные сростаниями петцита и гессита (см. прил. 12). Гессит иногда образует каймы шириной до 3 мкм вокруг кавацулита и Se-волынскита (прил. 13). Фишессерит, кавацулит, Se-волынскит и витихенит распространены менее, чем петцит и гессит. Их включения (размером до 40 мкм) и тонкие сростания развиты только в халькозине (см. прил. 13). Se-волынскит (Se от 9,59 до 10,5 мас. %) часто, как и гессит, образует каймы (до 2 мкм) вокруг кавацулита (см. прил. 13 в). Для витихенита характерна примесь Ag до 8,7 мас. %, Te до 4,3, Se до 1; для фишессерита — Pb до 0,98, Te — до 0,62 мас. %; для галенита — Se до 0,64 мас. %. Петцит и гессит — характерные минералы золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии, а селенотеллуриды и селениды и Se-содержащие минералы на Улуг-Саире менее распространены, чем золото.

Наименьший разброс пробности самородного Au третьей стадии по сравнению с другими продуктивных стадиями (см. прил. 7) и отсутствие в ней электрума, видимо, связано с наличием теллуридной минерализацией. Очевидно, большая часть Ag связана с Te, т. к. степень химической активности Bi и Ag с Te выше, чем у Au.

В улугсаирских рудах развиты разнообразные теллуриды и селенотеллуриды, в то время как в рудах менее глубинного Хаак-Саирского месторождения развиты разнообразные селениды. Минералы ряда Au–Ag этих месторождений различаются по содержанию Hg. Для улугсаирского золота характерно отсутствие Hg и вариации состава от весьма высокопробного до электрума.

**Гипергенная минерализация Au и Ag исследованных месторождений.** Руды Улуг-Саирского месторождения менее окислены, и из гипергенных минералов Au и Ag здесь встречается только золото, развивающееся за счёт гипогенного Au и петцита при их гипергенном изменении в коре выветривания. Для этого золота характерна высокопробная каёмка. Нередко высокопробные гипергенные каймы образуются на гипогенных золотилах. Для некоторых выделений гипергенного Au характерна «рубашка» из гидроокислов Fe.

Разнообразие гипергенных минералов Au и Ag (прежде всего — Ag) в хааксаирских рудах обусловлено деструкцией блёклых руд, обогащённых серебром. Кроме гипергенных акантита и самородного серебра впервые выявлены иодаргирит AgI (гексагональный), минералы ряда маршит–майерсит (Cu, Ag)I (кубические), мошелит Hg<sub>2</sub>I<sub>2</sub> (тетрагональный), а также разновидности хлораргирита — Vg-содержащий, Vg-, I-содержащий, бромаргирита — I-содержащий, I-, Cl-содержащий и Cl-, I-содержащий. Эти минералы являются одними из самых поздних гипергенных минералов. Их скопления размером до 1 мм развиты в поздних трещинах, секущих гипергенные минералы, заместившие блёклые руды.

Из иодидов примесь Vg и Cl характерна только для Vg-содержащего (Vg до 1,29 мас. %) и Vg-, Cl-содержащего иодаргирита (Vg до 2; Cl до 0,54 мас. %). Содержание Cu в майерсите достигает 15,8 мас. % (Кужугет, 2014). Фактически, это твёрдые

растворы кубических иодидов прерывистого ряда маршит( $\text{Mar}$ )–майерсит( $\text{Mie}$ ). В минералах Рубцовского месторождения достоверно зафиксирован ряд составов от  $\text{Mar}_{100}\text{Mie}_{0,00}$  до  $\text{Mar}_{0,00}\text{Mie}_{100}$  с разрывом смесимости в интервалах ( $\text{Mar}_{32,5}\text{Mie}_{17,5}$ )–( $\text{Mar}_{0,57}\text{Mie}_{0,43}$ ) и ( $\text{Mar}_{0,29}\text{Mie}_{0,71}$ )–( $\text{Mar}_{0,18}\text{Mie}_{0,82}$ ) (Пеков и др., 2010). На Хаак-Саире встречаются близкие к крайним члены этого ряда с составами  $\text{Mar}_{0,00}\text{Mie}_{100}$  и  $\text{Mar}_{0,10}\text{Mie}_{0,90}$ , а также средние члены ряда —  $\text{Mar}_{0,38}\text{Mie}_{0,61}$  и  $\text{Mar}_{0,53}\text{Mie}_{0,45}$  (Кужугет, 2014).

I-содержащие минералы ряда хлораргирит–бромаргирит имеют кубическую структуру типа галита (Barclay and Jones, 1971). На Хаак-Саирском месторождении в минералах ряда  $\text{AgCl–AgBr}$  отмечаются I-содержащие минералы, а также безиодистый бромистый хлораргирит. Экспериментально установленные (Chateau, 1959 а, б) пределы смесимости твёрдых растворов  $\text{AgI}$  в ряду  $\text{AgCl–AgBr}$  весьма ограничены (прил. 14), что связано с тем, что иодиды  $\text{Ag}$  отличаются по структуре от его хлоридов и бромидов (Barclay and Jones, 1971). В Брокен-Хилле I-содержащие разновидности в ряду  $\text{AgCl–AgBr}$  встречаются очень редко, а содержание  $\text{AgI}$  в этом ряду ниже экспериментально найденных пределов замещения (Barclay and Jones, 1971, Gillard et al., 1997), что характерно и для естественных фаз Хаак-Саира (см. прил. 14). Содержание I в хааксаирском иодистом бромаргирите не превышает 7,9 мас.%, в Cl-, I-содержащем — 10,3 мас.%; в I-, Cl-содержащем — 14,7 мас.%; в Br-, I-содержащем хлораргирите — 2,8 мас.%. Ртуть в этих минералах не обнаружена. В целом в I-содержащих разновидностях ряда  $\text{AgCl–AgBr}$  месторождений Брокен-Хилл и Хаак-Саир проявлена положительная корреляция между I и Br. Но, в отличие от Брокен-Хилла, на Хаак-Саире не так редки Cl-, I-содержащие разновидности бромаргирита, в т. ч. богатые иодом (см. прил. 14). Наличие хлоридной и бромидной минерализации предполагает, что источником I здесь, вероятно, были эвапориты, в которых три этих галогена геохимически тесно связаны. Источником I, Cl и Br могли быть галогенные отложения раннедевонского эвапоритового Тувинского палеобассейна и ниже- и среднедевонские породы с галогенными отложениями Тувинского рифтогенного прогиба.

