

УДК 549.622.775

DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-6-26-36

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ЮТЕНБОГААРДИТЕ В РУДЕ ТАСЕЕВСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ (РОССИЯ)**THE FIRST DATA FROM UYTENBOGAARDITE IN THE ORE OF THE TASEYEVSKOYE GOLD-SILVER DEPOSIT IN EASTERN TRANSBAIKALIA (RUSSIA)**

Г. А. Юргенсон, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита
yurgga@mail.ru

G. Yurgenson, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita

Актуальность исследования заключается в необходимости иметь полные данные об особенностях минералогии уникальных по содержанию золота и серебра руд месторождений малоглубинной золотосеребряной формации, одним из примеров которых является Тасеевское месторождение в Балейском рудном поле в Восточном Забайкалье. **Цель исследования** – определить минеральный состав богатых золотосеребряных руд Тасеевского месторождения. **Объект исследования** – гессит-ютенбогаардит-электрум-халькопирит-кальцит-кварцевая минеральная ассоциация. **Предмет исследования** – химический состав и формы выделения ютенбогаардита. **Метод и методология** – оптическая и электронная микроскопия с определением форм выделений и вариаций химического состава ютенбогаардита. **Результаты исследования:** впервые в золотосеребряной руде Тасеевского месторождения выявлен редкий сульфид Au и Ag ютенбогаардит, определен его химический состав и установлено, что он находится в ассоциации с электрумом, халькопиритом, сфалеритом, гесситом, кварцем, акантитом, цервелеитом, петцитом. Преобладают субсферические формы агрегатов, реже – линзовидные и прожилковые. Размеры его кристаллов и их сростков 0,005...0,5 мм. Все кристаллы характеризуются нестехиометричностью. Содержание основных химических элементов варьирует в пределах, мас. %: Ag 52,43–65,42; Au 22,57–41,46; S 7,23–12,84. Среди изученных индивидов ютенбогаардита три содержат 2,98...5,18 % Te. Находящееся в ассоциации с ютенбогаардитом Au низкопробное, содержит 43,32...56,42 % Ag и по их соотношению является электрумом. Ютенбогаардит выявлен только в верхней части рудной зоны Тасеевского месторождения. Это может быть типоморфным признаком для определения принадлежности содержащего его халцедоновидного кварца к надрудной зоне месторождения малоглубинной золотосеребряной формации

Ключевые слова: ютенбогаардит, электрум, гессит, халькопирит, халцедоновидный кварц, верхнерудная зона, Тасеевское золотосеребряное месторождение, Забайкалье, минеральные руды

The relevance lies in the need to have complete data on the features of the mineralogy of the unique in terms of gold and silver content ores of shallow gold-silver formation deposits, one example of which is the Taseevskoye deposit in the Baleisky ore field in Eastern Transbaikalia. The purpose of the study is to determine the mineral composition of the rich gold-silver ores of the Taseevsky deposit. The object of the study is a hessite-uytenbogaardite-electrum-chalcopyrite-calcite-quartz mineral association. The subject of the study is the chemical composition and forms of isolation of uytenbogaardite. Method and methodology used are optical and electron microscopy with the determination of forms of precipitation and variations in the chemical composition of uytenbogaardite. The results are the following: for the first time, the rare Au and Ag sulfide uytenbogaardite was identified in the gold-silver ore of the Taseevskoye deposit, its chemical composition was determined, and it was found that it is in association with electrum, chalcopyrite, sphalerite, hessite, quartz, acanthite, cervelite, and petzite. Subspherical forms of aggregates predominate, less often lenticular and veinlets. The size of its crystals and their intergrowths is 0,005...0,5 mm. All crystals are nonstoichiometric. The content of the main chemical elements varies within (wt. %): Ag 52,43–65,42; Au 22,57–41,46; S 7,23–12,84. Among the studied individuals of uytenbogaardite, three contain from 2,98 to 5,18 %

Te. Low grade Au, which is associated with uytenbogardite, contains from 43,32 to 56,42 % Ag and is electrum by their ratio. Uytenbogardite was found only in the upper part of the ore zone of the Taseevskoe deposit. This may be a typomorphic feature for determining whether the chalcedony-like quartz containing it belongs to the supra-ore zone of a deposit of a shallow gold-silver formation

Key words: uytenbogardite, electrum, hessite, chalcopyrite, chalcedonic quartz, upper ore zone, Taseevskoe gold and silver deposit, Transbaikalia, mineral ores

Введение. Ютенбогаардит (Uytenbogardite, Ag_3AuS_2) относится к минералам золота и серебра руд золотосеребряных месторождений, а также полиметаллических (Гайское на Урале и Змеиногорское на Алтае) [25]. Название «ютенбогаардит» ввели в научный оборот в 1978 г. М. Д. Бартон, К. Кифт, Е. А. Берк и И. Д. Оен [19]. Впоследствии он неоднократно фиксировался в рудах месторождений малоглубинной золотосеребряной формации, которые по традиции в западной и американской литературе называют эпитепмальными [12; 14; 19–21; 25]. В последние годы в связи с использованием электронной микроскопии ютенбогаардит неоднократно наблюдался в рудах месторождений Северо-Востока России [3; 5; 6; 12; 13], а также на Таймыре [1; 9]. Изучены условия его образования [4; 6–8; 13], в том числе и по экспериментальным данным [7; 8; 23]. Особенностью ютенбогаардита является непостоянство его состава, заключающееся в широких вариациях соотношений золота и серебра, а также присутствия теллура, обусловленного его изоморфизмом с серой с образованием промежуточных индивидов между ютенбогаардитом и петцитом (Ag_3AuTe_2), а также с фишесеритом (Ag_3AuSe_2) в случае замещения серы селеном [17; 22].

