# МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРЫСКАНСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТА КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНОГО ТИПА В БЕРЕЗИТАХ (ЗАПАДНАЯ ТУВА)

# Р.В.Кужугет<sup>1</sup>, В.В.Зайков<sup>2,3</sup>, Н.Н.Анкушева<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл; <sup>2</sup>Институт минералогии УрО РАН, Миасс; <sup>3</sup> Миасский филиал Южно-Уральского государственного университета, Миасс

Рассмотрены минералого-геохимические особенности и условия образования продуктивных минеральных ассоциаций Арысканского рудопроявления золота, локализованного в березитизированных осадочных и магматических породах. На рудопроявлении отмечаются две продуктивные стадии: золото-сульфидно-кварцевая и золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая. Поздняя золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая стадия выявлена впервые и представлена золототеллуридной ассоциацией с золотом, петцитом (Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub>), гесситом (Ag<sub>2</sub>Te), алтаитом (PbTe), Se-содержащим алтаитом, теллуровисмутитом (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>) и букхорнитом (AuPb<sub>2</sub>BiTe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>). Золото в рудах находится в самородной форме, а также в виде петцита и букхорнита (комплексного халькогенида Au). Установлено, что руды Арысканского рудопроявления формировались при температурах 340–128 °C (ранняя золото-сульфидно-кварцевая стадия – 340–208 °C, поздняя золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая стадия – 128–280 °C).

**Ключевые слова**: березиты, золото, теллуриды, минералогия, кварц, услояия образования, флюидные включения, Тува.

# MINERAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE ARYSKANSKOYE GOLD-QUARTZ MINERALISATION IN BERESITES (WESTERN TUVA)

## R. V. Kuzhuget<sup>1</sup>, V. V. Zaykov<sup>2,3</sup>, N. N. Ankusheva<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl; <sup>2</sup>Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; <sup>3</sup>South Ural State University Miass Branch Miass

The article discusses mineral and geochemical features and conditions of formation of producing mineral associations of the Aryskanskoye gold-quartz mineralisation located in beresitised sedimentary and magmatic rocks. There are two productive stages of the mineralisation: gold-sulphide-quartz and gold-telluride-sulphide-quartz ones. The late gold-telluride-sulphide-quartz stage was identified for the first time. It is represented by the gold-telluride association with gold, petzite (Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub>), hessite (Ag<sub>2</sub>Te), altaite (PbTe), Se-containing altaite, bismuth telluride (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>), and buckhornite (AuPb<sub>2</sub>BiTe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>). The gold is native, as well as petzites and buckhornites (complex Au chalcogenide). It was established that the ores of the Aryskanskoye mineralisation were formed at a temperature of  $340-128^{\circ}$ C (the early gold-sulphide-quartz stage at  $340-208^{\circ}$ C, the late gold-telluride-sulphide-quartz stage at  $128-280^{\circ}$ C).

Keywords: beresites, gold, tellurides, mineralogy, quartz, conditions of formation, fluid inclusions, Tuva.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-1-98-110

В результате поисковых, геолого-съемочных и научно-исследовательских работ 1952–1988 гг. в Западной Туве было выявлено несколько рудопроявлений золота кварцево-жильного типа (Улуг-Саирское, Хаак-Саирское, Дуушкуннугское, Ак-Дашское, Арысканское и др.). Эти объекты сосредоточены в Алдан-Маадырском рудном узле (АМРУ) на левобережье р. Хемчик (рис. 1). Оруденение контролируется Хемчикско-Куртушибинским глубинным разломом, по которому венд-кембрийские метатерригенные комплексы Западного Саяна сопряжены с венд-нижнекембрийскими офиолитами и осадочно-вулканогенными комплексами палеозоя Тувинского рифтогенного прогиба [7].

Рудные объекты сосредоточены в субширотной полосе размером 45×(5–7) км. Золоторудная минерализация парагенетически связана с малыми интрузиями и дайками гранодиорит-, тоналит-порфиров I фазы и дайками риолитов II фазы баянкольского комплекса (D<sub>2–3</sub>) [11]. Возраст даек габбро III фазы баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>) в сланцах чингинской свиты на участке Тлангара данного узла, определенный Ar-Ar методом по роговой обманке, составляет 376,5<u>+</u>3,4 млн лет, что соответствует D<sub>3</sub> [8].

Рудные объекты АМРУ характеризуются небольшими параметрами золотого оруденения на поверхности (мелкие по запасам объекты), но благоприятными геолого-минералогическими предпосылками выявления средних объектов (со средними содержаниями Au 2 г/т) на глубине первые сотни метров.

Цель статьи – характеристика минералого-геохимических особенностей и условий образования продуктивных минеральных ассоциаций Арысканского рудопроявления в березитизированных дайках и кварцевых песчаниках.

## Геологическое строение Арысканского рудопроявления

Арысканское рудопроявление, установленное Е. В. Зайковой в 1964 г. в процессе геологической съемки м-ба 1:50 000 [5], расположено в восточной части узла на южных склонах горы Арыскан. Оно приурочено к восточной части Улуг-Саирской горстантиклинальной структуры субширотного простирания, сложенной рассланцованными ордовикскими конгломератами, алевролитами и песчаниками (рис. 1, 2). Структура осложнена секущими ее разрывными нарушениями. Ядро структуры составлено океаническими офиолитами меланж-олистостромовой ассоциации (V– $\varepsilon_1$ ), обнаженными западнее рудопроявления, а крылья – ордовикскими конгломератами, алевролитами и песчаниками

Золотое оруденение ассоциирует с березитами, развитыми по дайкам кислого состава и кварцевым песчаникам с прослоями алевролитов. Золото локализовано в прожилках кварца среди лестничных жил в березитизированных дайках гранодиорит-порфиров, в прожилках кварца в микродиоритах, а также в кварцевых, сульфидно-кварцевых жилах и зонах окварцевания. Содержание сульфидов в рудах не превышает 5 %.

В процессе поисковых работ обнаружено пять зон березитизированных пород субширотного простирания: зоны I–IV развиваются за счет осадочных пород (кварцевых песчаников и алевролитов) верхней подсвиты адырташской свиты (O<sub>3</sub>); зона V – по дайкам гранодиорит-порфиров, которые отнесены к I фазе баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>) (см. рис. 2). Золоторудная минерализация в измененных породах носит прожилковый, гнездовой и рассеянновкрапленный характер.

