

УДК 549.622.775

DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-10-38-52

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕССИТЕ БАЛЕЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ (РОССИЯ)

NEW DATA ON THE HESSITE OF THE BALEY ORE FIELD 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 заключается в необходимости иметь сведения о распространенности и парагенезисах гессита, являющегося одним из основных минеральных носителей Те в золотосеребряных рудах уникального Балейского рудного поля в Забайкалье. Те относится к редчайшим химическим элементам, использование которого в последнее время неуклонно возрастает. В процессе разработки Балейского и Тасеевского золотосеребряных месторождений в 1929–1993 гг. из руд извлекали только Au и Ag, весь Те уходил в отвал. Оба месторождения отработаны не полностью. Ресурсы Au категории P₁ Балейского месторождения оцениваются в 35 т. Оставшиеся запасы Au Тасеевского месторождения, утвержденные ГКЗ, составляют 105 т. В ближайшие годы планируется добыча оставшихся запасов Au-Ag руд этих месторождений, содержащих Те, в основном, в виде гессита, поэтому знания о нем будут важными для разработки технологии его попутного извлечения. *Цель исследования* – изучение содержащих гессит минеральных ассоциаций Балейского рудного поля. *Объект исследования* – Au-Ag руды Балейского рудного поля. *Предмет исследования* – формы выделения и вариации химического состава гессита. *Метод и методология* – оптическая и электронная микроскопия с выявлением форм и размеров индивидов и агрегатов гессита, а также определением его химического состава. *Результаты исследования*: выполнен анализ изучение руд Балейского рудного поля с повышенным содержанием Те. Установлено относительно широкое развитие гессита. Он находится в ассоциации с петцитом, алтаитом, сильванитом, эмпресситом, штюцитом, пильзенитом, а также теллурсодержащим ютенбогаардитом, золотом, многими сульфосолями и сульфидами, кварцем, доломитом, сидеритом, каолинитом, адуляром и другими минералами. Особенностью гессита Балейского рудного поля является вариабельность его состава. Установлено две группы индивидов гессита. К первой относится гессит, не содержащий примесей. Из них стехиометричный состав имеет лишь 22 %. Они соответствуют составу Ag₂Te, в 32,2 % случаев наблюдается избыток Ag по сравнению с Те (до Ag_{2,1}Te_{0,9}), а в 45,8 % проб установлен недостаток Ag (до Ag_{1,86}Te_{1,14}). В части индивидов гессита он компенсируется замещающим его Au. Впервые выявлен гессит, содержащий примесь Pb, вероятно, замещающий Ag

Ключевые слова: теллур, серебро, золото, гессит, теллуриды, вариабельность состава, теллурсодержащий ютенбогаардит, Тасеевское месторождение, Балейское рудное поле, Восточное Забайкалье

The relevance lies in the need to have information about the prevalence and paragenesis of hessite, which is one of the main mineral carriers of Te in the gold and silver ores of the unique Baley ore field in Transbaikalia. Te refers to the rarest chemical elements, the use of which has been steadily increasing lately. During the development of the Baleysky and Taseyevsky gold and silver deposits in 1929–1993, only Au and Ag were extracted from the ores, all Te went into the dump. Both deposits are not fully developed. The resources of the Au category P₁ of the Baleyskoye field are estimated at 35 tons. The remaining Au reserves of the Taseyevskoye field, approved by the GKZ, amount to 105 tons. In the coming years, it is planned to extract the remaining reserves of Au-Ag ores from these deposits, containing Te mainly in the form of hessite, so knowledge about it will be important for the develop-