В коре выветривания хааксаирское золото развито в гипергенных минералах  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$  и  $\text{Pb}$ , иодаргирите, нередко образуя высокопробные каймы на гипогенных золотилах. Гипергенное золото здесь зачастую химически однородно и весьма высокопробно (992–1000‰) по всему объёму зёрен, без каких-либо каёмок и оторочек. Примесь  $\text{Ag}$  в таком золоте варьирует от 0,00 до 0,94 мас.%. Следовательно, хааксаирское золото в коре выветривания подверглось более интенсивному преобразованию, чем улугсаирское.

Минералого-геохимические особенности руд Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений свидетельствуют о том, что они являются производными единой сложной гидротермальной рудообразующей системы. Типоморфные признаки рудных минералов отражают особенности эндогенной и гипергенной эволюции золото-рудной минерализации. Значительные вариации состав золота АМЗУ свидетельствуют о длительности и полистадийном характере рудообразования.

**3. Руды Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений формировались при различных физико-химических параметрах. Минеральный состав руд в значительной мере обусловлен вариациями активности S, Hg, Se и Te, а**

**также фациями глубинности их образования и литолого-геохимическими особенностями рудовмещающих толщ.**

**Условия и глубина образования Хаак-Саурского месторождения.** Кристаллизация минеральных ассоциаций золото-сульфосольно-сульфидно-кварцевой стадии происходила из растворов состава  $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$  ( $\pm \text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) с солёностью 3,2–14,0 мас. % экв. NaCl. Температура гомогенизации флюидных включений в кварце составляют 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 Au этой стадии отлагалось при высокой<sup>1</sup> фугитивности (f) сульфидной S  $\log f(\text{S}_2) = 10^{-16} - 10^{-10}$  (при T=200°C). Рудоотложение шло с накоплением Ag, о чём свидетельствуют эволюция состава самородного Au (золото → электрум) и блёклых руд (Феттенантит → аргентотетраэдрит) и появление акантита. Экспериментально установлено (Пальянова и др., 2012), что осаждение  $\text{Ag}_2\text{S}$  происходит при отношений Ag: 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  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$  с солёностью 4–9 мас. % экв. NaCl. Температура гомогенизации флюидных включений в кварце 180–120°C. С учётом температурной поправки в 40°C поправки на P = ~0,5 кбар, минимальные температуры минералообразования в эту стадию составляли 220–160°C, а самородное Au отлагалось при очень низкой активности S, Te и Se. Этим объясняется отсутствие сульфидов, селенидов, теллуридов и наличие минералов ряда Au–Ag–Hg с Hg до 22 мас. %.

Формирование минеральных ассоциаций золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии происходило при пониженной активности сульфидной S и повышенной активности Se и Te, что способствовало фиксации Au, Ag и Hg не только в металлической форме (в виде минералов системы Au–Ag–Hg), но и в виде селенидов ( $\text{HgSe}$ ,  $\text{Ag}_2\text{Se}$  и  $\text{Ag}_3\text{AuSe}_2$ ), теллуридов ( $\text{HgTe}$  и  $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) и, реже, — виде Se-киновари и Se-имитерита.

Наличие ртутистого золота, ртутистого электрума во второй и третьей продуктивных стадиях позволяет предположить близкие температуры (220–160°C) их формирования. Температурный интервал стабильности ( $\beta$ )  $\text{Ag}_2\text{Se}$  составляет 226–133°C (Ечмаева, 2009; Осадчий, 2011). Возможно, именно этот температурный интервал соответствует третьей продуктивной стадии.

**Условия и глубина образования Улуг-Саурского месторождения.** Минеральные ассоциации золото-сульфидно-кварцевой и золото-пирит-халькопирит-кварцевой стадий возникли, соответственно, при 310–200°C и 250–114°C из растворов сложного состава  $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ , ( $\pm \text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ ) с солё-

---

<sup>1</sup> Здесь и далее оценка активности дана по диаграммам из: Barton, Skinner, 1979; Affi et al., 1988; Ечмаева, 2009.

ностью 4,4–10,0 и 4,0–9,5 мас. % экв. NaCl (Зайков, Анкушева, 2009; Анкушева и др., 2012). Гомогенизация флюидных включений в кварце из улугсаирских жил (по: Борисенко и др., 1979) осуществлялась при  $T = 370\text{--}250^\circ\text{C}$ ,  $P = \sim 0,9\text{--}1,0$  кбар (на глубине  $\sim 2,7\text{--}3$  км), из растворов с солёностью 4–10 мас. % экв. NaCl. С поправкой к температурам гомогенизации ( $50^\circ\text{C}$ ) температуры рудообразования первой продуктивной стадии составят  $\sim 360\text{--}250^\circ\text{C}$ , второй стадии —  $\sim 300\text{--}164^\circ\text{C}$ .

Самородное Au золото-сульфидно-кварцевой и золото-пирит-халькопирит-кварцевой стадий отлагалось при повышенном восстановительном потенциале рудоносных растворов — при  $\log f(S_2) = 10^{-12}\text{--}10^{-18}$  (при  $T = 200^\circ\text{C}$ ).

Минералы золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии отлагались при снижении окислительного потенциала рудоносных растворов, о чём свидетельствует характер зональности кристаллов блёклых руд: их центральные части отвечают Cu-теннантиту, внешние — Fe-теннантиту. При высокой  $f(O_2)$  (повышенном окислительном потенциале) и высокой  $f(S)$  (по: Spiridonov et al, 2005) возникают цинкиты и высокомедистые блёклые руды вместо железистых. Температурный интервал формирования золото-теллуридной минерализации, судя по диаграмме стабильности Au–Ag–Te минералов ассоциации петцит–гессит–самородное золото, соответствует  $280\text{--}145^\circ\text{C}$ , при значениях  $\log f(Te_2) = 10^{-18}\text{--}10^{-10}$  (Бортников и др., 1988). Наличие фишессерита и борнита в этой ассоциации предполагает  $\log f(Se_2) = 10^{-17}\text{--}10^{-14}$  и  $\log f(S_2) = 10^{-9}\text{--}10^{-12}$  (при  $T = 180\text{--}270^\circ\text{C}$ ). Обрастание кавачулита Севольинскимом, а последнего — виттихенитом свидетельствует о снижении активности селена в процессе кристаллизации рассматриваемой минеральной ассоциации.