Березитизированные песчаники представляют собой желтоватые тонкокристаллические кварцкарбонатные породы с вкрапленностью пирита (до



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта центральной части АМРУ (по данным Е. В. Зайковой, В. В. Зайкова [5] и Б. Д. Васильева и др. [10] с добавлениями)

1 – четвертичные отложения; 2 – эффузивы, риолитовые порфиры верхней подсвиты кендейской свиты; 3 – красноцветные песчаники и алевролиты верхней подсвиты хондергейской свиты; 4 – алевролиты чергакской свиты; 5 – алевролиты, песчаники, конгломераты верхней подсвиты адырташской свиты; 6 – рассланцованные конгломераты, алевролиты, гравелиты и песчаники нижней подсвиты адырташской свиты; 7 – серицит-хлорит-кварцевые сланцы, метаморфизованные алевролиты сютхольской свиты; 8 – офиолитовые аллохтоны, меланж, олистостромы (эффузивы, туфы, серпентиниты, алевролиты, песчаники и сланцы чингинской свиты); 9–11 – интрузивные образования баянкольского комплекса: 9 – дайки микродиоритов III фазы, 10 – кварцевые, андезитовые и риолитовые порфиры II фазы, 11 – гранодиорит-, тоналит-порфиры, гранит-порфиры, риолиты I фазы; 12 – граниты сютхольского комплекса; 13 – серпентиниты, перидотиты, пироксениты и связанные с ними габброиды и диориты офиолитового акдовракского комплекса; 14 – лиственитизированные (а), березитизированные дайки гранодиорит-порфиров II фазы баянкольского комплекса (б) и березитизированные кварцевые песчаники ордовика (в); 15 – границы геологические (а) и фациальных переходов (б); 16 – разрывные нарушения достоверные (а) и предполагаемые (б); 17 – тектонические зоны; 18 – рудопроявления (а); мелкие рудопроявления и точки минерализации Au (б); 19 – рудопроявления золота (Хс – Хаак-Саирское, Ус – Улуг-Саирское, Ар – Арысканское, Ад – Ак-Дагское, Дш – Дуушкуннугское, Тх – Тожектыгхемское)



**Рис. 2.** Геологическая схема Арысканского рудопроявления (по данным В. В. Зайкова и др. [5] и Б. Д. Васильева и др. [10] с добавлениями)

1 – четвертичные отложения; 2 – алевролиты чергакской свиты; 3 – алевролиты, песчаники и конгломераты верхней подсвиты адырташской свиты; 4 – березитизированная дайка гранодиорит-порфиров I фазы баянкольского комплекса; 5 – березитизированные кварцевые песчаники и алевролиты ордовика; 6 – дайки диорит-порфиров III фазы баянкольского комплекса; 7 – кварцевые жилы и жильные зоны; 8 – границы геологические; 9 – разрывные нарушения: достоверные (а) и предполагаемые (б); 10 – номера проб и образцов и места их отбора; 11 – номера березитизированных зон; 12 – точки с видимым золотом; 13 – скважина

1 %) и чешуйками серицита (до 15 %), пронизанные тонкими прожилками кварца с пиритом. Выделения анкерита и сидерита (до 15 %) по размерам соизмеримы с зерном исходной породы, а гранулы новообразованного кварца очень мелкие – 0,005–0,02 мм. В гипергенных условиях железистые карбонаты частично разложены с выделением гидроокислов железа. В измененных породах отмечаются также более поздние кварц-анкеритовые прожилки мощностью 3,0–3,5 мм.

В I–IV зонах среди березитов встречаются реликты первичных неизмененных пород. Переходы от них к березитизированным породам постепенные. Березитизации подверглись отдельные слои вмещающих пород, которые наблюдаются ближе к вершинам «хребтиков». Их протяженность до 3,5 км; они не выдержаны по мощности (от 0,5 до 5 м); в отдельных телах она колеблется в среднем от 0,1–1,5 до 2 м. Залегание березитизированных пород крутое (с углами падения 75–85°), иногда вертикальное. Возможно, в I–IV зонах березитизированные дайки гранодиорит-порфиров находятся гипсометрически ниже березитизированных песчаников.

Мощность указанных даек составляет 0,2–1 м, протяженность до 2,5 км. Падение даек вертикальное, контакты их с вмещающими породами секущие. Простирание даек субширотное и согласуется с направлениями разломов. Реликтовая структура исходной породы порфировая с микрогипидиоморфнозернистой основной массой, новообразованная (лепидобластовая). Порфировые выделения размером 1–2 мм состоят из кристаллов альбитизированного плагиоклаза с редкими чешуйками серицита или сростков нескольких кристаллов. Количество порфировых выделений 2–3 %. В основной массе отмечаются выделения серицита до 15 %, анкерита 2 %, пирита 1 % и менее (кристаллы размером 0,2–0,5 мм).

Тела березитов и березитизированных пород секутся маломощными (2–7 см) жилами и прожилками штокверкового типа продуктивных стадий, в 3 км западнее зоны березитизации переходят в золотоносную жильно-прожилковую зону Улуг-Саирского рудопроявления.

Предварительная оценка Арысканского рудопроявления проведена в 1963–1965 гг. Нижнеалашской геолого-съемочной партией [4]. Содержание Au (более 2–31 г/т) было обнаружено в пяти пробах из V зоны. В 1967–1968 гг. Западной партией [2] повышенная концентрация Au установлена в I и V зонах (несколько проб с 2–3,1 г/т Au). Чтобы выяснить поведение золота на глубине, в I зоне пробурена одиночная скважина (111 м), которая выявила березитизированные породы в интервале 22–111 м. Мощность этих пород колеблется от 0,1 до 1,8 м, а расстояние между ними – от 1 до 30 м. Из 16 керновых проб Au определено только в одной (0,7 г/т), Ag – в восьми (от 15 до 107,8 г/т).