В рудах Балецкого рудного поля, минералогия которого детально изучалась под руководством Н. В. Петровской в 1960–1970-е гг., когда электронно-микроскопические методы в СССР только начинали внедряться, он не был известен [2]. Балецкое рудное поле находится в одноименном административном районе Забайкальского края, в долине р. Унда, в непосредственной близости от г. Балец (рис. 1). Оно является частью Балецкого рудного района Агинской зоны Монголо-Охотского рудного по-

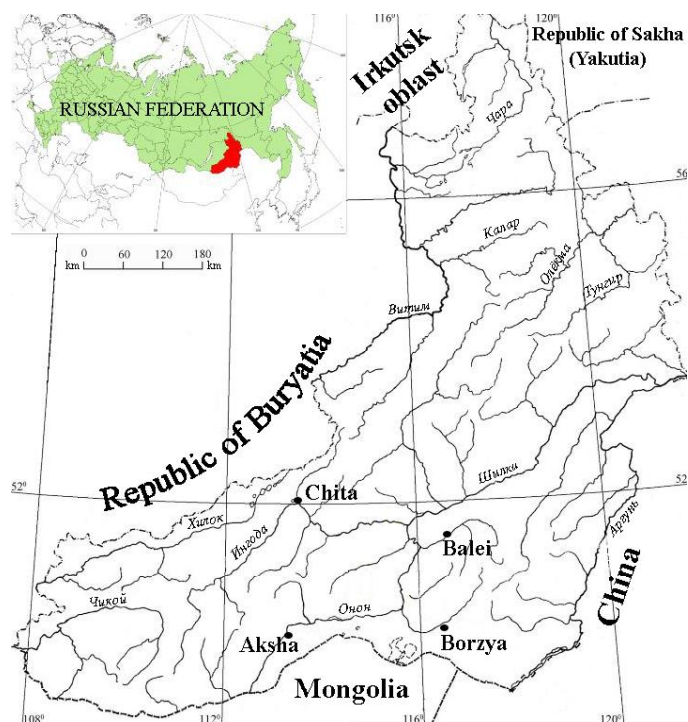


Рис. 1. Местоположение г. Балец и Балецкого рудного поля / Fig. 1. Location of the town of Balei and the Baleysky ore field

яса и включает два крупных золотосеребряных месторождения – Балецкое и Тасеевское, а также находящееся между ними Южное поле.

Точная дата открытия коренной золотоносности неизвестна, но по воспоминаниям местных старожилов на так называемой Золотой горке, сложенной кварцевым штокверком в гранодиоритах ундинского интрузивного комплекса палеозойского возраста, найдены золотоносные кварцевые жилы, представляющие собой собственно Балецкое месторождение. Они содержали необычное низкопробное зеленовато-желтое золото. Месторождение интенсивно разрабатывалось местными жителями, в основном, китайского происхождения, и только с 1926 г. стало объектом государственных геологоразведочных работ. К 1929 г. разве-

дано под руководством геолога В. И. Кадрова и тогда же построена 1-я очередь комбината «Балейзолото». Затем открыто Южное поле, которое обрабатывалось подземным способом, как и собственно Балейское, а затем карьерами. Особенностью Южного поля является то, что штокверк золотоносных жил локализован не в гранодиоритах, а в конгломератах юрско-мелового возраста Балейского грабена, залегающих на коре выветривания по гранодиоритам.

Тасеевское месторождение открыто в 1941 г. бурением и подземными горными выработками разведано к 1973 г. в процессе эксплуатации, начатой в 1948 г. подземным способом. Комбинат «Балейзолото» функционировал до 1993 г., когда, как и большинство горнопромышленных предприятий Забайкалья, в результате акционирования, как следствия перестроечных процессов, ликвидирован, а подземные выработки и карьеры затоплены. Добыто с учетом россыпного золота около 500 т металла. В недрах осталось около 140 т золота.

Балейское рудное поле приурочено к Ундинской депрессионной зоне, совмещенной в пределах рудного района с зоной регионального глубинного Борщовочного разлома [2; 10] (рис. 2).

По результатам определения абсолютного возраста адуляра калий-аргоновым методом из балейских золоторудных жил (120...114 млн лет) [2; 11] и датировки вмещающих и перекрывающих пород палеонтологическими методами, время формирования оруденения приходится на меловой период [7]. Тасеевское месторождение находится в Ундино-Даинской впадине в её структурном фрагменте, называемом Балейским грабеном [2; 10]. Геологическое строение рудного поля и месторождений было к 1983 г. хорошо изучено и отображено в известной монографии [2] и более поздних работах¹ [16 и др.] и здесь не рассматривается.

Руды относятся к убогосульфидным [2]. Они состоят из кварца (до 95...98 %, реже 50...90 %), слоистых силикатов (до 10 %, редко более), карбонатов (0,1...20 %), адуляра (0,01...10 %), сульфидов и сульфосолей (0,5...1,5 %, редко 3...5 %), самородного золота в среднем 14...20 г/т (до 346 кг/т).

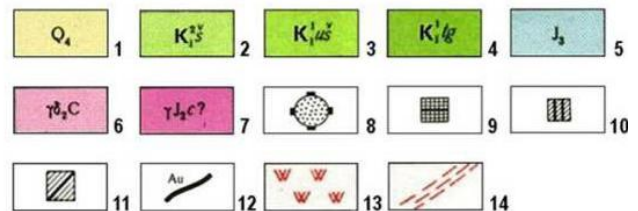
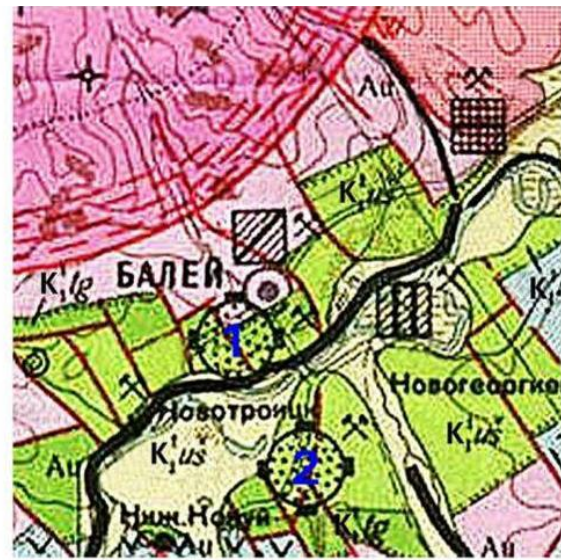