Итак, золото-кварцевые жилы Хаак-Саирского месторождения формировались в гипабиссальной фации глубинности при  $P \sim 0,5$  кбар ( $\sim 1,5$  км) и  $T = 290\text{--}135^\circ\text{C}$ , а Улуг-Саирского — в гип-мезобиссальной фации при  $P \sim 0,9\text{--}1,0$  кбар ( $\sim 2,7\text{--}3$  км) и  $T = 360\text{--}145^\circ\text{C}$ . Продуктивные минеральные ассоциации этих месторождений формировались на фоне снижения температур и вариациях фугитивности  $O_2$ , S, Se и Te. Особое влияние на процессы минералообразования руд оказывала активность S, Hg, Te и Se. При повышенной активности Te и Se в растворах формировалось высокопробное золото, поскольку серебро связывалось в теллуриды и/или селениды.

Различия в составе руд исследованных месторождений обусловлены латеральной и вертикальной минеральной зональностью, что подтверждается полученными результатами, свидетельствующими, что минеральные типы по составу продуктивной ассоциации отвечают различным фациям глубинности.

Вывод о том, что минеральный состав месторождений обуславливается также составом рудовмещающих пород (Спиридонов, 1995, 2011; Поцелуев и др., 2013), также подтверждается. Рудные тела Хаак-Саирского месторождения среди офиолитов обогащены 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. На Улуг-Саирском месторождении, локализованном среди ордовикских осадочных образований, развиты березиты и березитизированные породы, заместившие кварцевые песчаники и алевролиты. Сульфоарсенид Ni и Cr-содержащие минералы в улугсаирских рудах отсутствуют.



Рудообразующие флюиды изученных объектов АМЗУ характеризуются сложным многокомпонентным составом. Главные различия между ними заключаются в содержании элементов-примесей. Флюиды из включений в жильном кварце Хаак-Саирского месторождения отличаются повышенными содержаниями широкого ряда элементов — Sb, Ag, B, Ba, As, Pb, Cd, W, Mo, Bi, Zn, Hg, Co и Ni. Так, концентрации Ag здесь в 21 раз, а Sb в 126 раз выше, чем во включениях в кварце Улуг-Саирского месторождения (Мелекесцева и др., 2013).

Геологические соотношения, а также опубликованные и собственные данные свидетельствуют о среднепалеозойском ( $D_3-C_1$  или 376–345 млн л.) возрасте золотого оруденения АМЗУ (Васильев и др., 1977, 1979; Монгуш и др., 2011; Кужугет, 2013). Примерно в это же время (358–337 млн л.) формировались золото-ртутные месторождения в Алтае-Саянской складчатой области (Борисенко и др., 2006; Наумов и др., 2006), а также ртутного месторождения Терлиг-Хая (365–357 млн л.) в Туве (Третьякова, 2011).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Месторождения Хаак-Саир и Улуг-Саир Алдан-Маадырского золоторудного узла являются производными единой сложной флюидно-гидротермальной рудообразующей системы с латеральной и вертикальной минеральной зональностью. Формирование рудных тел происходило в течение ряда этапов, включающих до 10-ти различных минеральных ассоциаций. Золотое оруденение является наиболее поздним из многочисленных эпизодов пост-магматической гидротермальной деятельности — турмалинизации, березитизации-лиственнитизации и т. д.
2. Изученные месторождения являются полистадийными объектами золото-теллуридного (Au-Ag-Te) типа, ассоциирующего с вулcano-плутоническими комплексами. Выявленный золото-теллуридный тип АМЗУ является новым для Тувы и Алтае-Саянской складчатой области.
3. Установлено, что руды Хаак-Саирского месторождения формировались в условиях гипабиссальной фации глубинности при  $P \sim 0,5$  кбар ( $\sim 1,5$  км) и температурах 290–135°C (золото-сульфосолюно-сульфидно-кварцевая стадия — 290–220°C, золото-ртутисто-кварцевая — 220–160°C, золото-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевая — 226–135°C); Улуг-Саирского месторождения — в условиях гип-мезобиссальной фации глубинности при  $P \sim 0,9-1,0$  кбар ( $\sim 2,7-3,0$  км) и температурах 360–145°C (золото-сульфидно-кварцевая стадия — 360–250°C, золото-пирит-халькопирит-кварцевая — 300–165°C, золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая — 280–145°C). Формирование продуктивных минеральных ассоциаций месторождений происходило на фоне снижения температур, при вариациях фугитивности  $O_2$ , S, Se, Hg и Te.
4. Установлено, что отложение самородного золота Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений происходило в три стадии. Поздние продуктивные стадии месторождений представлены золото-теллуридными ассоциациями. Своеобразие физико-химических условий ( $P-T$ , вариации фугитивности S, Se, Hg и Te) отразилось на химическом составе самородного золота и составе рудных минералов. Минералого-геохимические особенности руд так же

- определяются фациями глубинности, составом рудообразующих флюидов и литолого-геохимическими характеристиками рудовмещающих толщ.
5. По составу продуктивных минеральных ассоциаций Хаак-Саирское месторождение отвечает золото-галенит-сульфоантимонитовому типу с серебристыми блёклыми рудами, обогащёнными ртутью минералами ряда Au–Ag, селенидами Au–Ag, Ag, Pb, Hg и теллуридами Ag и Hg, а Улуг-Саирское — золото-сульфидному типу с теллуридами и селенидами Au и Ag (фишессеритом и др.) и селенотеллуридами Ag и Bi.
  6. Состав самородного Au эволюционирует в улугсаирских и хаасаирских рудах от весьма высокопробного до электрума; кроме того, в хааксаирских рудах — от высокопробного золота до Au-содержащего ртутистого серебра через ртутистое золото, ртутистый электрум и ртутистый кюстелит.
  7. Высокое содержание в рудах Hg и Te могут свидетельствовать о глубинном источнике рудообразующих растворов.
  8. Минеральные ассоциации руд и типоморфные особенности самородного золота, наличие электрума и ртутистых разновидностей минералов ряда Au – Ag в рудах АМЗУ указывают на слабую эродированность месторождений и благоприятные перспективы оруденения на глубину не менее 500 м.
  9. Геолого-структурные, минеральные и геохимические особенности изученных объектов АМЗУ свидетельствуют о возможности обнаружения в пределах рудного узла крупных месторождений Au.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК:*