В 2009–2010 гг. на площади АМРУ поисковой партией ОАО «Красноярскгеолсъемка» проводились поисковые работы на рудное золото [6]. На Арысканском рудопроявлении по результатам литогеохимического опробования получены аномалии Аи, отражающие общую линейную морфологию золотоносной структуры, имеющей сложное ветвящееся строение. Во вторичных ореолах рассеяния золотоносная зона оконтуривается по изолинии 20 мг/т цепочечно-узловыми ореолами Au (с содержаниями до 30-80 мг/т в центральных частях) линейно вытянутыми в субширотном направлении примерно на 2500 м при ширине 50-400 м. По полученным вторичным ореолам Аи пройдены две линии шурфов и канав, вскрывших жильно-прожилковую зону мощностью 4 м с содержанием Au 3,4 г/т. По результатам этих работ для Улуг-Саирского рудного поля (Улуг-Саирское и Арысканское рудопроявления) оценены прогнозные ресурсы Аи по категории Р<sub>2</sub> при среднем содержании 2 г/т до глубины 200 м -20 т [6].

#### Стадии и минеральные ассоциации руд

На основе собственных наблюдений и с учетом материалов предшественников [10, 11] на рудопроявлении установлены следующие стадии (ассоциации):

– **допродуктивные** – березитовая (кварц, серицит, сидерит, анкерит, альбит, пирит), пирит-кварцевая (кварц, пирит, гематит, шеелит);

продуктивные – золото-сульфидно-кварцевая (кварц, халькопирит, пирит, галенит и золото), золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая (кварц, борнит, халькопирит, пирит, золото, петцит, гессит, теллуровисмутит, алтаит, Se-содержащий алтаит, Zn-теннантит-тетраэдрит и букхорнит);

– постпродуктивные – карбонатно-кварцевая (кварц, кальцит, Fe-доломит, анкерит, турмалин) и хлорит-гематит-кварцевая (кварц, хлорит и гематит) (рис. 3).

После образования предрудных среднетемпературных метасоматитов (березитов, березитизированных пород) и сопряженных с ними безрудных кварц-пиритовых жил происходило внедрение даек микродиоритов, диорит-порфиров, которые отнесены к III фазе баянкольского комплекса (D<sub>2-3</sub>). Последние пересечены кварцево-жильными образованиями продуктивных стадий. Безрудная кварцпиритовая стадия с шеелитом выражена гораздо ярче и представлена жилами (длиной до 4,5 м, мощностью 0,7 м) и прожилками (мощностью до 15 см), которые секут осадочные породы, березиты и березитизированные породы. Пирит сохранился в виде реликтовых зерен ксеноморфной формы в лимоните. Нередки мономинеральные пиритовые просечки. Кварц прожилков серый, сероватобелый.

Золото-сульфидно-кварцевая стадия накладывается на пирит-кварцевые прожилки в зонах метасоматитов и сланцев. Кварц белый, молочнобелый с переходами от серовато-белого до розовато-белого (за счет окисления гидроксидов Fe), имеет плотный мелкозернистый сливной облик. Образование кварца данной стадии сопровождается интенсивной гидротермальной проработкой вмещающих пород, продуктами которой являются хлорит и серицит. В свою очередь, минеральные ассоциации золото-сульфидно-кварцевой стадии отчетливо рассекаются поздними молочно-белыми кварцевыми прожилками золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии. Кварц поздней продуктивной стадии крупнозернистый, молочно-белый, непрозрачный.

Простирание кварцевых жил и жильных зон восточно-северо-восточное, залегание близкое к вертикальному, мощность жил от десятков см до 1 м, длина от 15 до 50 м. Жильные зоны представляют собой системы шириной до 5 м и протяженностью 10–75 м. Наличие в рудах халькопирита, галенита, борнита и пирита – положительный признак их золотоносности.

#### Минералогия продуктивных стадий

Состав минералов руд определялся на растровых электронных микроскопах (с пределами обнаружения содержаний элементов-примесей 0,01–0,3 мас. %): РЭММА-202М (Институт минералогии УрО РАН, Миасс) и MIRA LM (Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск), а также на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA 8100, САМЕВАХ-Місго с пределами обнаружения содержаний элементов-примесей – 0,001 мас. % (Институт геологии и минералогии СО РАН).

Ранняя золото-сульфидно-кварцевая стадия проявлена наиболее широко. Кварцевые жилы и прожилки – основные концентраторы Au. Среди алевролитов и микродиоритов они существенно халькопиритовые, в березитизированных гранодиорит-порфирах, кварцевых песчаниках и алевролитах – пиритовые. В существенно халькопиритовых жилах минералы представлены халькопиритом, пиритом, реже - галенитом и золотом. Халькопирит и пирит частично или полностью замещены гипергенными минералами (лимонитом, гетитом), т. е. продуктами их окисления. Довольно часто отмечаются выделения лимонита по пириту с реликтами последнего. Галенит при окислении в процессе выветривания образует церуссит и PbO (минерал глёт). Золото присутствует в виде мелких выделений в кварце в ассоциации с галенитом и халькопиритом (рис. 4). Морфология зерен золота весьма разнообразна, преобладают трещинно-прожилковые, комковидно-ветвистые и ксеноморфные разности.

Существенно пиритовые жилы в березитизированных гранодиорит-порфирах, кварцевых песчаниках и алевролитах развиты не так широко, они проявлены в виде пирит-кварцевых прожилков и жил северо-восточного простирания мощностью до 1 м и длиной до 40 м. Основной рудный минерал – пирит, редко отмечается халькопирит. Халькопирит и пирит встречаются в виде реликтовых зерен не-



Минеральные ассоциации	1	2	3	4	5	6	
Стадии	Допродук	тивные	Продукт	ивные	Постпрод	уктивные	Гипер-
Минералы	1	2	1	2	1	2	
Кварц							
Серицит			—				
Альбит	—						
Сидерит							
Анкерит							
Пирит							
Шеелит		—					
Гематит		—					
Халькопирит							
Галенит			—				
Золото			—				
Борнит							
Гессит				—			
Петцит				—			
Алтаит				—			
Se-содержащий алтаит							
Теллуровисмутит							
Блёклые руды				_			
Букхорнит							
Кальцит							
Fe-доломит					—		
Хлорит			—				
Малахит							—
Азурит							—
Халькозин							—
Ковеллин							—
Церуссит							_
Глёт							—
Лимонит							
Гётит							_
Чеховичит							—
Ютенбогардеит							_
Акантит							
Гипергенное серебро							
				-			

Рис. З. Парагенетическая схема Арысканского рудопроявления (толщина линий указывает на относительную степень распространенности минерала)