ment of technology for its associated extraction. *The purpose of the research* is to study the mineral associations of the Baley ore field containing hessite. *The object of research* is Au–Ag ores of the Baley ore field, the *subject of research* is the forms of isolation and variations of the chemical composition of hessite. Method and methodology – optical and electron microscopy with the identification of shapes and sizes of individuals and aggregates of hessite, as well as the determination of its chemical composition. Research results: for the first time, the study of the ores of the Baley ore field with a high Te content was carried out and the relatively wide development of hessite was established. It is in association with petzite, altaite, silvanite, empresite, stutzite, pilsenite, as well as tellurium-containing uytenbogaardite, gold, many sulfosols and sulfides, quartz, dolomite, siderite, kaolinite, adular and other minerals. The peculiarity of the hessite Baley ore field is the variability of its composition. Two groups of hessite individuals have been identified. The first one includes hessite, which does not contain impurities. Of these, stoichiometric composition has only 22 %. They correspond to the composition of Ag_2Te , in 32,2 % of cases there is an excess of Ag compared to Te (up to $\text{Ag}_{2,1}\text{Te}_{0,9}$), and in 45,8 % of samples there is a lack of Ag (up to $\text{Ag}_{1,86}\text{Te}_{1,14}$). In part of the hessite individuals, it is compensated by the Au replacing it. For the first time, hessite containing an admixture of Pb, probably replacing Ag, was identified

Key words: Tellurium, silver, gold, hessite, tellurides, compositional variability, tellurium-bearing uytenbogaardite, Taseevskoye deposit, Balaiskoye ore field, Eastern Transbaikalia

Введение. Гессит является одним из наиболее распространенных носителей теллура, среднее содержание которого для разного типа пород земной коры составляет $0,001 \text{ г/т}^1$, что в четыре раза меньше золота. Содержание теллура в хондрите существенно выше и составляет $0,5 \text{ г/т}$. Высокие содержания теллура до целых процентов известны в рудах месторождений малоглубинной золотосеребряной формации, где его существенная часть находится в гессите [3–5; 18–20]. По данным зарегистрированных минералов теллура [12], в 25 из них теллур связан с серебром, в том числе с гесситом. Биогеохимические особенности теллура, в том числе в форме гессита, в экологическом аспекте рассмотрены в [2], а также в работе О. Р. Missen e.a. [14].

Гессит открыт Густавом Розе в 1829 г., во 2-м Заводинском руднике, на Алтае. Название «гессит» дано Фрѐбелем в 1843 г. в честь Германа Гесса, химика, подробно изучившего минерал². Сведения об открытии гессита в руде 2-го Заводинского рудника на Рудном Алтае приведены в сводке И. В. Пекова [19].

Гессит – один из наиболее распространенных теллуридов [12; 13]. Он известен в большинстве месторождений малоглубинной³ золотосеребряной формации [1; 3; 8; 11; 15–18], а также в рудах месторождений золота других формаций [4; 5; 20]. Теоретический состав гессита $\text{Ag} – 63,3 \%$ $\text{Te} – 36,7 \%$ ⁴.

По опубликованным данным [1], теллур и теллуриды являются обычными незначительными примесями в рудах Балецкого и Тасеевского месторождений, входящих в состав Балецкого рудного поля. Содержание теллура в рудах и во вмещающих горных породах этого поля по [1] в количестве 2 г/т и более не фиксируется и потому в литературе отсутствует [Там же].

К 1984 г. из теллуридов золота и серебра в рудах Балецкого рудного поля известны лишь гессит, калаверит и точнее не определенный теллурид висмута. Все они отнесены к «образующим незначительные примеси» [Там же. С. 122]. Тем не менее, там же есть указание, что «от верхних горизонтов к нижним уменьшается содержание золота, серебра и ассоциирующих с ними теллуридов». Теллур в количестве $0,015 \%$ обнаружен в пробах блеклых руд, отобранных под биноклем [Там же. С. 167], но они связаны, вероятно, с тонкими примесями минералов теллура, скорее всего, гессита, так как блеклые руды содержат $0,45...16 \%$ серебра. Относительно гессита в работе [1] определено, что «теллуриды представлены преимущественно гесситом». Согласно этой работе, он почти постоянно обнаруживается в поздней продуктивной ассоциации, иногда образуя мономинеральные скопления. Подобно золоту, он располагается в центральных частях изгибов фестоночатых слоев халцедо-

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

² Минералы. Справочник: в 7 т. / под ред. Ф.В. Чухрова. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 1. – 616 с.