Рис. 2. Геологическая позиция Балейского рудного поля. По [7] с изменениями. Четвертичные отложения: 1 – аллювиальные пески, сулинки, галечники. Меловые отложения: 2 – шилкинская толща, конгломераты, прослои песчаников; 3 – ундино-шилкинская толща, песчаники, алевролиты, конгломераты, прослои углей; 4 – тергенская толща, конгломераты. Юрские отложения: 5 – шадоронская серия, вулканогенно-осадочные образования. Интрузивный магматизм: 6 – граниты и гранодиориты ундинского интрузивного комплекса; 7 – борщовочные граниты. Месторождения: 8 – золота (1 – Балейское; 2 – Тасеевское), 9 – глины кирпичные, гончарные, 10 – галька, гравий, 11 – пески строительные, 12 – россыпи золота. Наложённые метасоматические и метаморфические процессы: 13 – вторичные кварциты, 14 – зоны мylonитизации и расщепления / Fig. 2 – Geological position of the Baleysky ore field. According to [7] with modifications. Quaternary deposits: 1 – alluvial sands, loams, pebbles. Cretaceous deposits: 2 – Shilkinskaya sequence, conglomerates, sandstone interlayers; 3 – undine-shilkinskaya sequence, sandstones, siltstones, conglomerates, coal interlayers; 4 – tergen sequence, conglomerates. Jurassic deposits: 5 – shadron series, volcanogenic-sedimentary formations. Intrusive magmatism: (6) granites and granodiorites of the unda intrusive complex; 7 – borscht granites. Deposits: 8 – gold (1 – Baleyskoye; 2 – Taseevskoye), 9 – brick, pottery clays, 10 – pebbles, gravel, 11 – building sands, 12 – placers of gold. Superimposed metasomatic and metamorphic processes: 13 – secondary quartzites, 14 – zones of mylonitization and shearing

¹Юргенсон Г. А. Типоморфизм и прогноз золотосеребряного оруденения. – Чита: ЗабГУ, 2014. – 171 с.

Основная масса сульфидов представлена пиритом, марказитом, арсенопиритом, антимонитом, реже встречаются сфалерит, халькопирит, реальгар, пирротин и др. Сульфосоли представлены тетраэдритом, миаргиритом, фрейбергитом, теннантитом, пираргиритом, ватанабитом, бурнонитом, стефанитом, бертьеритом. Присутствуют теллуриды золота, серебра, свинца (гессит, калаверит, сильванит, алтаит и др.) в количествах менее 0,01 % [2].

Начиная с 1990-х гг., натурное изучение рудных тел Балейского рудного поля и сбор привязанного к конкретным рудным телам каменного материала в связи с закрытием рудника стало невозможным. Тем не менее, необходимость разработки критериев оценки принадлежности выходящего на дневную поверхность халцедоновидного кварца к малоглубинной золотосеребряной формации сохраняется и актуализируется во времени. Поэтому автором продолжалось изучение каменного материала, отобранного в прежнее время и сохраненного до сих пор, с использованием современных методов.

Материал и методы исследования. В связи с тем, что в 1983 г. выполнено обобщение результатов всех, в том числе и минералогических исследований Балейского рудного поля под научным руководством Н. В. Петровской и опубликована соответствующая монография [2], изучению месторождений этого рудного поля стало уделяться существенно меньше внимания. Одновременно открытия новых месторождений и проявлений малоглубинной золотосеребряной формации на Северо-Востоке страны и в других районах Дальнего Востока показали, что минералогия этих месторождений, изученная современными, прежде всего, электронно-микроскопическими методами, существенно сложнее, чем это представлялось. Поэтому оказалось целесообразным изучение этими методами руд Балейского рудного поля. Материалом для исследований стала коллекция образцов золотоносных жил и вмещающих горных пород, отобранная автором в период 1968–1989 гг. *Объектом исследования* явился каменный материал с верхнерудного горизонта 126 м шахты №12.

Основным методом исследования в данной работе является электронно-микроскопический. Исследования выполнены автором в шлифах и аншлифах с помощью оптического поляризационного микроскопа AXIO ScopeAI и электронно-зондовым методом на растровом

электронном микроскопе LEO 1430 VP (аналитик Е.А. Хромова, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории канд. техн. наук С. В. Канакин). Использовано более 100 точек измерения минералов и их ассоциаций, из которых 19 анализов ютенбогаардита, более 30 анализов электрума, из которых для 9 вычислены формульные коэффициенты. В качестве эталонов использованы образцы самородного золота и серебра известного состава.

Результаты исследования и их обсуждение. Ютенбогаардит обнаружен в тесной ассоциации с золотом, а также нередко находится непосредственно в нём. Наряду с ютенбогаардитом в золоте находятся гессит, цервелеит, акантит. Это золото преимущественно присутствует в кварце, ассоциируя с халькопиритом, гесситом, сфалеритом, акантитом, галенитом, кальцитом. Формы его выделений преимущественно четко очерчены и границы их, как и кварца, контактирующего с ним, часто прямолинейны, что указывает на его идиоморфизм и образование близкосоудновременно с выделением основной массы кварца, который облекает его. Размеры золотин находятся в пределах 0,05...0,5 мм (рис. 3а и б).

Особенностью золота, ассоциирующего с ютенбогаардитом, является весьма низкая его пробность (золота 39,56...56,82, серебра 43,23...55,3) по сравнению с таковой Тасеевского месторождения (680...780) [2].

На рис. 4 представлен субиндивид электрума около 0,3 мм, находящийся слева вверх от индивида 2 на рис. 3а и точка 4 на рис. 3б. Он находится в кварце, образуя с ним прямолинейные границы. Форма выделения электрума обусловлена, видимо, полостью между образовавшимися ранее кристаллами кварца.

О такой форме выделения золота и относительно раннем его начале кристаллизации по сравнению с кварцем имеются сведения в [2]. Агрегат электрума неоднороден и содержит множество включений величиной 1...20 микрон. Подобные включения присутствуют во всех субиндивидах золота и в сростках с ним в виде красных пятен на розовом фоне золота (см. рис. 3б). Они представлены ютенбогаардитом, акантитом, цервелеитом, гесситом.

Ютенбогаардит находится в ассоциации с халькопиритом, электрумом, гесситом, кварцем, цервелеитом, также ранее неизвестном в Забайкалье и впервые установленном в руде Балейского рудного поля, акантитом, сфалеритом, галенитом. Он формирует неясной