Допродуктивные стадии – березитовая (1) и пирит-кварцевая (3); продуктивные стадии – золото-сульфидно-кварцевая (1), золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая (2); постпродуктивные стадии – карбонатно-кварцевая (1) и хлоритгематит-кварцевая (2)

правильной формы, размерами 0,03–5,5 мм внутри выделений гидроксидов Fe зонально-ритмического строения. Золото в этих жилах приурочено к кварцу, пириту, халькопириту и гетиту, образованному по пириту и халькопириту по сульфидам при их окислении в коре выветривании. Оно представлено крупными ксеноморфными агрегатами и мелкими (первые десятки мкм) гипидиоморфными зернами и их сростками или тонкими пластинками, чешуйками (толщиной несколько микрометров) (см. рис. 5). Некоторые крупные пластинки и чешуйки золота состоят из отдельных зерен, скрепленных в полигональные агрегаты (см. рис. 5, в, г), что хорошо проявляется при травлении золота царской водкой (см. рис. 5, г).

Составы самородного золота существенно халькопиритовых и пиритовых жил золото-сульфидно-кварцевой стадии не различаются. В золото-суль-

#### Р. В. Кужугет, В. В. Зайков и др.



Рис. 4. Формы выделения золота (Au) золото-сульфидно-кварцевой стадии в кварце (Qz) в ассоциации с глётом (Lth), малахитом (Mlc) и гетитом (Gth)

а-в – обр. Т-199, прожилок кварца в микродиорите (V зона), г – обр. АРР-1-11, прожилок кварца в березитизированной дайке гранодиорит-порфира (V зона). Здесь и на рис. 6 фотографии в отраженных электронах сделаны на сканирующем электронном микроскопе MIRA LM (Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, аналитик Н. С. Карманов)

фидно-кварцевой стадии содержание Au от центра зерен к периферии зерен закономерно уменьшается на 1–2 мас. %, при этом содержание Ag увеличивается. Отмечаются содержания (мас. %) Ag до 19, Cu 0,40, Hg 0,24, Te 0,05 (табл. 1).

По химическому составу Au золото-сульфидно-кварцевой стадии можно разделить на две группы:

1) высокопробное с содержанием Ag до 10 мас. % (Au 89,25–93,75, Ag 6,33–9,49, Cu 0,01– 0,40, Hg 0,00–0,02, Te 0,00–0,04 мас. %);

2) среднепробное с содержанием Ag до 16 мас. % (Au 80,72-89,51, Ag 9,96-18,89, Cu 0,00-0,31, Hg 0,00-0,24, Te 0,00-0,05 мас. %).

Золото-теллуридно-сульфидно-кварцевая стадия – это единичные жилы и прожилки, наложенные на кварц-сульфидные жилы в березитизированных песчаниках и алевролитах. Золото отлагалось вместе с борнитом, петцитом, гесситом, алтаитом, Se-содержащим алтаитом, теллуровисмутитом, букхорнитом, Zn-теннантит-тетраэдритом, пиритом. Оно приурочено к кварцу, гетиту, чеховичиту и представлено многочисленными зернами различной морфологии размером до 100 мкм (рис. 6). В самородном золоте золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии содержание Au от центра зерен к их периферии закономерно уменьшается на 1–2 мас. %, при этом содержание Ag увеличивается. Отмечаются содержания Ag до 13,36, Cu до 0,25 мас. % (табл. 2).

По химическому составу золото данной стадии можно разделить на две группы:

1) высокопробное с содержанием Ag до 10 мас. % (Au 89,29–91,56, Ag 7,47–9,85, Cu 0,00– 0,25 мас. %);

2) среднепробное с содержанием Ag до 14 мас. % (Au 86,01–91,56, Ag 10,03–13,77, Cu 0,00– 0,09 мас. %).

Петцит и гессит представлены мелкими (5–20 мкм) включениями в кварце. Морфология выделений петцита и гессита разнообразна, но преобладают овальные формы, часто представленные их срастаниями (см. рис. 6, в, г). В гессите содержится (мас. %): Ag 63,21, Те 36,67, формула (из расчета на три атома) Ag<sub>2,01</sub>Te<sub>0,99</sub>, в петците – Ag 40,99–41,86; Au 25,53–25,62; Te 32,31–32,89, формула (вариации состава) из расчета на шесть атомов – Ag<sub>2,98–3,02</sub>Au<sub>1,01–1,02</sub>Te<sub>1,97–2,01</sub>.