³ Флейшер М. Словарь минеральных видов. – М.: Мир, 1990. – 206 с.

⁴ Минералы. Справочник: в 7 т. / под ред. Ф.В. Чухрова. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 1. – 616 с.

новидного кварца, ассоциирует с сульфосолями и сфалеритом. Однако гессит вместе с сульфоантимонитами свинца и золотом часто сечет скопления сфалерита, что указывает на его более позднее выделение, чем главные сульфиды месторождения. Нередко гессит находится непосредственно в халцедоновидном кварце. Величина зерен и их скоплений – в пределах 0,1...2 мм [1]. Вариации химического состава гессита и другие его особенности остались неизученными.

С середины 1980-х гг. фактически прекращены всеобъемлющие исследования Балецкого рудного поля, а затем и возможность получения нового каменного материала после ликвидации комбината Балецзолото в 1993 г. и затопления шахт и карьеров. Поэтому вопрос о действительном распространении теллура и его минералов остался без ответа.

В 2021–2022 гг. нами получен новый аналитический материал о содержании теллура и его минеральных формах в рудах Балецкого рудного поля. Это показало целесообразность рассмотрения возможности извлечения теллура наряду с золотом и серебром из руд недоработанных частей Балецкого рудного поля, которая обусловлена его высокой потребностью в производстве полупроводников, терморегуляторов, КРТ сплавов, специальных стёкол, узкополосных полупроводников, используемых в компакт-дисках и др.

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 пояса и включает два крупных золотосеребряных месторождения – Балецкое и Тасеевское, а также находящееся между ними Южное поле. Балецкое рудное поле приурочено к Ундиинской депрессионной зоне, совмещенной в пределах рудного района с зоной регионального глубинного Борщовочного разлома [1; 6; 7] (рис. 2).

По результатам определения абсолютного возраста адуляра калий-аргоновым методом из балецких золоторудных жил (120...114 млн лет) [6; 7] и датировки вмещающих и перекрывающих пород палеонтологическими методами, время формирования оруденения приходится на меловой период. Балецкое месторождение представлено штокверком относительно крупных золотоносных кварцевых жил в гранодио-

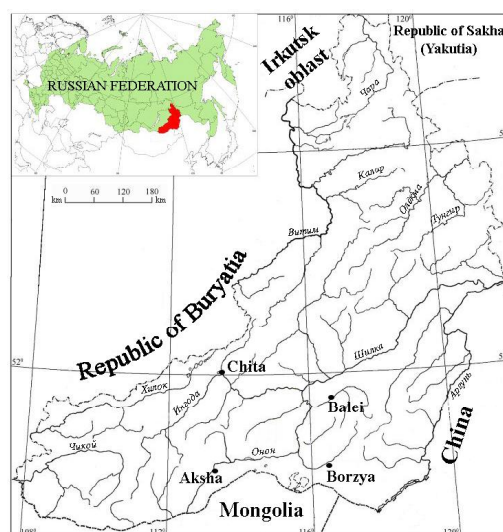


Рис. 1. Местоположение г. Балец и Балецкого рудного поля / Fig. 1. Location of the town of Baley and the Baley ore field

ритах ундиинского интрузивного комплекса (см. рис. 2). Тасеевское месторождение находится в Ундино-Даинской впадине в её структурном фрагменте, называемом Балецким грабеном [1; 6; 7]. Геологическое строение рудного поля и месторождений к 1983 г. было хорошо изучено и отображено в монографии [1] и более поздних работах [6; 7] и здесь не рассматривается.

Руды относятся к убогосульфидным [Там же]. 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) [9].