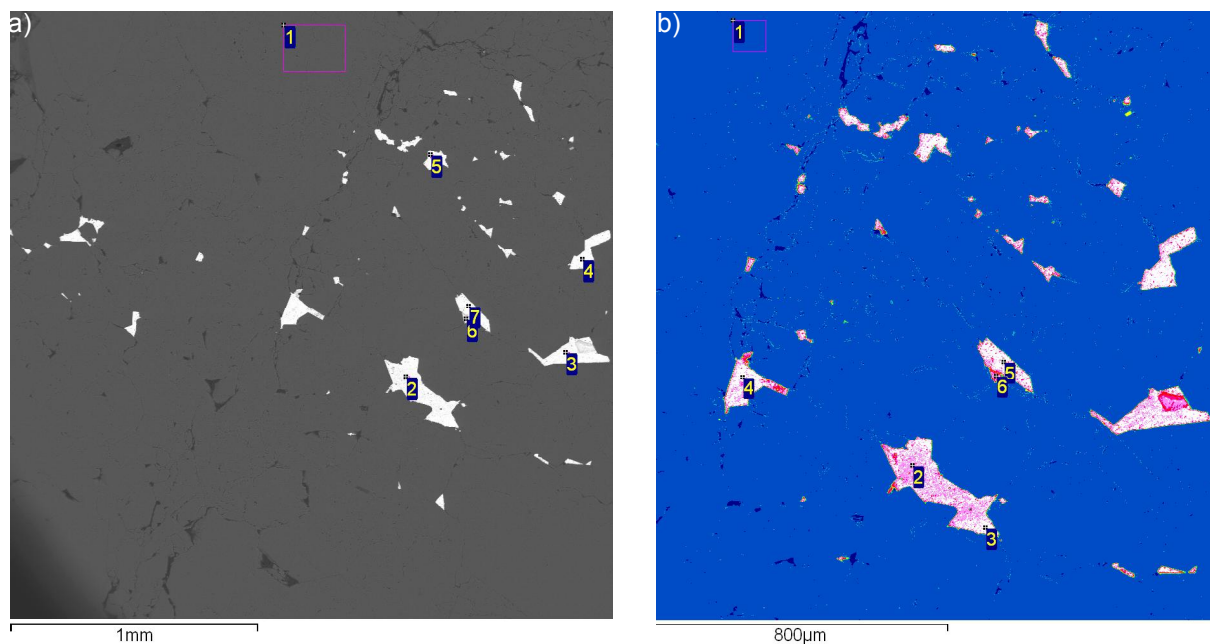


Рис. 3. Формы выделения низкопробного золота (2–7) в кварце (1) (a) и (2–6) b. Электронно-микроскопический снимок / Fig. 3 Forms of isolation of low-grade gold (2–7) in quartz (1) (a) and (2–6) b. Electron microscopic image

формы (рис. 4), иногда округлые, каплеобразные (рис. 5) выделения в электруме, и образуется, вероятно в процессе самоорганизации первичной золотосеребряной субстанции, содержащей также различное количество серы, с которым соединяется часть золота и серебра с образованием ютенбогаардита.

Одно из них (рис. 4, точка 3) субсферической формы, согласно измерению состава представлено ютенбогаардитом в ассоциации с гесситом (рис. 4, точка 2) (таблица, точка измерения 1_1-3). Другое его выделение (рис. 4, точка 4), точка измерения 1_1-4 (см. таблицу), состав которого также измерен, имеет размер около одного микрона. На рис. 5, представляющем фрагменты участка этого субиндивида электрума, отчетливо видно субсферическое строение большинства выделений ютенбогаардита. Часть их (1 и 2 на рис. 5a) не имеет четко выраженных форм. На рис. 5b представлен увеличенный верхний левый фрагмент рис. 5a, на котором относительно отчетливо видна субсферическая форма агрегатов ютенбогаардита (6; 8...12) в слоистом относительно чистом электруме (13). Здесь в виде различных выделений неправильных форм присутствуют изоморфные переходные разности между ютенбогаардитом и петцитом (1; 2; 5).

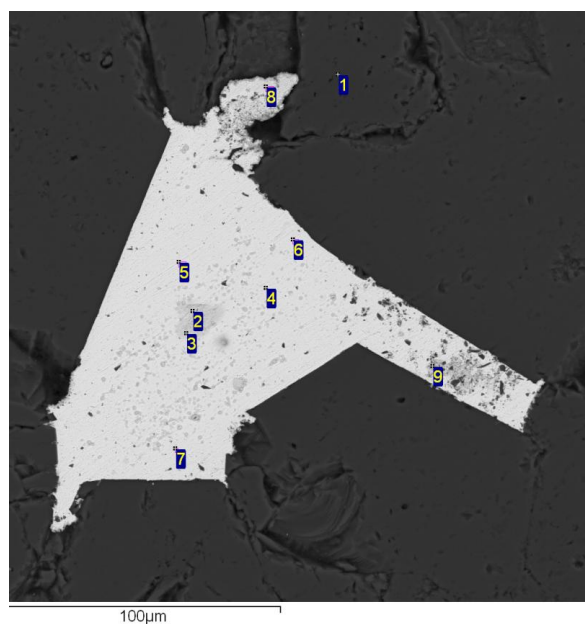


Рис. 4. Ютенбогаардит (3; 4) в ассоциации с гесситом (2) в электруме (5...9), содержащим 2,7 % ртути (8), в сростке кристаллов кварца (1) / Fig. 4. Uytенбогаардите (3, 4) in association with hessite (2) in electrum (5...9) containing 2,7 % mercury (8) in an intergrowth of quartz crystals (1). Electron microscopic images