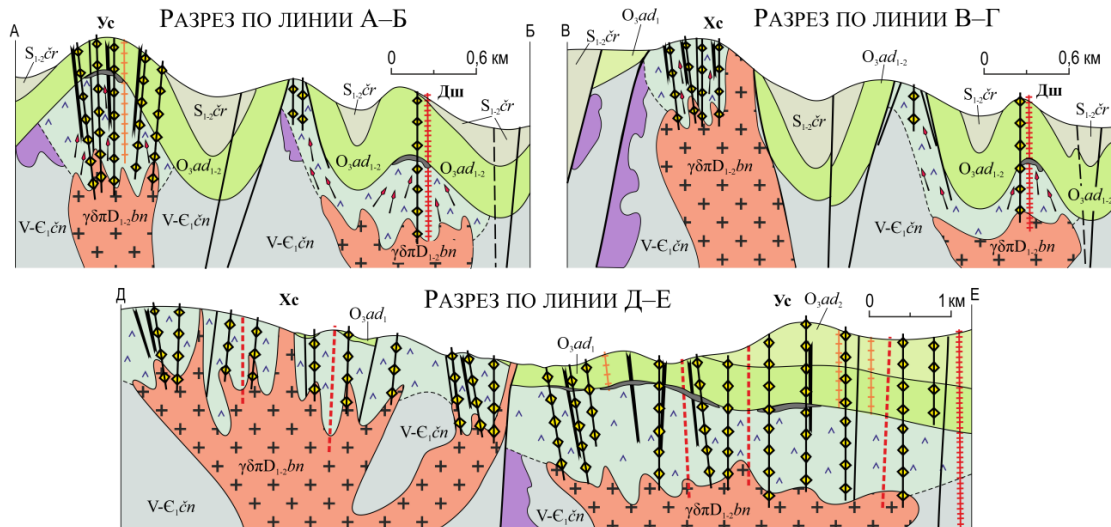
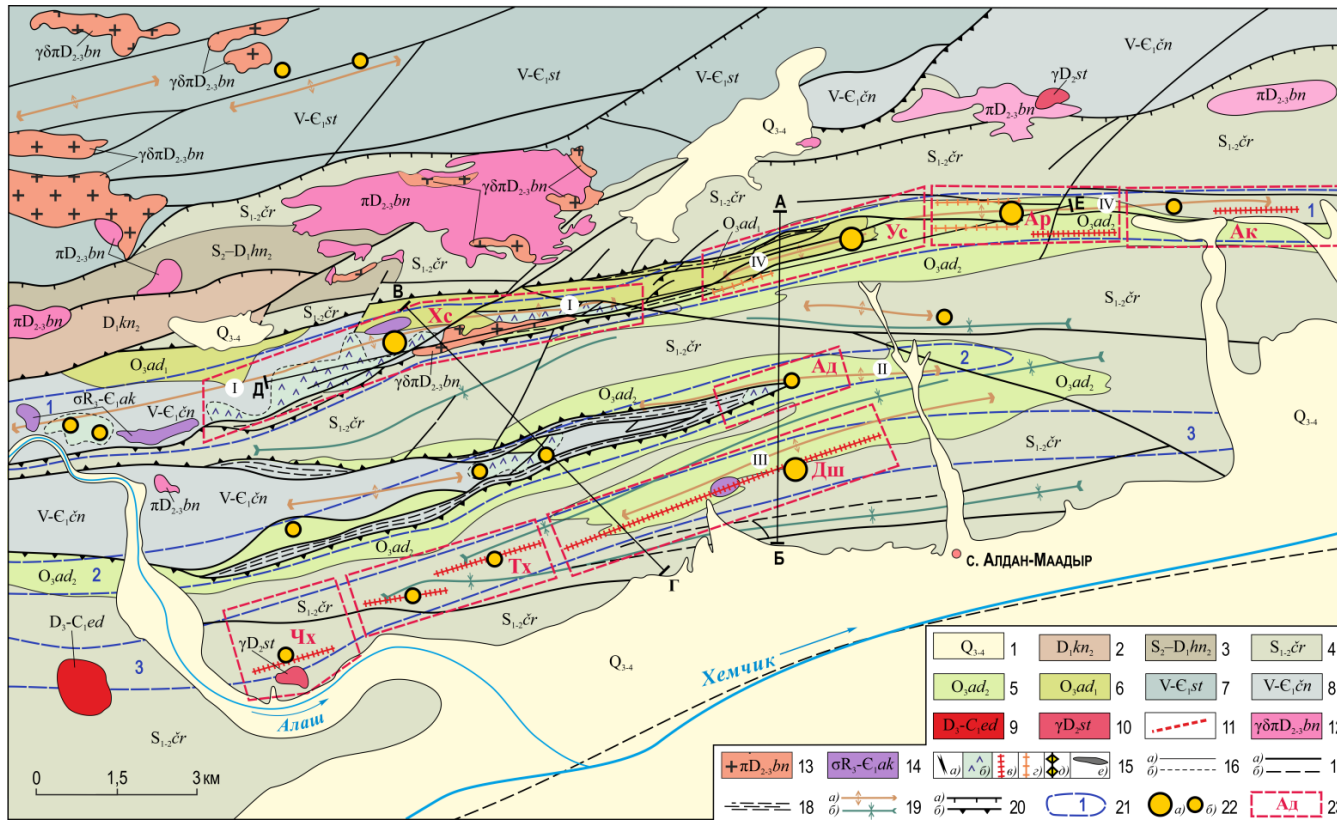
1. **Кужугет Р.В.**, Монгуш А.А. Алдан-Маадырский золоторудный узел (Западная Тува): особенности геолого-структурного строения и химического состава золота // Вестн. ТГУ. – Томск, 2013. – № 369. – С. 188–192.
2. **Кужугет Р.В.** Иодидная и бромидная минерализация в окисленных рудах Хаак-Саирского золоторудного месторождения, Западная Тува // Зап. РМО. – 2014. – № 2. – Т. 143. – С. 64–80.
3. **Кужугет Р.В.**, Зайков В.В., Лебедев В.И. Улуг-Саирское золото-турмалин-кварцевое месторождение, Западная Тува // Литосфера. – 2014. – № 2. – С. 99–114.