Основная масса сульфидов представлена пиритом, марказитом, арсенопиритом, антимонитом, реже встречаются сфалерит, халькопирит, реальгар, пирротин и др. Сульфосоли представлены тетраэдритом, миаргиритом, фрейбергитом, теннантитом, пираргиритом, бурнонитом, стефанитом, бертьеритом и другими в количествах, менее 0,01 % [1].

В руде Балецко-Тасеевского рудного поля, как сказано далее, достоверно определен и описан лишь гессит (Ag_2Te) [Там же]. Предположительно по оптическим свойствам диагностированы калаверит (AuTe_2) и петцит (Ag_3AuTe_2). По данным локального рентгено-спектрального анализа, в ассоциации с гесситом, сульфоантимонитами свинца, галенитом или халькопиритом диагностирован теллурид

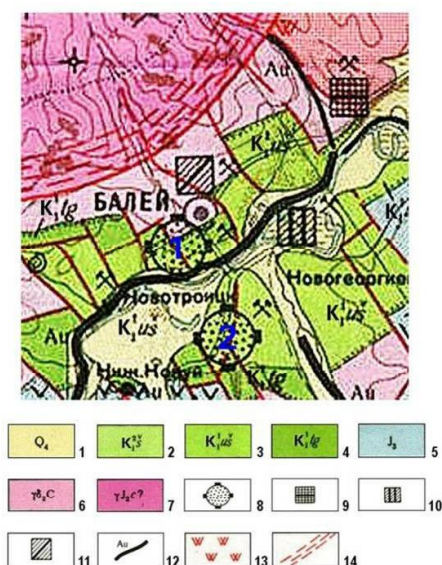


Рис. 2. Геологическая позиция Балейского рудного поля. По [6] с изменениями

Четвертичные отложения: 1 – аллювиальные пески, суглинки, галечники. Меловые отложения: 2 – шилкинская толща, конгломераты, прослои песчаников; 3 ундино-шилкинская толща, песчаники, алевриты, 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. Наложенные метасоматические и метаморфические процессы: 13 – вторичные кварциты, 14 – зоны милонитизации и расщепления /

Fig. 2. Geological position of the Baleysky ore field. According to [6] 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 – Shadoron 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

висмута без указания названия минерала [1]. Без описания указан тетрадимит. Минералы теллура обнаружены преимущественно в зонах развития продуктивных на золото и серебро минеральных телах. Специального изучения распространенности теллура в рудах и химического состава его минералов не проводилось и задачи его извлечения в качестве попутного компонента не ставились.

Материал и методы исследования. Материалом для исследований стала коллекция образцов золотоносных жил и вмещающих горных пород, собранная автором в 1968–1989 гг. из Северного карьера (Балейское месторождение), а также из шахт № 10 и № 12 и Опытного карьера (Тасеевское месторождение). Основным методом исследования минерального состава первичных и окисленных золотосеребряных руд в данной работе является электронно-микроскопический. Исследования выполнены автором в шлифах и аншлифах с помощью оптического поляризационного микроскопа AXIO ScopeA1 и электронно-зондовым методом на растровом электронном микроскопе LEO 1430 VP (аналитик Е. А. Хромова, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории С. В. Канакин). Использовано более 200 точек измерения состава гессита и его ассоциаций. В качестве эталонов использованы образцы самородного золота и серебра известного состава. Изучение химического состава руд выполнено методом ICP MS в химической лаборатории СЖС «Восток лимитед». Золото определялось пробирным анализом, серебро, мышьяк, сурьма, висмут, теллур – методом ICM40B. Предел обнаружения теллура 0,05 г/т.

Все данные о запасах золота, несмотря на их вариабельность, однозначно указывают на то, что извлечение теллура должно быть одной из важнейших задач, решаемых в процессе разработки этих месторождений.

Поэтому особенности химизма гессита, как главного носителя теллура, который должен извлекаться наряду с золотом и серебром из руд Тасеевского и Балейского месторождений в процессе запланированной разработки оставшихся запасов, могут быть чрезвычайно важными.