Таблица 1

Образец	Au	Ag	Cu	Те	Hg	Сумма	Пробность, %
APP-2a	93,75	6,50	0,01	0,03	-	100,29	935
	92,75	6,55	0,01	-	-	99,31	934
APP-1a	93,29	6,33	0,27	-	-	99,89	934
	92,71	6,36	0,27	_	-	99,34	933
APP-2a	92,74	6,67	0,03	0,01	-	99,45	933
APP-1a	92,71	6,36	0,27	-	-	99,34	933
	93,01	6,47	0,28	0,02	0,02	99,89	932
APP-2a	91,55	6,67	0,02	-	-	98,24	932
	93,16	6,86	0,03	-	-	100,05	931
	92,66	6,90	0,04	-	-	99,60	930
AD 57 44	92,18	6,86	0,05	0,01		99,10	930
AP-57-11	92,87	6,91	0,25	-	-	100,03	928
Ap-1-11	92,44	7,12	0,40	-	-	99,96	925
AP-57-11	92,31	7,44	0,17	-	-	99,92	924
	92,07	7,38	0,23	-	-	99,68	924
	92,19	7,52	0,25	-	_	99,96	922
Ap-1-11	91,68	7,80	0,17	_	-	99,65	920
AP-57-11	91,87	7,92	0,19	-	-	99,98	919
APP-62	91,91	8,10	0,10	0,02	-	100,13	918
APP-57-11	91,18	8,45	0,21	-	-	99,84	913
	91,18	8,46	0,31	-	-	99,95	912
	91,05	8,46	0,31	_	-	99,82	912
APP-1a	91,04	8,72	0,25	-	-	100,01	910
APP-57-11	90,66	8,92	0,19	-	-	99,77	909
	90,70	8,81	0,39	_	-	99,90	908
APP-62	90,15	9,27	0,08	0,03	-	99,53	906
	90,10	9,33	0,11	0,01	-	99,55	906
APP-1a	90,22	9,28	0,18	_	-	99,68	905
APP-62	89,25	9,26	0,12	0,04	-	98,67	905
	90,10	9,33	0,11	-	-	99,54	905
	90,14	9,47	0,08	0,02	-	99,71	904
	89,55	9,33	0,12	0,02	-	99,02	904
	89,95	9,49	0,13	0,04	-	99,61	903
	89,56	9,47	0,13	0,03	-	99,19	903
	89,31	9,96	0,09	0,01	-	99,37	899
100 57 44	88,76	10,13	0,10	0,01	_	99,00	897
APP-57-11	89,51	10,06	0,31	-	-	99,88	896
APP-62	88,56	10,45	0,11	-	-	99,12	893
	88,51	11,61	0,05	0,01	0,09	100,27	883
	87,22	11,/8	0,07	0,02	-	99,09	880
	87,86	11,88	0,06	0,02	0,09	99,91	8/9
	87,81	11,92	0,06	0,02	0,04	99,85	8/9
	87,42	11,94	0,08	0,02	0,04	99,50	8/8
	86,85	11,95	0,06	0,01	-	98,87	878
АРР-1а	86,70	12,03	0,05	0,02	-	98,80	878
	87,15	12,84	-	-	-	99,99	872
<b>T</b> 400	87,09	12,96	0,01		-	100,06	870
T-199	86,33	13,05	-		-	99,38	869
APP-1a	86,06	13,10	0,02	-	-	99,18	868
APP-62	86,43	13,12	0,05	_	0,24	99,84	866
	86,13	13,17	0,05	0,02	0,20	99,57	865
	86,19	13,24	0,08	0,04	0,24	99,79	864
	85,75	13,20	0,05	0,01	0,24	99,25	864
	85,59	13,42	0,07	0,03	0,12	99,23	863
	85,20	13,57	0,04	0,02	0,17	99,00	861
APP-1a	86,60	14,01	0,09	-	-	100,70	860
	85,78	14,20	-	-	-	99,98	858
	85,75	14,13	0,07	-	-	99,92	858
	84,85	14,05	0,02	0,01	-	98,93	858
	86,00	14,71	0,02	0,05	-	100,78	853
1-199	84,50	15,42	-	-	-	99,33	851

№ 1(29) ♦ 2017 —

#### Окончание табл. 1

Образец	Au	Ag	Cu	Те	Hg	Сумма	Пробность, ‰
APP-62	82,95	16,03	0,05	-	0,17	99,20	836
	83,14	16,82	_	_	-	99,96	832
APP-1a	82,17	17,91	0,01	0,01	0,01	100,11	821
	80,72	18,89	_	0,01	-	99,62	810

Примечания. Обр. АР-62 и АРР-2а – кварцевые жилы в алевролитах (II зона); обр. АРР-57-11 – кварцевая жила в березитизированных песчаниках (II зона); обр. АРР-1а, АРР-1-11 – кварцевые прожилки в березитизированной дайке гранодиорит-порфира (V зона); обр. Т-199 – прожилок кварца в микродиорите (V зона). Состав золота в образцах АР-62, АРР-2а АРР-1а и АРР-1-11 определялся на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA 8100, САМЕВАХ-Місго (аналитик Е. Г. Дашкевич), Т-199, АРР-57 и АРР-57-11 – на электронном микроскопе РЭММА-202М с ЭДА (аналитик В. А. Котляров).

Таблица 2 Химический состав золота кварцевых прожилков золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии в обр. APP-57, мас. %

Au	Ag	Cu	Сумма	Пробность, ‰
91,56	7,47	0,15	99,03	925
90,62	8,68	-	99,30	913
90,73	8,80	-	99,53	912
90,21	9,09	0,25	99,30	908
90,57	9,25	0,13	99,82	907
90,40	9,24	0,01	99,64	907
90,29	9,36	0,02	99,65	906
89,33	9,85	0,01	99,18	901
89,24	9,77	0,04	99,01	901
89,35	10,03	0,01	99,38	899
87,62	11,50	0,09	99,12	884
86,19	13,27	0,01	99,47	867
86,01	13,36	_	99,37	866

Примечание. Обр. АР-57 – кварцевый прожилок в кварцевой жиле среди березитизированных песчаников и алевролитов (II зона). Состав золота определялся на электронном микроскопе MIRA LM с EDX (аналитик С. Н. Карманов).

В золоте отмечаются небольшие округлые выделения (до 5 мкм) Se-содержащего алтаита, для которого характерен следующий состав (мас. %): Pb 62,28; Те 36,30; Se 1,11; Au 0,07, формула (из расчета на два атома) – Pb<sub>1,00</sub>(Te<sub>0,95</sub>Se<sub>0,05</sub>)<sub>1,0</sub>. Выделения теллуровисмутита (мас. %) отмечаются в кварце (до 200 мкм) и золоте (до 12 мкм): Те 47,53; Ві 2,07, формула (из расчета на пять атомов) – Те<sub>3.00</sub>Ві<sub>2.00</sub>. Мелкие (5-10 мкм) включения букхорнита наблюдаются в кварце и золоте в ассоциации с теллуридами Au-Аg, Ag и Pb (см. рис. 6, д, е). В букхорните определяются (мас. %): Au 15,72–17,85; Pb 38,01–38,90; Bi 14,23–15,04; Те 21,29–22,13; S 7,76–8,25, формула (вариация состава) из расчета на девять атомов -Аи<sub>0.94-1.06</sub>Pb<sub>2.16-2.21</sub>Bi<sub>0.80-0.85</sub>Te<sub>1.96-2.04</sub>S<sub>2.90-3.02</sub>. По данным [12], букхорнит является типоморфным минералом вулканогенных гидротермальных месторождений Au и Au-Ag от колчеданных до убогосульфидных.