*В других изданиях:*

4. 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. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. – С. 123–127.
5. Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Ankusheva N.N., Mongush A.A., **Kuzhuget R.V.** The Aldan-Maadyr gold-bearing zone in Hg-listvenites and tourmaline altered rocks, Republic of Tuva: mineralogy, forming conditions and resources // Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny: Abstracts of the Intern. Symp. – Novosibirsk: Sibprint, 2009. – P. 414–417.
6. Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А., **Кужугет Р.В.**, Монгуш А.А. Золото месторождения Арыскан и рудопроявления Дуушкунныг, Алдан-Маадырская золоторудная зона (Западная Тува) // Металлогения древних и современных океанов–2010. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. – С. 201–205.

7. **Кузугет Р.В.**, Монгуш А.А., Лебедев В.И., Петрова Л.И. Типоморфизм самородного золота Хаак-Саирского месторождения (Западная Тува) // Тез. V Сиб. конф. молодых учёных по наукам о Земле (29.10.–03.12.2010, Новосибирск) [Электрон. ресурс]. – Новосибирск, 2010. – Режим доступа: <http://sibconf.igm.nsc.ru/>, свободный.
8. Melekestseva I., Ankusheva N., Zaykov V., Kotlyarov V., **Kuzhuget R.** Formation Conditions of the Khaak-Sair and Sarytash Gold Deposits in Listvenites, Western Tuva: Evidences from Fluid Inclusions // Large Igneous Provinces of Asia: Mantle Plumes and Metallogeny: Abstracts of the Intern. Conf. – Irkutsk, 2011. – P. 162–165.
9. **Кузугет Р.В.**, Монгуш А.А., Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А. Морфология и геохимия самородного золота Хаак-Саирского месторождения (Западная Тува) // Геология Западного Забайкалья: Материалы Всерос. Молодёжной науч. конф. – Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2011. – С. 81–85.
10. Монгуш А.А., **Кузугет Р.В.**, Дружкова Е.К. Особенности состава магматических пород и Ag-Ag данные о возрасте базитовых даек Алдан-Маадырской золоторудной зоны (Западная Тува) // Металлогения древних и современных океанов–2011. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. – С. 262–268.
11. **Кузугет Р.В.** Особенности минералообразования золото-кварцевых рудопоявлений Алдан-Маадырского золоторудного узла (Западная Тува) // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Вып. 11 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОП СО РАН, 2012. – С. 44–64.
12. **Кузугет Р.В.**, Монгуш А.А., Мелекесцева И.Ю. Эволюция минералов ряда Au–Ag–Hg в рудах Алдан-Маадырской золоторудной зоны (Западная Тува) // Природные системы и экономика приграничных территорий Тувы и Монголии: фундаментальные проблемы, перспективы рационального использования: Материалы науч.-практ. конф. (19.04–23.04.2012, Кызыл). – Кызыл: ТувИКОП СО РАН, 2012. – С. 18–23.
13. **Кузугет Р.В.** Геолого-структурные особенности Алдан-Маадырской золоторудной зоны (Западная Тува) // Экосистемы Центральной Азии: Исследования, сохранение, рациональное использование: Материалы XI Убсунурского Междунар. симп. (03–08.07.2012 г., Кызыл). – Кызыл: РИО ТувГУ, 2012. – С. 397–400.
14. Анкушева Н.Н., **Кузугет Р.В.** Условия формирования кварца из жил Арысканского золото-кварц-березитового месторождения (Западная Тува) по данным изучения флюидных включений // Металлогения древних и современных океанов–2012. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. – С. 213–217.
15. **Кузугет Р.В.**, Монгуш А.А. Фации глубинности и продуктивные минеральные ассоциации плутоногенных золото-кварцевых объектов Алдан-Маадырской золоторудной зоны, Западная Тува // Уральская минералогическая школа–2012: Материалы Всерос. науч. конф. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. – С. 79–8.
16. Монгуш А.А., **Кузугет Р.В.** Возраст, состав и тектоническое положение Душкуннунгского габбрового массива (Западная Тува) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещ.: В 2 т. Вып. 10. – Иркутск: Ин-т земн. коры СО РАН, 2012. – Т. 2. – С. 25–26.
17. **Кузугет Р.В.**, Хертек А.К., Монгуш А.А. Состав блёклых руд Хаак-Саирского золото-кварцевого месторождения, Западная Тува // Металлогения древних и современных океанов–2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 191–194.
18. **Кузугет Р.В.**, Фетисов Я.В., Монгуш А.А. Рудовмещающие породы Алдан-Маадырского золоторудного узла, Западная Тува // Металлогения древних и современных океанов–2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 188–191.
19. Анкушева Н.Н., **Кузугет Р.В.** Условия формирования золото-кварцевых жил рудопоявления Душкуннунг (Западная Тува) по результатам изучения флюидных включений // Металлогения древних и современных океанов–2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 194–197.

**Приложение 1. Геолого-структурная модель центральной части АМЗУ (по данным Е.В. Зайковой, В.В. Зайкова (1966) и Б.Д. Васильева и др. (1977) с добавлениями)**