Результаты исследования. В 2021–2022 гг. нами получен новый аналитический материал о содержании гессита в рудах Балейского рудного поля на основе изучения около 70 аншлифов жильного рудного материала. Измерено 68 ассоциаций теллуридов, представ-

ляющих гессит с различными примесями. Из них 59 представлены гесситом, не содержащим никаких примесей. Они распространены достаточно широко и находятся в ассоциации с петцитом, алтаитом, сильванитом, эмпресситом, штюцитом, пильзенитом, а также теллурсодержащим ютенбогардитом, самородным золотом, тетраэдритом, теннантитом, фрейбергитом, миаргиритом, физелиитом, андоритом, аргентотеннантитом, джемсонитом, галенитом, халькопиритом, цинкениитом, штернбергитом, акантитом, ленаитом, плагионитом и другим минералами.

Определено содержание Au, Ag и Te в рудах, представленное в табл. 1 в золотоносных жилах и вмещающих горных породах, а также сборных групповых пробах жильного кварца и окисленных вмещающих горных пород (пробы Бал-1 и Бал-2). Вариации содержаний золота – 0,03...120 г/т, среднее его содержание составляет 12,27 г/т, а серебра – 0,07...56,6 г/т при

среднем 8,01 г/т. Определено, что Б/х для обоих элементов более 2. Это свидетельствует о крайне неравномерном их распределении.

Вариации содержаний теллура менее значительны. Они находятся в пределах 0,05...5,64 г/т при среднем 0,65 г/т и Б/х, равном 2,08, что соответствует распределениям золота и серебра, с которыми теллур находится в тесной связи, входя с ними в одни и те же минералы. Как видно из табл.1, содержание золота в рудоносном кварце примерно в 7 раз выше, чем в приконтактовой вмещающей горной породе, серебра почти в 43 раза, а теллура – в 4,56 раз. Это свидетельствует о меньшей подвижности серебра, чем золота и теллура в системе рудообразующий флюид → вмещающая порода.

В табл. 1 приведены данные о пробах рядовых руд. В участках жил с большим содержанием золота концентрации теллура на порядок более, выше, как это видно из табл. 2.

Таблица 1 / Table 1

Усредненные данные по содержанию золота, серебра и теллура в рудоносном кварце и вмещающих породах рядовых руд Балейского рудного поля / Averaged data on the content of gold, silver and tellurium in ore-bearing quartz and containing rocks of ordinary ores of the Baley ore field

Номер пробы / Sample number	Элемент и его содержание, ppm / Element and its content, ppm			Анализируемый материал / Analyzed material
	Au	Ag	Te	
БАЛ-1 / Ball-1	28	53,3	1,61	Сборная проба жильного кварца / Composite sample of vein quartz
Бал-2 / Ball-2	2,48	1,50	0,13	Сборная проба окисленной вмещающей породы / Combined sample of oxidized host rock
Бал-3 / Ball-3	3,47	0,09	0,37	Группа проб вмещающих горных пород / Group of samples of host rocks
Бал-4 / Ball-4	13,24	15,37	0,66	Группа проб жильного рудоносного кварца / Group of samples of vein-bearing ore-bearing quartz
Среднее / Average	2,98	0,8	0,25	Вмещающие породы / Host rocks
Среднее / Average	20,62	34,33	1,14	Жильный рудоносный кварц / Vein - bearing ore - bearing quartz
	6,91	42,9	4,56	Соотношение содержаний в руде и вмещающей породе / Ratio of the contents in the ore and the host rock
Общее среднее / General average	12,27	8,01	0,65	

Таблица 2 / Table 2

Содержание теллура и сопутствующих химических элементов в богатых рудах /
The content of tellurium and related chemical elements in rich ores

Номер пробы / Sample number	Элемент и его содержание / Element and its content, ppm			Вид образца / Sample type
	Au	Ag	Te	
B-120	7	8680	41,9	Сульфосолюно-золото-кварцевый слой рудоносной жилы / Sulfosol-gold-quartz layer of an ore-bearing vein
B-121	15	6890	421	То же, золото-кварцево-сульфосолюнный слой рудоносной жилы / The same, gold-quartz-sulfosol layer of the ore-bearing vein

Примечание: содержание Au, мас%, остальные элементы ppm / Note: Au content, wt%, other elements ppm.