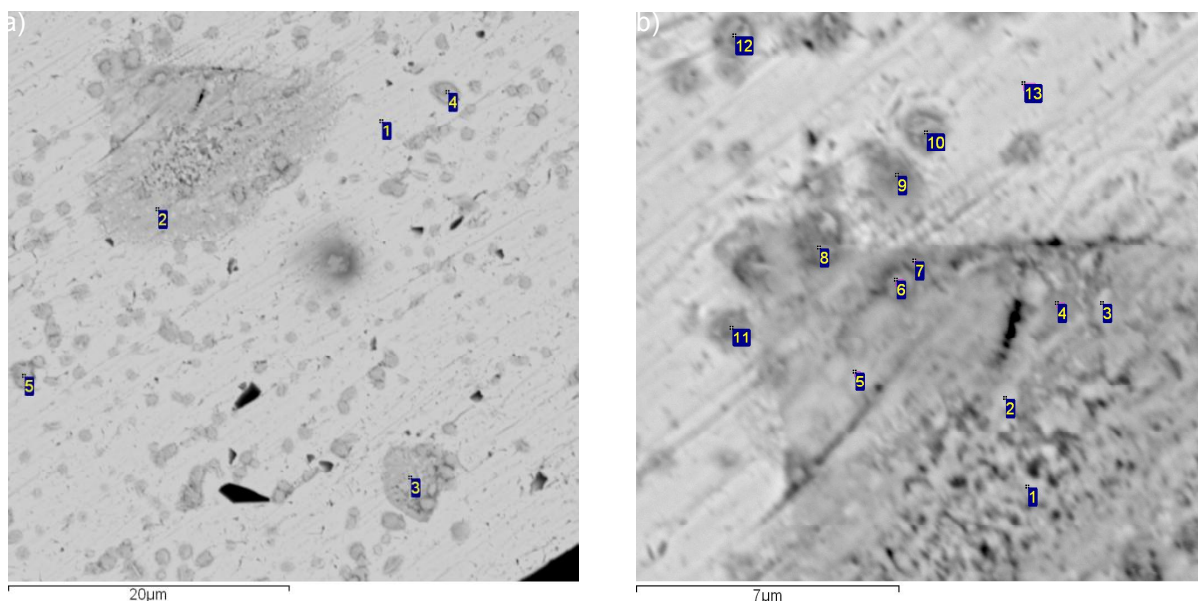


Рис. 5. Субсферические формы выделения ютенбогаардита: а (2 – 5) полосчатого строения в массиве электрума (1) и б (6; 8...12) в электруме (13) в ассоциации с цервелитом (3; 7), петцит-ютенбогаардитом (1; 2; 5) и гесситом (4). Электронно-микроскопические снимки / Fig.5. Subspherical forms of uytенбогаардите segregation: a (2–5) in a banded electrum massif (1) and b (6; 8 – 12) in electrum (13) in association with cervelite (3; 7), petzite-uyтенбогаардите (1; 2; 5) and hessite (4). Electron microscopic images

Ютенбогаардит наблюдается также в электруме, находящемся в сфалерите (рис. 6а). Сфалерит содержит 6,78 % железа и 0,73 % кадмия. Электрум, находящийся в сфалерите, представлен пластинчатыми кристаллами и имеет стехиометрический состав $Ag_{0,58}Au_{0,42}$.

Ютенбогаардит представлен тонким прожилком (рис. 6б; 6) в пластинчатом электруме (2), заключенном в сфалерите, судя по взаимоотношениям, более позднем, чем ютенбогаардит. Прожилок ютенбогаардита, рассекая электрум, выходит за его пределы и сечет сфалерит.

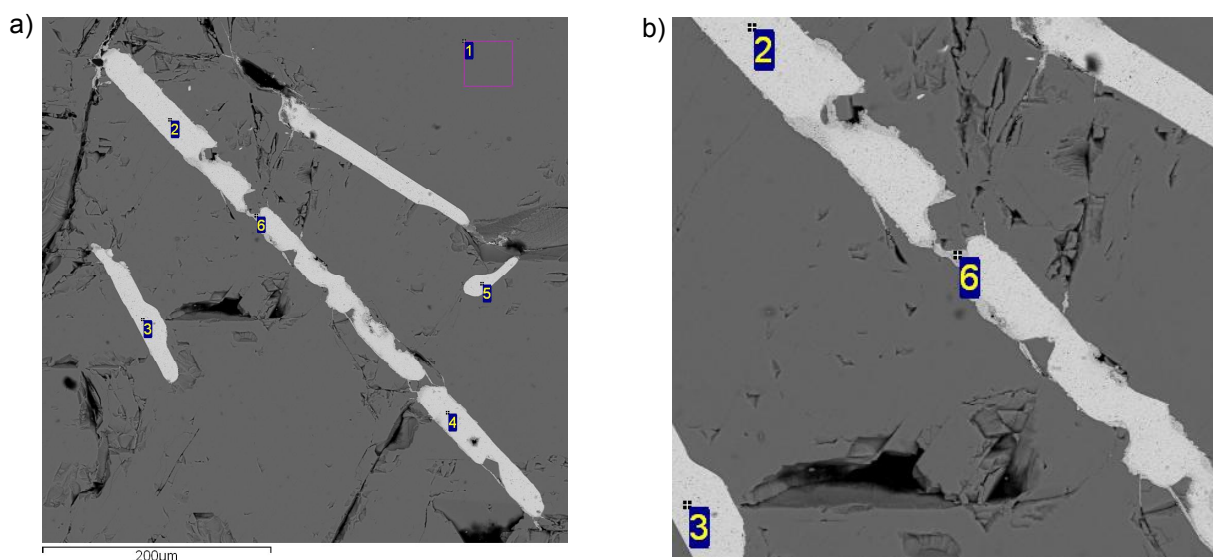


Рис. 6. Ютенбогаардите (6) в электруме (2...5), находящемся в сфалерите (1). Рис. 6б представляет увеличенный в два раза фрагмент рис. 6а. Электронно-микроскопический снимок / Fig. 6. Uytенбогаардите (6) in electrum (2...5) embedded in sphalerite (1). Fig. 6b is a fragment of Fig. 6a enlarged twice. Electron microscopic images

Химический состав ютенбогардита изменчив (см. таблицу) и характеризуется преимущественным относительно высоким широко варьирующим содержанием серебра. Лишь один индивид (1_1_1-4, рис. 5а), ассоциирующийся с электрумом и кварцем, имеет формульный коэффициент серебра, соответствующий принятой формуле (Ag_3AuS_2) [17;

22], но отличающийся дефицитом золота и избытком серы. Исходя из анализа данных таблицы, можно определить, что почти все изученные агрегаты ютенбогардита содержат повышенные количества серебра, варьирующие в пределах (мас. %) 52,45...66,36, а в нормированных к 100 % – 52,43...65,42, тогда как теоретическое содержание составляет 58,46 %.

Химический состав ютенбогардита, мас. % / Table The chemical composition of uytenbogaardite, wt. %