1 — четвертичные отложения (Q<sub>3-4</sub>); 2, 3 — вулканогенные и осадочные породы Тувинского рифтогенного прогиба; 2 — эффузивы, риолитовые порфиры верхней подсвиты кендейской свиты (D<sub>1</sub>kn<sub>2</sub>), 3 — красноцветные песчаники и алевролиты верхней подсвиты хондергейской свиты (S<sub>2-D</sub>hm<sub>2</sub>); 4–6 — терригенные отложения чехла Хемчикско-Сыстыгхемского коллизионного прогиба: 4 — серицитово-глинистые и хлоритово-глинистые алевролиты чергакской свиты (S<sub>1-2</sub>cr), 5 — алевролиты с прослоями песчаников, конгломераты с галькой алевролитов, аргиллитов, песчаников и кварца верхней подсвиты адырташской свиты (O<sub>3ad<sub>2</sub></sub>), 6 — рассланцованные конгломераты, алевролиты, гравелиты и песчаники нижней подсвиты адырташской свиты (O<sub>3ad<sub>1</sub></sub>); 7 — серицит-хлорит-кварцевые сланцы, метаморфизованные алевролиты сютольской свиты (V-C<sub>1</sub>st, метатурбидиты Западного Саяна); 8 — офиолитовые аллохтоны, меланж, олистостромы (эффузивы, туфы, серпентиниты, алевролиты, песчаники и сланцы чингинской свиты, V-C<sub>1</sub>cn) (антиклинальные выступы фундамента Хемчикско-Сыстыгхемского коллизионного прогиба); 9, 10 — интрузивные комплексы, связанные с образованием Тувинского рифтогенного прогиба: 9 — габбро, монцодиориты и сиенограниты эдегейского габбро-монцодиорит-сиеногранитового комплекса (D<sub>3-C</sub>ed), 10 — граниты сютольского комплекса (D<sub>2</sub>st); 11 — баянкольский комплекс (D<sub>2-3</sub>bn): дайки микродиоритов III фазы; 12 — кварцевые, андезитовые и риолитовые порфиры II фазы, п; 13 — гранодиорит-, тоналит-порфиры, гранит-порфиры, риолиты I фазы, γδπ; 14 — серпентиниты, перидотиты, пироксениты и связанные с ними габброиды и диориты акдвуракского комплекса (σR<sub>3-C</sub>ak, офиолиты фундамента Хемчикско-Куртушибинской преддуговой зоны); 15 — рудные тела: турмалинизированные (а), лиственизированные (б), березитизированные дайки риолитов II фазы баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>bn) (в); березитизированные кварцевые песчаники ордовика; кварцевые жилы (д), предполагаемые рудные тела под конгломератами (е); 16 — границы геологические (а) и фациальных переходов (б); 17 — разрывные нарушения достоверные (а) и предполагаемые (б); 18 — тектонические зоны; 19 — оси складчатых структур: а) — антиклинальных (I — Улуг-Саирской, II–III — Ак-Дагской, IV — Аржанской), б) — синклинальных (а), взбросы (б); 21 — узкие линейные рудоносные зоны березитизации и лиственизации с насыщенными кварцево-жильными образованиями с золотой минерализацией (1 — Хаак-Саир — Ак-Дашская, 2 — Тожектыгхем — Душкуннугская, 3 — Ак-Дагская); 22 — месторождения и рудопроявления (а), мелкие рудопроявления и точки минерализации Au (б); 23 — схематические контуры золоторудных месторождений (Хс — Хаак-Саирское, Ус — Улуг-Саирское) и рудопроявлений (Ар — Арысканское, Ак — Ак-Дашское, Ад — Ак-Дагское, Дш — Душкуннугское, Тх — Тожектыгхемское, Чх — Чедиханское).  
На разрезах стрелками показано движение рудоносных флюидов.

(а) — Хаак-Саирское месторождение

ЭТАПЫ СТАДИИ ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛЫ	I		II		III			IV			V ГИПЕР- ГЕН- НЫЙ
	ДОПРОДУКТИВНЫЕ				ПРОДУКТИВНЫЕ			ПОСПРОДУКТИВНЫЕ			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
кварц	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
турмалин	■	■						■			
шеелит	■			■							
рутил	■									■	
хлорит	■		■							■	
пирит	■		■	■							
анкерит			■	■							
сидерит			■	■							
доломит			■	■					■		
кальцит			■	■							
мусковит – парагонит			■	■							
герсдорфит			■		■						
гематит										■	
галенит					■						
сфалерит					■						
арсенопирит					■						
халькопирит					■						
блѣклые руды					■					■	
бурнонит					■						
борнит					■						
золото					■	■					■
электрум					■						
Cu-содерж. золото					■						
гессит					■						
Se-киноварь										■	
Se-имитерит										■	
галенит– клаустелит										■	
колорадоит										■	
акантит					■						■
селениды										■	
ряда Au–Ag–Hg						■	■				
гипергенные											■
халькозин											■
ковеллин											■
серебро											■
иодиды											■
бромиды											■
хлориды											■

инъекция даек микродиоритов, диорит-порфирв III фазы баанькольского комплекса (D<sub>2-3</sub> /bn)

(б) — Улуг-Саирское месторождение

ЭТАПЫ СТАДИИ ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛЫ	I		II		III			IV			V ГИПЕР- ГЕН- НЫЙ
	ДОПРОДУКТИВНЫЕ				ПРОДУКТИВНЫЕ			ПОСПРОДУКТИВНЫЕ			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
кварц	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
турмалин	■	■						■			
шеелит	■			■							
рутил	■									■	
хлорит	■		■							■	
апатит	■										
магнетит	■										
пирит	■		■	■	■	■					
анкерит			■	■							
сидерит			■	■							
доломит			■	■							
кальцит			■	■							
серицит			■	■							
галенит										■	
халькопирит			■	■	■	■					
золото			■	■	■	■					■
электрум			■	■	■	■					
борнит										■	
кавацулит										■	
фишессерит										■	
Se-волынскит										■	
виттихенит										■	
петцит										■	
гессит										■	
блѣклые руды										■	
гематит										■	
гипергенные											■
халькозин											■
ковеллин											■
бисмит											■
гѣтит											■
малахит											■
азурит											■
англезит											■

инъекция даек микродиоритов, диорит-порфирв III фазы баанькольского комплекса (D<sub>2-3</sub> /bn)

Приложение 2. Парагенетические схемы минералообразования исследованных объектов АМЗУ: Хаак-Саирского (а) и Улуг-Саирского (б) месторождений

Два первых этапа подразделяются на месторождениях на 2 стадии каждый: I кварц-турмалиновый этап — на турмалиновую (1) и турмалин-кварцевую (2); II этап — на лиственит-березитовую (1) и сопряжённую с ней кварц-пиритовую с шеелитом (2). III продуктивный этап — на три стадии: на Хаак-Саире — Au-сульфосольно-сульфидно-кварцевую (1), Au-Hg-кварцевую (2) и Au-селенидно-теллуридно-сульфидно-кварцевую (3); на Улуг-Саире — Au-сульфидно-кварцевую (1), Au-пирит-халькопирит-кварцевую (2) и Au-теллуридно-сульфидно-кварцевую (3). IV постпродуктивный этап — на 3 стадии (на обоих объектах): турмалин-кварцевую (1), карбонатно-кварцевую (2) и хлорит-гематит-кварцевую (3). V гипергенный этап представлен: на Хаак-Саире — штроейеритом, англезитом, церусситом, линаритом, малахитом, азуритом, гематитом, брошантитом, скородитом, атакмитом и др., на Улуг-Саире — церусситом, скородитом, купритом, самородной медью и др.