Участки жил с очень высоким содержанием золота вскрывались и обрабатывались в некоторых фрагментах жилы 28 и Первой рудной зоны Тасеевского месторождения. Целики жилы 28 с содержанием золота до 50 кг/т сохранились на ныне затопленном горизонте 216 м шахты 10 Тасеевского месторождения. Облик фрагментов жилы с весьма высоким содержанием золота представлен на рис. 3.



Рис. 3. Фрагменты золото-кварцевых слоёв, где золото ассоциирует с гесситом, миаргиритом, андоритом. Из коллекции В. И. Лозовского /
Fig. 3. Fragments of gold-quartz layers, where gold is associated with hessite, miargyrite, and andorite. From the collection of V. I. Lozovsky

В ассоциации с гесситом в результате исследований методами оптической и электронной микроскопии в рудах Тасеевского и Балейского месторождений впервые установлены алтаит ($PbTe$), сильванит ($(Au,Ag)_2Te_4$), эмпрессит ($AgTe$), штютцит ($Ag_{5-x}Te_3$), пильзениит

(Bi_4Te_3), эмпрессит ($AgTe$), а также теллурсодержащий ютенбогардит⁵. Гессит наиболее распространен среди теллуридов Балейского рудного поля. По наблюдениям, изложенным в [1], величина его индивидов чаще всего находилась в пределах 10 микрон, а в ассоциации с халцедоновидным кварцем и каолинитом отдельные индивиды достигали 0,1 мм. По нашим данным гессит ассоциирует с халькопиритом, алтаитом (рис. 4), золотом, тетраэдритом, в том числе, содержащим серебро, фрейбергитом, галенитом, (рис. 5), миаргиритом, пиритом, ленаитом ($AgFeS_2$) и вюртцитом (рис. 6), сильванитом ($(Au,Ag)_2Te_4$) (рис. 7), сфалеритом, гетероморфитом, адуляром, мусковитом, кварцем. Его относительно крупные индивиды в халькопирите имеют четкие границы и размеры от 25x20 (см. рис. 4) до 70x50 (рис. 5) мкм в кварце в ассоциации с галенитом, сфалеритом и тетраэдритом, содержащим серебро. Ленаит образует мельчайшие включения в пирите, не соприкасаясь с гесситом, находящимся в пирите, и на контакте его с кварцем. Размеры зерен всех носителей серебра составляют первые микроны.

В ассоциации с гесситом в образце 21_146 с Северного карьера установлен плагионит ($Pb_5Sb_8S_{17}$). Поэтому измельчение руды с учетом необходимости освобождения части гессита при рудоподготовке должно быть очень тонким. Но существенная часть индивидов гессита, содержащих включения сильванита, являющихся носителем всех трёх важнейших полезных компонентов балейско-тасеевских руд (рис. 7), образует довольно крупные сростки (0,045 x 0,06 мм), что позволяет надеяться на возможность извлечения золота, серебра и теллура в один концентрат.

⁵ Юргенсон Г. А. Первые данные о ютенбогардите в руде Тасеевского золотосеребряного месторождения в Восточном Забайкалье (Россия) // Вестник ЗабГУ. 2022. Т. 28, № 6. С. 26–36.