В коре выветривания развиты малахит, азурит, лимонит, халькозин, ковеллин, церуссит ( $Pb[CO_3]$ ), гипергенное серебро (Ag), акантит (Ag<sub>2</sub>S), ютенбогардеит (Ag<sub>3</sub>AuS<sub>2</sub>), чеховичит (Bi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>O<sub>11</sub>) и другие

гипергенные минералы, которые развиты по первичным минералам. Мощность зоны гипергенеза не менее 30 м. Чеховичит развивается за счет окисления теллуровисмутита. Выделения ютенбогардеита (до 30 мкм), акантита (до 15 мкм) и гипергенного серебра (до 35 мкм) отмечаются среди гидроокислов Fe (гетита и гидрогетита) в виде мельчайших зерен сложной формы. Состав (мас. %) ютенбогардеита: Au 33,25–33,46; Ag 54,06–55,18; S 11,31– 11,34, формула (из расчета на шесть атомов) – Ag<sub>2,95–2,97</sub>Au<sub>0,98–0,99</sub>S<sub>2,05–2,06</sub>; акантита: Ag 86,96; S 12,94, формула (из расчета на три атома) – Ag<sub>2,00</sub>S<sub>1,00</sub>. Для гипергенного серебра элементы-примеси не характерны.

# Условия образования кварца и золота продуктивных стадий

Микротермометрические исследования флюидных включений в кварце проводились в микротермокамере THMS-600 (Linkam), позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале от -196 до +600 °C, с микроскопом Olympus BX51 (Южно-Уральский государственный университет, Миасс, аналитик Н. Н. Анкушева). Программное обеспечение LinkSys V-2,39. Погрешность измерительной аппаратуры ±0,1 °С в интервале температур от -20 до +80 °С и ±1 °С за его пределами. Солевой состав растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик [3]. Температуры гомогенизации (Т<sub>гом</sub>) фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере. Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз [14]. Обработка результатов измерений выполнена в программе Statistica 6.1. Результаты термобарогеохимических исследований приведены на рис. 7, 8.

В ходе работы были проанализированы флюидные включения в кварце жил ранней золото-сульфидно-кварцевой стадии в алевролитах (обр. APP-62) и в березитизированных песчаниках (обр. APP-60). Кварц в жилах крупнозернистый, молочно-белый, участками прозрачный или полупрозрачный, редко ожелезненный.

Флюидные включения в кварце (обр. APP-62) из жил в алевролитах некрупные (5–10 мкм), плоские, с кристаллографическими очертаниями, раз-



Рис. 5. Формы выделения золота (Au) в гетите (Gth) из жилы золото-сульфидно-кварцевой стадии

Обр. АР-57-11 — кварцевая жила, секущая березитизированные песчаники (II зона). Фотографии в отраженных электронах сделаны на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М (Институт минералогии УрО РАН, Миасс, аналитик В. А. Котляров)

меры газовых пузырьков достигают 20-30 % объема включения. Включения расположены обособленно, приурочены к центральным частям зерен кварца. Их гомогенизация происходит в газовую фазу. Определения температур эвтектики единичны, поскольку затруднены из-за малого размера включений. Установлено, что эвтектика растворов включений происходила в диапазоне от -23,1 до –23,9 °С (n = 10), отвечающем NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O составу раствора. Температура плавления льда в растворе включений варьирует от -2,5 до -4,7 °C, а соленость в соответствии с ней – от 4 до 7,5 мас. % NaCl-экв. (n = 47). Распределение значений солености имеет вид одномодальной гистограммы с обрывом слева, преобладает интервал 5-6,5 мас. % (см. рис. 7, в). Включения гомогенизировались при температурах от 230 до 290 °C (n = 47). Распределение значений температур гомогенизации также одномодальное, гистограмма асимметричная, пик приходится на 240-255 °С (см. рис. 7, а).

В кварце (обр. АРР-60) из жилы в березитизированных кварцевых песчаниках установлены два типа двухфазных флюидных включений: 1) более крупные (≈10–12 мкм), изометричной или удлиненной формы, иногда с кристаллографическими элементами, располагающиеся равномерно в кварце; 2) мелкие округлые включения (≈5 мкм), образующие скопления по три – четыре включения.

Первый тип более высокотемпературный (Т<sub>гом</sub> = 200–270 °С, n = 61). Распределение значений температур гомогенизации мультимодальное, преобладающий интервал значений 200–270 °С (см. рис. 7, б). При замораживании включений установлено, что температуры эвтектики находятся в интервале –22,8...–23,9 °С (n = 22), отвечающем солевой системе NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O. Концентрации солей в пересчете на NaCl составили 4–8 мас. % (n = 52). Для значений солености характерно бимодальное распределение с выраженными пиками 4,5–5 и 5,5–6,5 мас. % (см. рис. 7, г).

Второй тип включений характеризуется более низкими температурами (T<sub>гом</sub> = 158–180 °C, n = 11). Эти включения очень мелкие, поэтому при криометрических исследованиях лишь в единичных случаях удалось зафиксировать температуру эвтектики (-21 °C, что отвечает водно-солевому раствору NaCl-H<sub>2</sub>O). Температуры плавления льда во включениях -1,7...-5,0 °C, что соответствует солености раствора 2,9–7,8 мас. % NaCl-экв. (n = 11).

По данным [13], формирование жил Улуг-Саирского рудопроявления АМРУ происходило при давлении 0,9–1,0 кбар. Если принять, что глубины

№ 1(29) ♦ 2017



Рис. 6. Формы выделения минералов золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии

Обр. AP-57 — кварцевый прожилок в кварцевой жиле среди березитизированных песчаников и алевролитов (II зона): а – золото (Au), теллуровисмутит (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>) с кварцем (Qz) и чеховичитом (Chv); б – теллуровисмутит в золоте, в ассоциации с кварцем, чеховичитом и гетитом (Gth); в – срастания петцита (Pz) с алтаитом (Alt), гессита (Hs) с петцитом в кварце; г – выделения петцита и гетита в кварце; д–е – букхорнит (Bkh) в золоте и кварце в ассоциации с гетитом

формирования Арысканского и Улуг-Саирского рудопроявления близки, то поправка к температурам гомогенизации составляет 50 °С. Соответственно, температуры формирования кварцевых жил золото-сульфидно-кварцевой стадии на Арысканском рудопроявлении могли достичь 208–340 °С.

Температурный интервал формирования золототеллуридной минерализации золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии, судя по диаграмме стабильности Au-Ag-Te минералов ассоциации петцит – гессит – самородное золото, соответствует 280–128 °C при  $\log f(\text{Te}_2) = 10^{-13}-10^{-10}$  [9].