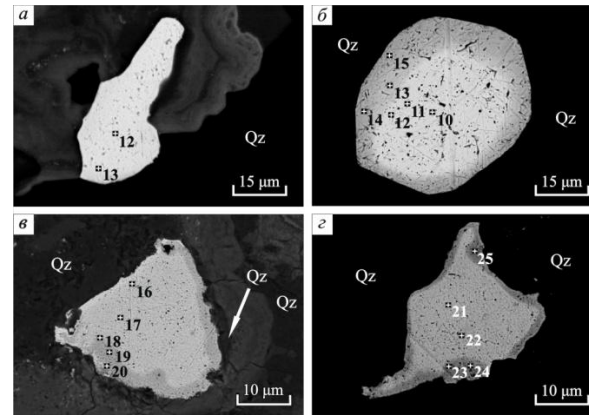
Приложение 3. Химический состав зональных золотин золото-сульфо-сульфо-сульфидно-кварцевой стадии Хаак-Саирского месторождения

Место отбора	№ образца	№ анализа	Зона зерна	Содержание элементов, мас. %					Пробность, %
				Au	Ag	Cu	Hg	Σ	
Участок I, жила №7	СТ-7	1	центр	93,15	6,45	0,38	—	99,98	932
		2	край	80,77	18,74	0,32	—	99,83	809
		3	центр	91,65	7,52	0,34	—	99,50	921
		4	край	86,12	12,78	0,42	—	99,52	865
	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	

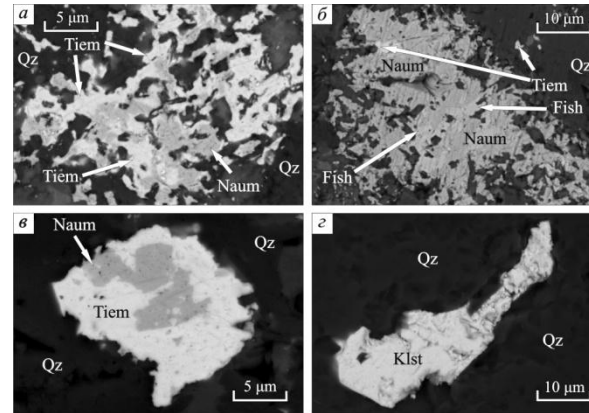
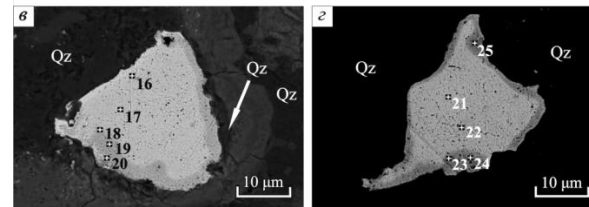
Примечание. Прочерк — содержание элемента ниже предела обнаружения; \* — места этих анализов показаны в приложении 5. Здесь и в приложении 4 анализы выполнены на электронных микроскопах РЭММА-202М и MIRA LM с энергодисперсионными приставками.

Приложение 4. Химический состав минералов Au и Ag золото-ртутисто-кварцевой стадии Хаак-Саирского месторождения

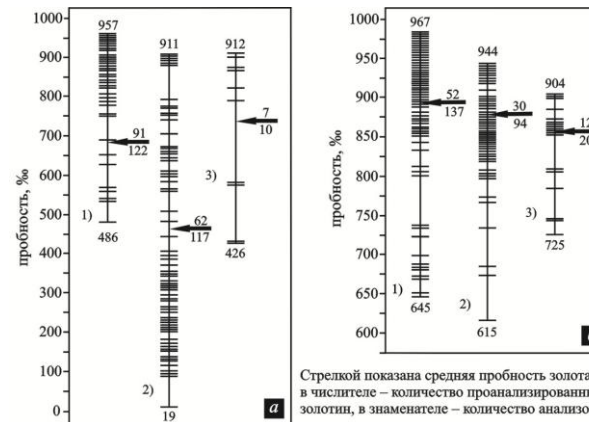
Место отбора	№ образца	№ анализа	Зона зерна	Содержание элементов, мас. %					Пробность, %
				Au	Ag	Cu	Hg	Σ	
Уч. I, жила №7	СТ-7-2	1	центр	90,99	7,66	0,78	0,42	99,85	911
		2	центр	37,88	55,17	0,51	6,20	99,76	380
		3	край	21,07	64,91	0,80	13,20	99,98	211
		4	центр	31,36	59,99	0,55	8,08	99,98	314
		5	край	12,65	72,76	0,37	14,20	99,98	127
Уч. II, жила №1	СТ-1б	6	центр	73,13	12,32	0,85	10,60	96,90	755
		7	центр	1,91	75,92	—	22,15	99,98	19
Уч. II, листвениит	СТ-15	8	центр	56,81	32,29	—	10,61	99,71	570
		9	край	51,04	37,08	—	11,83	99,95	511
Уч. 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
Уч. II, жила №3	СТ-3	16*	центр	85,07	14,57	—	0,25	99,89	852
		17*	—	77,16	20,93	—	1,90	99,99	772
		18*	—	57,63	37,09	—	5,27	99,99	576
		19*	—	51,40	42,35	—	6,21	99,96	514
		20*	край	25,42	64,25	—	10,28	99,95	254
Уч. II, жила №3	СТ-3	21*	центр	85,92	13,78	—	0,05	99,75	861
		22*	—	81,37	17,06	—	0,91	99,34	819
		23*	—	38,85	53,77	—	6,59	99,21	392
		24*	—	35,35	55,27	0,78	8,30	99,70	355
		25*	край	32,00	57,23	0,81	10,05	100,09	320



Приложение 5. Зональные минералы Au и Ag первой (а) и второй (б-з) продуктивных стадий Хаак-Саирского месторождения в кварце (Qz) первой (а) и второй (б-з) продуктивных стадий

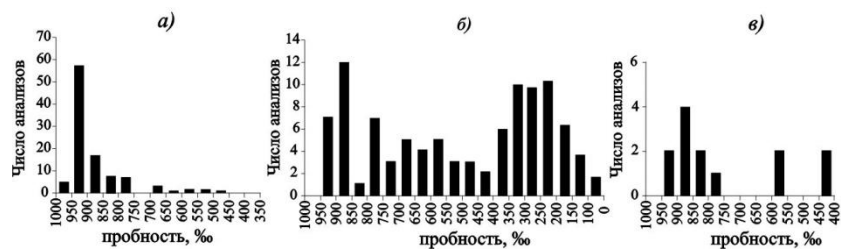


Приложение 6. Срастания тиманнита (Tiem), науманнита (Naum), фишессерита (Fish) и клауалита (Klst) в кварце (Qz) третьей продуктивной стадии