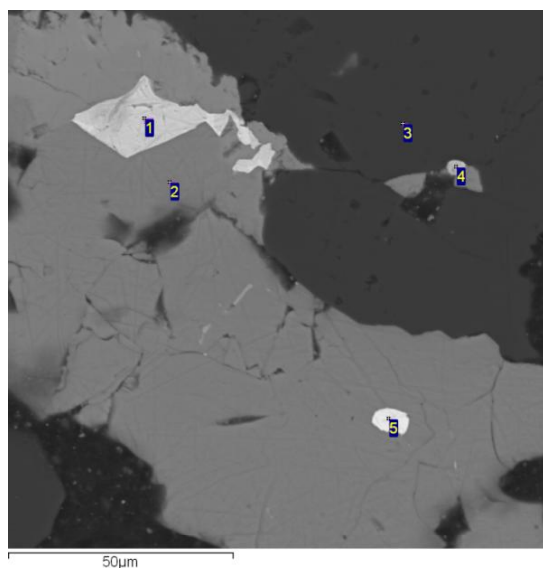


Рис. 4. Гессит (1, 4) и алтаит (5) в ассоциации с халькопиритом (2) в кварце (3). Обр.9_14г. Балейское месторождение, Северный карьер. Электронно-микроскопический снимок / Fig. 4. Hessite (1, 4) and altaite (5) in association with chalcopyrite (2) in quartz (3). Sample 9_14g. Baleyskoye deposit, Northern quarry. Electron microscopic picture

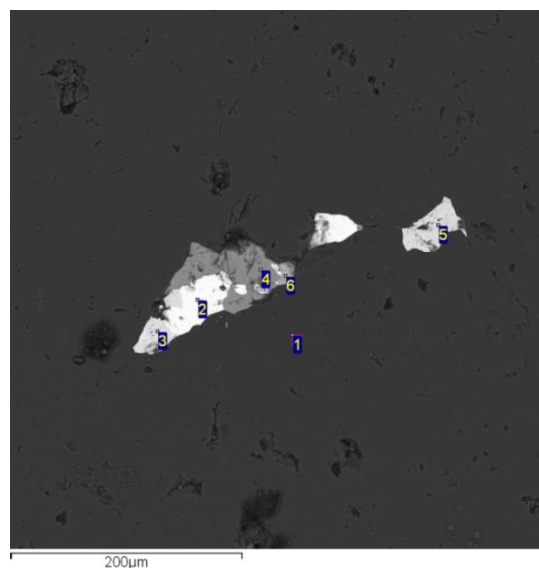


Рис. 5. Гессит (3; 5) в ассоциации с галенитом (2), сфалеритом (4) и аргентотетраэдритом (6) в кварце (1). Обр. 20/14-1. Балейское месторождение, Северный карьер. Электронно-микроскопический снимок / Fig.5. Hessite (3, 5) in association with galena (2), sphalerite (4), and argentotetrahedrite (6) in quartz (1). Sample 20/14-1. Baleyskoye deposit, Northern quarry. Electron microscopic picture

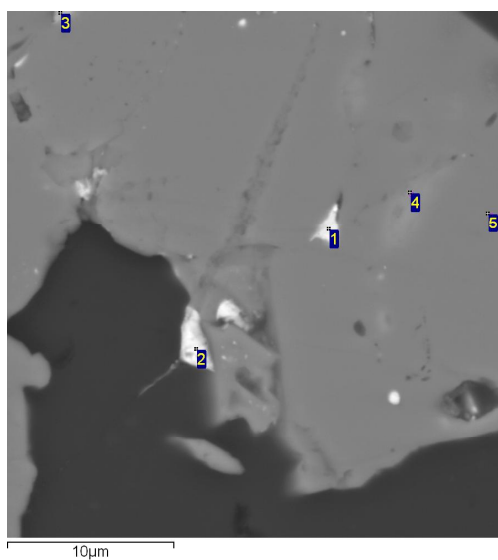


Рис. 6. Гессит (1, 2) в ассоциации с ленаитом (3), вуртцитом (4) в пирите (5) контактирующим с кварцем (черное поле внизу). Электронно-микроскопический снимок / Fig. 6. Hessite (1; 2) in association with lenaite (3), wurtzite (4) in pyrite (5) in contact with quartz (black box below). Electron microscopic picture