Номер образца и точки измерения / Sample number and measurement points	Элемент и его содержание / Element and its content				Сумма / Total	Формула / Formula
	S	Te	Ag	Au		
300 1_1-3 Нормированный / Normalized	9,16 8,88	H.o	55,5 53,77	38,55 37,35	103,22 100	$\text{Ag}_{3,1}\text{Au}_{1,16}\text{S}_{1,72}$
300 1_1-4 Нормированный / Normalized	8,07 7,71	H.o	59,94 57,26	36,67 35,03	104,68 100	$\text{Ag}_{3,36}\text{Au}_{1,12}\text{S}_{1,52}$
300 1_1_1-2 Нормированный / Normalized	10,59 10,03	3,15 2,98	55,38 52,43	36,5 34,56	105,63 100	$\text{Ag}_{2,92}\text{Au}_{1,06}(\text{S}_{1,88}\text{Te}_{0,14})$
300 1_1_1-3 Нормированный / Normalized	10,27 10,51	3,4 3,48	52,6 53,83	31,45 32,18	97,72 100	$\text{Ag}_{2,94}\text{Au}_{0,96}(\text{S}_{1,93}\text{Te}_{0,16})$
300 1_1_1-4 Нормированный / Normalized	7,41 7,32	H.o	63,11 62,33	30,73 30,35	101,26 100	$\text{Ag}_3\text{Au}_{0,8}\text{S}_{2,4}$
300 2_1-3 Нормированный / Normalized	9,13 8,78	H.o	66,36 63,81	28,5 27,41	104 100	$\text{Ag}_{3,53}\text{Au}_{0,83}\text{S}_{1,64}$
300 2_1-7 Нормированный / Normalized	9,23 8,74	5,47 5,18	63,38 59,98	27,58 26,1	105,67 100	$\text{Ag}_{3,35}\text{Au}_{0,79}(\text{S}_{1,63}\text{Te}_{0,24})$
300 2_1-10 Нормированный / Normalized	12,77 12,84	H.o	63,4 63,76	23,27 23,4	99,44 100	$\text{Ag}_{3,19}\text{Au}_{0,64}\text{S}_{2,16}$
300 2_1-11 Нормированный / Normalized	14,08 12,67	H.o	71,95 64,76	25,08 22,57	111,12 100	$\text{Ag}_{3,24}\text{Au}_{0,62}\text{S}_{2,14}$
300 3_2-6 Нормированный / Normalized	12,74 12,29	H.o	64,18 61,94	26,7 25,77	103,61 100	$\text{Ag}_{3,17}\text{Au}_{0,72}\text{S}_{2,11}$
300 1_1_1-9 Нормированный / Normalized	7,58 7,57	H.o	59,12 59,02	33,47 33,41	100,17 100	$\text{Ag}_{3,45}\text{Au}_{1,07}\text{S}_{1,49}$
300 1_1_1-10 Нормированный / Normalized	9,19 9,22	H.o	58,94 59,12	31,57 31,66	99,7 100	$\text{Ag}_{3,3}\text{Au}_{0,97}\text{S}_{1,73}$
300 1_1_3-4 Нормированный / Normalized	10,87 10,87	H.o	65,41 65,42	23,71 23,71	99,98 100	$\text{Ag}_{3,41}\text{Au}_{0,68}\text{S}_{1,91}$
300 1_3_1-9 Нормированный / Normalized	6,05 6,05	H.o	52,45 52,48	41,44 41,46	99,94 100	$\text{Ag}_{3,3}\text{Au}_{1,43}\text{S}_{1,28}$
300 2_1_2-2 Нормированный / Normalized	9,74 9,87	H.o	61,04 61,83	27,94 28,3	98,72 100	$\text{Ag}_{3,36}\text{Au}_{0,84}\text{S}_{1,8}$
300 2_1_2-7 Нормированный / Normalized	6,8 6,82	H.o	57,57 57,77	35,28 35,4	99,65 100	$\text{Ag}_{3,46}\text{Au}_{1,16}\text{S}_{1,38}$
300 2_3_1-7 Нормированный / Normalized	7,16 7,23	8,71 8,79	54,94 55,46	28,25 28,52	99,05 100	$\text{Ag}_{3,24}\text{Au}_{0,91}(\text{S}_{1,42}\text{Te}_{0,43})$
300 2_3_2-6 Нормированный / Normalized	9,59 9,62	H.o	58,09 58,27	32,01 32,11	99,69 100	$\text{Ag}_{3,23}\text{Au}_{0,97}\text{S}_{1,79}$
300 2_3_2-7 Нормированный / Normalized	11,39 11,42	H.o	58,57 58,71	29,81 29,88	99,77	$\text{Ag}_{3,1}\text{Au}_{0,87}\text{S}_{2,03}$

Примечание: H.o – не обнаружено/ Note: N.o. – not detected

Содержание Au в ютенбогардите с формульным коэффициентом >1 обнаружено лишь в пяти точках измерений из 19 (см. таблицу). В остальных случаях наблюдается четкий его дефицит. Содержание Au (мас. %) варьирует от 23,27 до 41,44 для ненормированных результатов анализа и от 22,57 до 41,46 для нормированных к 100 % при теоретическом его содержании 32,02 %. Содержание S также преимущественно ниже нормы и формульные коэффициенты её более 1 обнаружены лишь в пяти случаях. В основном они находятся в пределах 1,28...1,91. Содержание S (мас. %) находится в пределах 7,16...14,08, а в нормированных – к 100 % 7,23...12,84. Теоретическое её содержание в ютенбогардите 9,52 %.

Анализ полученных формул ютенбогардита (см. таблицу) показал, что он представлен четырьмя группами. Первая характеризуется избытком серебра и золота и недостатком серы, вторая – избытком серебра и недостатком золота при избытке серы, третья – избытком серы и дефицитом золота и серы. Особой, четвертой, разновидностью ютенбогардита является теллурсодержащая, переходная к петциту. Из 19 измеренных индивидов ютенбогардита в четырёх обнаружен теллур. Часть серы в них замещена на теллур, содержание которого варьирует от 3,15 до 8,71 %, а в нормированном к 100 % от 2,98 до 8,79 %. Поэтому однозначно часть индивидов и агрегатов его представляет переходные разности к петциту. И лишь в тех случаях, когда наблюдается отсутствие серы, захваченной ютенбогардитом, возникает чистый петцит. Четкой зависимости состава ютенбогардита от минеральной ассоциации пока не установлено.

Таким образом, как видно из таблицы, состав ютенбогардита Тасеевского месторождения непостоянен, в отличие от принятой в литературе формулы Ag_3AuS_2 [22], и теоретического химического состава, мас. %: Ag 58,46; Au 32,02 и S 9,52. Нестехиометричность ютенбогардита установлена и в других его месторождениях и проявлениях [1; 6...9]. Так, согласно [6], в ютенбогардите месторождения Юное вариации Ag находятся в пре-

делах, мас. %: 64,10...74,80; Au 19,9...26,10; S 5,6...9,0. Для ютенбогардита проявления Конечное на Таймыре [9] они также велики, (мас.%): Ag 44,6...52,74; Au 30,52...33,87; S 12,21...14,5. Полагают [7; 8], что нестехиометричность ютенбогардита обусловлена неоднородным строением его зерен. В нашем случае это хорошо видно на рис. 5, где прослеживается тонкая зональность, а также постепенные переходы между сульфидами золота и серебра. Тем не менее, однозначные причины не установлены.

Выводы.

1. Впервые в золото-серебряной руде Тасеевского месторождения в Балейском рудном поле (Забайкалье) установлен сульфид золота и серебра ютенбогардит, характеризующийся переменным составом при вариациях содержания, мас. % Ag 52,45...66,36; Au 23,27...41,44; S 7,16...14,08.