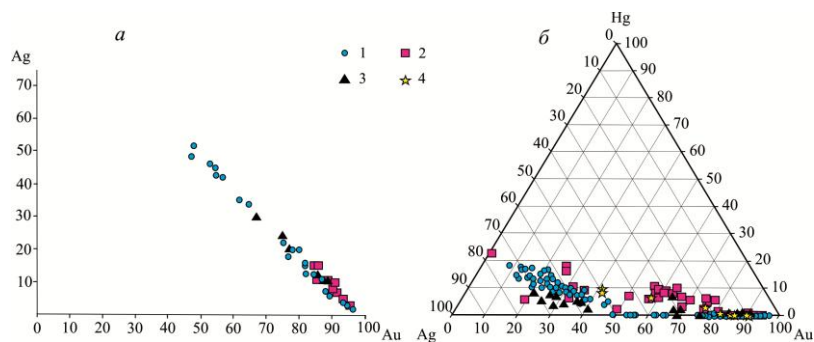


Стрелкой показана средняя пробность золота, в числителе – количество проанализированных золотин, в знаменателе – количество анализов.

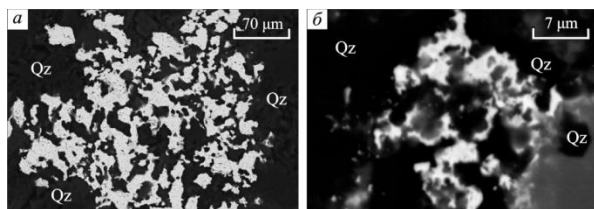
Приложение 7. Вариации пробности минералов Au и Ag первой (1), второй (2) и третьей (3) продуктивных стадий: (а) — Хаак-Саир, (б) — Улуг-Саир



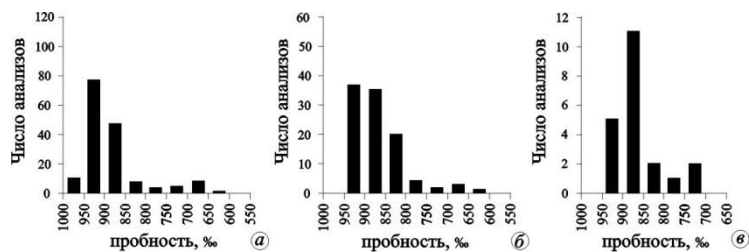
Приложение 8. Частота встречаемости пробности минералов ряда Au-Ag первой (а), второй (б) и третьей (в) продуктивных стадий Хаак-Саирского месторождения



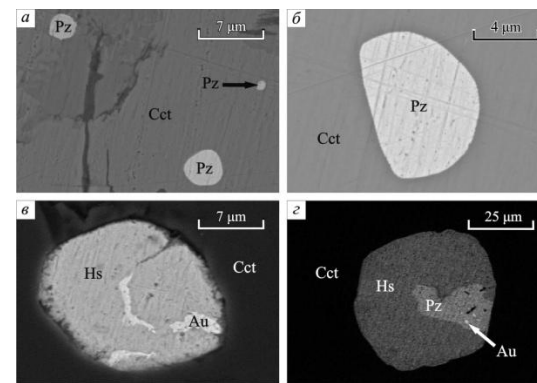
Приложение 9. Вариации состава минералов ряда Au-Ag Хаак-Саирского месторождения первой (а), второй (б, 1-3) и третьей (б, 4) продуктивных стадий. 1 — уч. I, 2 — уч. II, 3 — уч. V



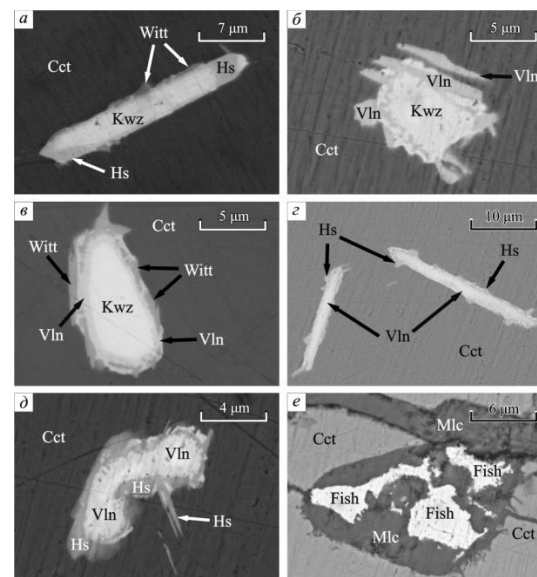
Приложение 10. Агрегаты ртутистого Au (а) и ртутистого электрума (б) золото-ртутисто-кварцевой стадии в кварце (Qz) второй продуктивной стадии



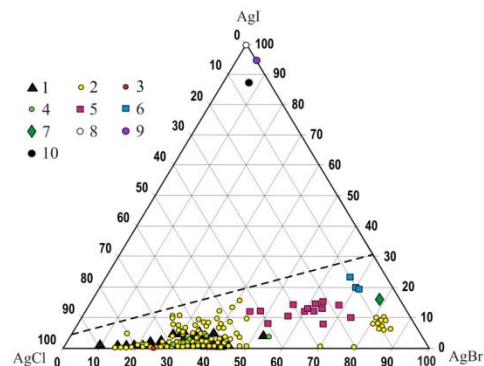
Приложение 11. Вариации пробности золота первой (а), второй (б) и третьей (в) продуктивных стадий Улуг-Саирского месторождения



Приложение 12. Овальные выделения в халькозине (Cct) петцита (Pz) и гессита (Hs) с мелкими выделениями золота в них



Приложение 13. Формы выделения квацулита (Kwz), гессита (Hs), Se-вольнскита (Vln), виттихенита (Witt) и фишессерита (Fish) в халькозине (Cct) и замещившим его малахите (Mlc)



Приложение 14. Вариации состава минералов в ряду AgCl-AgBr

Состав минералов м-ния Брокен-Хилл (1 — по: Gillard et al., 1997; 2 — по: Barclay и Jones, 1971). Состав хлораргирита (3 — Br-содержащего, 4 — Br-, I-содержащего) и бромаргирита (5 — Cl-, I-содержащего; 6 — I-, Cl-содержащего; 7 — I-содержащего) и иодаргирита (8 — безпримесного, 9 — Br-содержащего, 10 — Br-, Cl-содержащего) Хаак-Саирского м-ния. Пунктирная линия отделяет экспериментально определённый предел твёрдого раствора AgI в AgCl и AgBr при 25°C (Chateau, 1959).