#### Обсуждение результатов

Отложение золота Арысканского рудопроявления происходило в две стадии. Ранняя стадия представлена золотосульфидной ассоциацией с халькопиритом, пиритом и галенитом. Поздняя







**Рис. 7.** Гистограммы распределения значений температур гомогенизации (а, б) и солености (в, г) включений в кварце из жил Арысканского рудопроявления: а, в – в алевролитах, б, г – в березитизированных песчаниках; N – количество измерений



Рис. 8. Соотношение температур гомогенизации (T<sub>гом</sub>, °C) и концентраций солей (С, мас. %) в растворах флюидных включений в кварце Арысканского рудопроявления

Жилы: 1 – в алевролитах; 2 – в березитизированных песчаниках; поля рудопроявлений АМРУ: ХС – Хаак-Саирское [15]; УС – Улуг-Саирское: УС<sub>1-2</sub> – золотокварцевые жилы в нижней конгломератовой толще: УС<sub>1</sub> – жила № 18 с высокопробным золотом, УС<sub>2</sub> – жила № 4 с серебристым золотом [1]

продуктивная стадия представлена золототеллуридной ассоциацией с гесситом, петцитом, алтаитом, теллуровисмутитом и т. д. Более продуктивна первая (золото-сульфидно-кварцевая) стадия. По составу продуктивных минеральных ассоциаций Арысканское рудопроявление отвечает золото-пирит-халькопиритовому типу с теллуридами (Au-Ag, Ag и Pb), теллуровисмутитом, Se-содержащим алтаитом и букхорнитом, т. е. характеризуется своеобразным минеральным составом руд, которому присущи некоторые черты вулканогенно-гидротермальных, вулканогенно-плутоногенных золотокварцевых месторождений. Золотины продуктивных ассоциаций Арысканского рудопроявления по химическому составу близки и образуют следующий ряд:

1) высокопробное с содержанием Ag до 10 мас. % (Au 89,25–93,75, Ag 6,33–9,85, Cu 0,00– 0,40, Hg 0,00–0,02, Te 0,00–0,04 мас. %);

2) среднепробное с содержанием Ag до 20 мас. % (Au 80,72–91,56, Ag 9,96–19,89, Cu 0,00– 0,31, Hg 0,00–0,24, Te 0,00–0,05 мас. %).

Минералого-геохимическими методами установлено, что средняя пробность золота рудопроявления составляет 894 ‰ при вариациях от 810 до 935 ‰, первой продуктивной стадии – 893 ‰ (от 810 до 935 ‰), второй – 900 ‰ (866–925 ‰). Золотины продуктивных стадий сходны и характеризуются присутствием Аg до 19,89 мас. %, Hg – 0,24 мас. %, Te – 0,05 мас. %, Cu – 0,40 мас. %.

Менее выраженная зональность золотин предполагает более устойчивые физико-химические параметры минералообразования. Термобарогеохимические исследования показали, что минеральные ассоциации золото-сульфидно-кварцевой стадии кристаллизовались из растворов состава NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O с соленостью 3–8 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации флюидных включений в кварце – 290–153 °C (с учетом поправки на давление 0,9–1,0 кбар, истинные температуры рудообразования составили 340–208 °C). По данным геотермометров, геофугометров и по минеральным парагенезисам определены температура и летучесть золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии: T = 128–280 °C;  $\log f(Te_2) = 10^{-13}-10^{-10}$ .

Наличие в рудах Те может свидетельствовать о глубинном источнике рудообразующих растворов.

На это также косвенно указывают термобарогеохимические особенности кварца из золото-кварцсульфидных жил: повышенная соленость растворов (до 8 мас. % NaCl-экв.) и присутствие КCl в составе солей.

### Выводы

Таким образом, на Арысканском рудопроявлении установлены две продуктивные стадии. Ранняя представлена золотосульфидной ассоциацией, поздняя – золототеллуридной ассоциацией. Изучение минералогии руд Арысканского рудопроявления с помощью методов электронной микроскопии позволило выявить новую для рудопроявления золототеллуридную минеральную ассоциацию, а также ранее не описанные здесь минералы: петцит, гессит, алтаит, теллуровисмутит, букхорнит, Znтеннантит-тетраэдрит, гипергенное серебро, акантит, ютенбогардеит, чеховичит и т. д.

Золотины продуктивных стадий рудопроявления по химическому составу близки, в обеих стадиях отмечаются высокопробное и среднепробное золото. Средняя пробность золота рудопроявления составляет 894 ‰ при вариациях от 810 до 935 ‰.

Установлено, что руды Арысканского рудопроявления формировались при температурах 340–128 °C; ранней золото-сульфидно-кварцевой стадии – при температурах 340–208 °C, золото-теллуридно-сульфидно-кварцевой стадии при более низких температурах – 128–280 °C.

Авторы благодарны А. А. Монгушу, Е. К. Дружковой, Б. Д. Васильеву, И. Ю. Мелекесцевой за консультации и помощь в проведении исследований.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта СО РАН VIII.72.2.6 и проекта, поддержанного Правительством РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02. А03.21.0011.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анкушева Н. Н., Зайков В. В. Физико-химические условия формирования золотокварцевых жил Улуг-Саирского месторождения (Западная Тува) // Металлогения древних и современных океанов – 2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. – С. 127–135.

2. Безруков О. А. Результаты поисково-оценочных работ в бассейне рек Ак-Суг, Алаш, Хемчик. – Кызыл, 1969. – 199 с.

3. Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1997. – № 8. – С. 16–28.

4. **Геологическое** строение и полезные ископаемые междуречья Ак-Суг – Хемчик / В. В. Зайков, С. С. Куликов, Е. В. Онуфриева и др. – Кызыл, 1966. – 345 с.

5. Зайкова Е. В., Зайков В. В. О золотом оруденении в Западной Туве, связанном с девонским магматизмом // Материалы по геологии Тувинской АССР. – Кызыл, 1969. – С. 72–76.

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

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

8. 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) // Металлогения древних и современных океанов – 2011. Рудоносность осадочно-вулканогенных и гипербазитовых комплексов. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. – С. 262–268.

9. Парагенезисы теллуридов золота и серебра в золоторудном месторождении Флоренсия (Республика Куба) / Н. С. Бортников, Х. Крамер, А. Д. Генкин и др. // Геология рудных месторождений. — 1988. — № 2. — С. 49—61.