В большинстве измеренных выделений ютенбогардита соотношение слагающих его химических элементов отличается отсутствием стехиометричности. Подтвержден изоморфизм его с петцитом, обусловленный замещением серы на теллур. Показана возможность изоморфизма золота и серебра в акантите, являющемся здесь продуктом полиморфного превращения при 179 °C раннего высокотемпературного аргентита.

2. Ютенбогардит тесно ассоциирует с электрумом, состав которого также непостоянен. Вариации содержаний составляют, мас. %: золота 39,56...56,82; серебра 43,23...55,3, что указывает на существенно более низкую среднюю его пробность для основной массы руд Тасеевского месторождения (680...780) [2].

3. Приуроченность ютенбогардит-электрумсодержащей минеральной ассоциации только на верхнерудном горизонте Тасеевского месторождения может быть типоморфным признаком верхних частей месторождений малоглубинной золотосеребряной формации и использован в качестве критерия уровня эрозийного среза при их поисках и прогнозной оценке.

Список литературы

1. Багаева А. А., Гавриш А. В., Карманов А. С., Пальянова А. С., Петрушков Г. А., Проскурин В. Ф. Первая находка ютенбогаардита на Таймыре (рудопоявление Конечное) // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441, № 4. С. 527–531.
2. Балеюское рудное поле (геология, минералогия, вопросы генезиса) / под. ред. Н. П. Лаверова. М.: ЦНИГРИ, 1984. 271 с.
3. Брадинская Е. М., Ущуповская З. Ф., Баранкевич В. Г., Фомина В. А. Новая находка ютенбогаардита в СССР // Доклады АН СССР. 1990. Т. 310, №1. С. 183–188.
4. Коваленкер В. А., Наумов В. Б., Прокофьев В. Ю., Бортников Н. С. Новые данные о химизме и температуре рудообразующих растворов малоглубинной золото-серебряной формации // Доклады АН СССР. 1986. Т. 291, № 3. С. 672–675.
5. Литвиненко И. С., Шилина Л. А. Мальдонит, ютенбогаардит и разновидности самородного золота из рудных проявлений Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла (Северо-Восток России) // Записки Российского минералогического общества. 2020. Ч. CXLIX, № 3. С. 18–37.
6. Пальянова Г. А., Савва Н. Е. Особенности генезиса сульфидов золота и серебра месторождения Юное (Магаданская область, Россия) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 7. С. 759–777.
7. Пальянова Г. А., Серёткин Ю. В., Кох К. А. Образование сульфидов золота и серебра из расплавов в системе Ag–Au–S (экспериментальные данные) // Доклады Российской академии наук. 2011. Т. 436, № 1. С. 89–93.
8. Пальянова Г. А., Кох К. А., Сереткин Ю. В. Образование сульфидов золота и серебра в системе Au–Ag–S // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 4. С. 568–576.
9. Проскурин В. Ф., Пальянова Г. А., Карманов Н. С., Багаева А. А., Гавриш А. В., Петрушков Б. С. Первая находка ютенбогаардита на Таймыре (рудопоявление Конечное) // Доклады Российской академии наук. 2011. Т. 441, № 4. С. 527–531.
10. Рутштейн И. Г., Богач Г. И., Винниченко Е. Л., Негода В. М., Пинаева Т. А., Шивохин Е. А., Карасев В. В., Надеждина Т. Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Серия «Приаргунская». Лист М-50-III (Балей). Издание второе. Объяснительная записка. СПб.: МФ ВСЕГЕИ, 1998. 222 с.
11. Савва Н. Е. Принцип эволюционной систематики минералов серебра. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1995. 49 с.
12. Савва Н. Е. Электрум-акантит-ютенбогаардитовый минеральный тип золото-серебряного оруденения в трубчатых неках риолитов // Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 66–81.
13. Савва Н. Е., Пальянова Г. А. Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 10. С. 1028–1042.
14. Сахарова М. С., Горшков А. И., Ряховская С. К., Трубкин Н. В. Новые данные об изоморфной смеси золота и серебра в самородном золоте и его синтетических аналогах // Доклады Академии наук СССР. 1982. Т. 264, № 2. С. 457–460.
15. Синица С. М. Некоторые проблемы секвентной и событийной стратиграфии мезозоя Монголии и Забайкалья // Проблемы геологической и минерогенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии: труды IX Междунар. симпозиума по геологической и минерогенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии (г. Чита, 2–5 октября 2011 г.). Чита: Экспресс-изд-во, 2011. С. 70–76.
16. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО, 2006. 291 с.
17. Флейшер М. Словарь минеральных видов. М.: Мир, 1990. 206 с.
18. Barton M.D., Kieft C., Burke E.A.J., Oen I. S. Uytendogaardite, a new silver-gold sulfide // Canadian Miner. 1978. Vol. 16. P. 651–657.
19. Barton P.B. The Ag–Au–S system // Economic Geology. 1980. Vol. 75. P. 303–316.
20. Castor S.B., Sjöberg J.J. Uytendogaardite, Ag₃AuS₂, in the Bullford mining district, Nevada // Canadian Miner. 1993. Vol. 31. P. 89–98.
21. Greffie C., Bailly L., Milesi J.-P. Supergene alteration of primary ore assemblages from low-sulfidation Au–Ag epithermal deposits of Pongkor, Indonesia, and Nazareno, Peru // Economic Geology. 2002. Vol. 97. no. 3. P. 561–571.
22. Malcolm E. Back. Fleisher's Glossary of Mineral Species. 2014. 420 p.
23. Pavlova G., Gushchina L., Borisenko A., Palyanova G. Forming conditions for Au–Sb and Ag–Sb ore according to thermodynamic modeling data // J. Mater. Sci., 2006. Vol. 41, pp. 6055–6064.
24. Pekov I. V. Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union. Moscow: OP, 1998. 369 p.
25. Warmada I. W., Lehmann B., Simandjuntak M. Polimetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia // Canadian Miner, 2003, Vol. 41, no. 1, pp. 185–200.

References

1. Bagaeva A.A., Gavrish A.V., Karmanov A.S., Palyanova A.S., Petrushkov G.A., Proskurin V.F. *Doklady akademii nauk* (Reports of the Academy of Sciences), 2011, vol. 441, no 4, pp.527 – 531.
2. *Baleyskoye rudnoye pole. Kollektivnaya monografiya. Otv. red. N.P. Laverov* (Balei ore field. Collective monograph. Repl. ed. N.P. Laverov). Moscow: TSNIGRI, 1984. 272 p.
3. Bradinskaya E. M., Uschapovskaya Z. F., Barankevich V. G., Fomina V. A. *Dokl. AN SSSR* (Reports of the Academy of Sciences USSR), 1990, vol.310, no. 1. pp. 183 – 188.
4. Kovalenker V.A., Naumov V.B., Prokofiev V.Yu., Bortnikov N.S. *Doklady AN SSSR* (Reports of the Academy of Sciences USSR).1986, vol.291, no.3, pp. 672 – 675
5. Litvinenko I. S., Shilina L. A. *Zapiski rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* (Notes of the Russian Mineralogical Society), 2020, Ch. CXLIX, no. 3, pp. 18–376.
6. Palyanova G.A., Savva N. *Geologiya i geofizika* (Geology and geophysics). 2009, vol. 50, no 7, pp. 759–777.
7. Palyanova G. A., Seretkin Yu. V., Kokh K. A. *Doklady akademii nauk* (Reports of the Academy of Sciences), 2011, vol. 436, no 1, pp. 89–93.
8. Palyanova G. A., Kokh K. A., Seretkin Yu. V. *Geologiya i geofizika*. (Geology and geophysics), 2011, vol. 52, no 4, pp. 568–576.
9. Proskurin V. F., Palyanova G. A., Karmanov N. S., Bagaeva A. A., Gavrish A. V., Petrushkov B. S. *Doklady akademii nauk* (Reports of the Academy of Sciences), 2011, vol. 441, no 4, pp. 527–531.
10. Rutshteyn I. G., Bogach G. I., Vinnichenko E. L., Negoda V. M., Pinaeva T. A., Shivokhin E. A., Karasev V. V., Nadezhkina T.N. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200000. Seriya priargunskaya. list m-50-III (Baley). Izdaniye vtoroye. Obyasnitelnaya zapiska* (State geological map of the Russian Federation scale 1:200000. Priargunskaya series. Sheet M-50-III (Baley). Second edition. Explanatory note). St. Petersburg, 1998. 222 p.
11. Savva N. E. *Printsip evolyutsionnoy systematiki mineralov serebra* (Principle of evolutionary systematics of silver minerals). Magadan: North-East Scientific Center FEB RAS, 1995. 49 p.
12. Savva N.E. *Mineralogiya i geneticheskiye osobennosti mestorogdeniy zolota i serebra* (Mineralogy and genetic features of gold and silver places). Magadan: SVKNII FEB RAS, 1996, pp. 66–81.
13. Savva N. E., Palyanova G. A. *Geologiya i geofizika* (Geology and geophysics), 2007, vol. 48, no 10, pp. 1028–1042.
14. Sakharova M. S., Gorshkov A. I., Ryakhovskaya S. K., Trubkin N. V. *Doklady akademii nauk SSSR* (Reports of the Academy of Sciences USSR),1982, vol. 264, no. 2, pp. 457–460.
15. Sinitsa S.M. *Problemy geologicheskoy i mineragenicheskoy korrelyatsii v sopredelnykh rayonakh Rossii, Kitaya i Mongolii: trudy IX-go mezhdunarodnogo simpoziuma po geologicheskoy i mineragenicheskoy korrelyatsii v sopredelnykh rayonakh Rossii, Kitaya i Mongolii. 2 – 5 octyabryar 2011 g., Chita, Rossia* (Problems of geological and mineragenic correlation in adjacent areas of Russia, China and Mongolia: Proceedings of the IX International Symposium on Geological and Mineragenic Correlation in adjacent regions of Russia, China and Mongolia dated by 2 – October 5, 2011, Chita, Russia) Chita: Express-Izdatelstvo, 2011, pp. 70–76.
16. Spiridonov A. M., Zorina L. D., Kitaev N. A. *Zolotonosnye rudno-magmaticheskiye sistemy Zabaikalya* (Gold-bearing ore-magmatic systems Transbaikalia). Novosibirsk: GEO, 2006. 291 p.
17. Fleisher M. *Slovar' mineralnykh vidov* (Glossary of mineral species). Moscow: Mir, 1990. 206 p.
18. Barton M.D., Kieft C., Burke E.A.J., Oen I. S. *Canadian Miner* (Canad.Miner.), 1978, vol. 16, pp. 651–657.
19. Barton P. B. *Economic Geology* (Economic Geology),1980, vol. 75, pp. 303–316.
20. Castor S.B., Sjöberg J.J. *Canadian Miner*. (Canadian Miner), 1993, vol. 31, pp. 89–98.
21. Greffie C., Bailly L., Milesi J.-P. *Economic Geology* (Economic Geology), 2002, vol. 97, no 3, pp. 561–571.
22. Malcolm E. Back. *Fleisher's Glossary of Mineral Specie* (Fleisher's Glossary of Mineral Species), 2014. Tuscon: The Mineralogical Record Inc. 420 p.
23. Pavlova G., Gushchina L., Borisenko A., Palyanova G. *J. Mater. Sci.* (J. Mater. Sci.), 2006, vol. 41, pp. 6055– 6064.
24. Pekov I. V. *Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union* (Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union). Moscow: OP, 1998. 369 p.
25. Warmada I. W., Lehmann B., Simandjuntak M. *Canadien Miner* (Canadien Miner), 2003, vol. 41, no. 1, pp.185–200.

Благодарности

Автор признателен Е. А. Василенко за участие в оформлении рис. 1 и 2.
Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FUFР-2021-0005

Информация об авторе**Information about the author**

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минерал. наук, профессор ВАК, гл. научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита. Область научных интересов: минералогия, геохимия, рудогенез, геммология, технологическая минералогия, археология
yurgga@mail.ru

Georgy Yurgenson, doctor of geological-mineralogical sciences, professor, chief researcher, Institute Natural Resources, Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia. Scientific interests: mineralogy, geochemistry, ore genesis, gemology, technological mineralogy and archeology

Для цитирования

Юргенсон Г. А. Первые данные о ютенбогаардите в руде Тасеевского золотосеребряного месторождения в Восточном Забайкалье (Россия) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 6. С. 26–36. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-6-26-36.

Yurgenson G. The first data from Uytenbogaardite in the ore of the taseyevskoye gold-silver deposit in Eastern Transbaikalia (Russia) // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 6, pp. 26–36. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-6-26-36.

Статья поступила в редакцию: 01.06.2022 г.

Статья принята к публикации: 07.06.2022 г.