10. Ревизионно-оценочные работы на золото в Алашском и Эйлиг-Хемском районах Западной Тувы / Б. Д. Васильев, В. П. Дружков, А. И. Красиков, Г. Ю. Боярко. – Кызыл, 1977. – 337 с.

11. **Рудные** формации Тувы / отв. ред. В. А. Кузнецов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 201 с.

12. Спиридонов Э. М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Аи минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов: тр. Всерос. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 80-летию Кольского НЦ РАН. – Апатиты: Издво К&М, 2010. – С. 143–171.

13. Физико-химические условия формирования гидротермальных месторождений Западной Тувы / А. С. Борисенко, В. И. Лебедев, А. С. Оболенский и др. // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 226–235.

14. **Bodnar R. J., Vityk M. O.** Interpretation of microthermometric data for  $H_2O$ -NaCl fluid inclusions// Fluid inclusions in minerals: methods and applications. – Pontignana-Siena, 1994. – P. 17–130.

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

## REFERENCES

1. Ankusheva N.N., Zaykov V.V. [Physical and chemical conditions of formation of gold-quartz veins at the Ulug-Sairskoe deposit (Western Tuva)]. *Metallo-*

Минерагения, рудные и нерудные месторождения

geniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2009. Modeli rudoobrazovaniya i otsenka mestorozhdeniy [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2009. Models of ore formation and estimatiom of deposits]. Miass, IMin UrO RAN Publ., 2009, pp. 127–135. (In Russ.).

2. Bezrukov O.A. *Rezul'taty poiskovo-otsenochnykh rabot v basseyne rek Ak-Sug, Alash, Khemchik* [Results of prospecting and estimation of the basins of the Ak-Sug, Alash, and Khemchik rivers]. Kyzyl, 1969. 199 p. (In Russ.).

3. Borisenko A.S. Research into the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by cryometry. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1997, no. 8, pp. 16–28. (In Russ.).

4. Zaykov V.V., Kulikov S.S., Onufrieva E.V., et al. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye mezhdurech'ya Ak-Sug – Khemchik* [Geological structure and mineral resources of the Ak-Sug – Khemchik interstream area]. Kyzyl, 1966. 345 p. (In Russ.).

5. Zaykova E.V., Zaykov V.V. [Gold mineralisation in Western Tuva, associated with the Devonian magmatism]. *Materialy po geologii Tuvinskoy ASSR* [Collected papers on geology of the Tuva ASSR]. Kyzyl, 1969, pp. 72–76. (In Russ.).

6. Kononenko N.B. [Preliminary results of the research into the gold-bearing Aldan-Maadyrskaya zone (Republic of Tyva)]. *Geologiya i mineral'nye resursy Tsentral'noy Sibiri: materialy nauch.-prakt. konf.* [Geology and mineral resources of Central Siberia: Proceedings of the research to practice conference]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskgeolsyomka Publ., 2011, pp. 162– 166. (In Russ.).

7. Kuzhuget R.V. Zoloto-telluridnoe orudenenie Aldan-Maadyrskogo rudnogo uzla (Zapadnaya Tuva): mineralogo-geokhimicheskie osobennosti rud i usloviya ikh obrazovaniya: Avtoref. dis. ... k.g.-m.n. [Gold-telluride mineralisation of the Aldan-Maadyrsky ore cluster (Western Tuva): Mineral and geochemical features of ores and mineralisation conditions: Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, 2014. 20 p. (In Russ.).

8. Mongush A.A., Kuzhuget R.V., Druzhkova E.K. [Composition features of magmatic rocks and Ar–Ar data on the age of basic dykes in the Aldan-Maadyrskaya gold-ore zone (Western Tuva)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov–2011. Rudonosnost' osadochno-vulkanogennykh i giperbazitovykh*  *kompleksov* [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2011. Ore potential of volcanosedimentary and ultramafic complexes]. Miass, Imin UrO RAN Publ., 2011, pp. 262–268.

9. Bortnikov N.S., Kramer H., Genkin A.D., et al. [Parageneses of gold and silver tellurites in the Florence gold-ore deposit (Republic of Cuba)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* – *Geology of Ore Deposits*, 1988, no. 2, pp. 49–61. (In Russ.).

10. Vasilyev B.D., Druzhkov V.P., Krasikov A.I., Boyarko G.Yu. *Revizionno-otsenochnye raboty na zoloto v Alashskom i Eylig-Khemskom rayonakh Zapadnoy Tuvy* [Revision and appraisal of gold content in the Alashsky and Eylig-Khemsky regions of Western Tuva]. Kyzyl, 1977. 337 p. (In Russ.).

11. *Rudnye formatsii Tuvy* [Ore formations of Tuva]. Ex. ed. Kuznetsov V.A. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 201 p. (In Russ.).

12. Spiridonov E.M. [Review of gold mineralogy in the leading types of Au mineralisation]. *Zoloto Kol'skogo poluostrova i sopredel'nykh regionov. Trudy Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu Kol'skogo NTs RAN. Apatity, 26–29 sent. 2010 g.* [Gold of the Kola Peninsula and the adjacent regions. Proceedings of the Russian Scientific Conference with international participation, dedicated to the 80<sup>th</sup> anniversary of the Kolsky NTs RAN. Apatity, 26–29 September 2010]. Apatity, K & M Publishing, 2010, pp. 143–171. (In Russ.).

13. Borisenko A.S., Lebedev V.I., Obolenskiy A.S., et al. [Physical-chemical conditions of formation of hydrothermal deposits in Western Tuva]. *Osnovnye parametry prirodnykh protsessov endogennogo rudoo-brazovaniya* [Basic parameters of natural processes of endogenous mineralisation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, pp. 226–235. (In Russ.).

14. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for  $H_2O$ -NaCl fluid inclusions. *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena, 1994, pp. 17–130.

15. Melekestseva I., Ankusheva N., Zaykov V., et al. Formation conditions of the Khaak-Sair and Sarytash gold deposits in listvenites, Western Tyva: evidences from fluid inclusions. *Large igneous provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny: Abstracts of the International Conference*. Irkutsk, 2011, pp. 162–165.

> © Р. В. Кужугет, В. В. Зайков, Н. Н. Анкушева, 2017