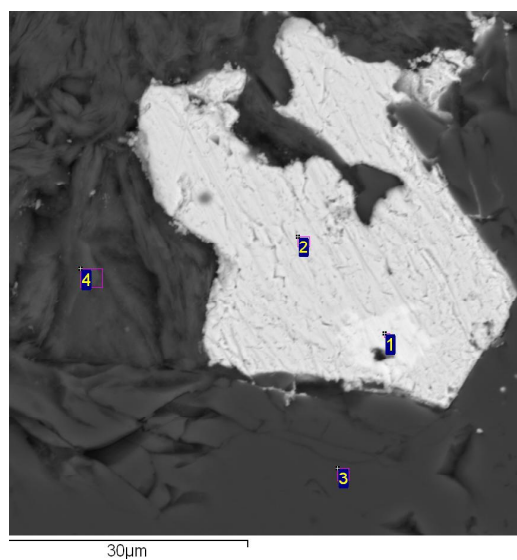


Рис. 7. Гессит (2) в ассоциации с сильванитом (1) и адуляром (4) в кварце (3). Образец 37/14а. Северный карьер, Балейское месторождение. Электронно-микроскопический снимок / Fig.7. Hessite (2) in association with sylvanite (1) and adularia (4) in quartz (3). Sample 37/14a. Northern quarry, Baleyskoye deposit. Electron microscopic picture

В слоях, обогащенных золотом, гессит находится в тесных сростаниях с ним, ассоциируя с миаргиритом (AgSbS_2) и андоритом ($\text{PbAgSb}_3\text{S}_6$) (рис. 8), а также петцитом и колорадоитом (Hg_2Te), содержащим 40,12 % теллура и 61,87 % ртути (рис. 9).

На рисунке хорошо видно, что значительная часть поля зрения в кварце занята золотом (2; 3; 6) и все включения белого цвета на черном фоне. Индивид гессита имеет форму вытянутого зерна длиной около 0,2 мм, шириной до 0,07 мм. Он содержит включение кварца и окружен в разных частях золотом. Величина золотин варьирует от 0,005 до 0,08 мм.

Этот гессит содержит до 3,4 % урана. Уран в количестве 2,09...3,2 % содержит миаргирит в этом же образце.

Гессит относительно одинаково распространен в рудах Балейского и Тасеевского месторождений. В результате обобщения всех данных о минеральных ассоциациях гессита определено, что непосредственно с ним, кроме теллуридов и других минералов серебра и золота, а также кварца, находятся адуляр, пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит,

галенит, тетраэдрит, брокит, джемсонит, бурнонит, блеклые руды, мадоцит, рабдофан, доломит, каолинит, мусковит, апатит.

Химический состав гессита представлен в табл. 3. Из 68 индивидов, теллуридов, представляющих гессит, 59 не содержат примесей.

Из обработанных анализов гессита установлено, что содержание (мас.%) серебра находится в пределах 58,00...68,37, теллура – 31,63...42,00, но среднее содержание их (Ag 37,42 и Te 62,58 %), как видно из табл. 3, почти соответствует теоретическому составу гессита (Ag 37,14 и Te 62,86 %). При этом из них 22 % соответствуют стехиометрическому составу Ag_2Te , в 32,2 % случаев наблюдается избыток серебра по сравнению с теллуридом (до $\text{Ag}_{2,1}\text{Te}_{0,9}$), а в 45,8 % проб установлен недостаток серебра (до $\text{Ag}_{1,86}\text{Te}_{1,14}$).

Кроме обычного гессита, установлены его индивиды, содержащие золото в количестве 2,67...13,45 %, изоморфно замещающего серебро, как это видно из рассчитанной для индивида с максимальным его содержанием формулы ($\text{Ag}_{1,72}\text{Au}_{0,25}\Sigma_{1,97}\text{Te}_{1,03}$) (табл. 4). Наряду с золотом (1,32 и 6,77 %) в таких гесситах

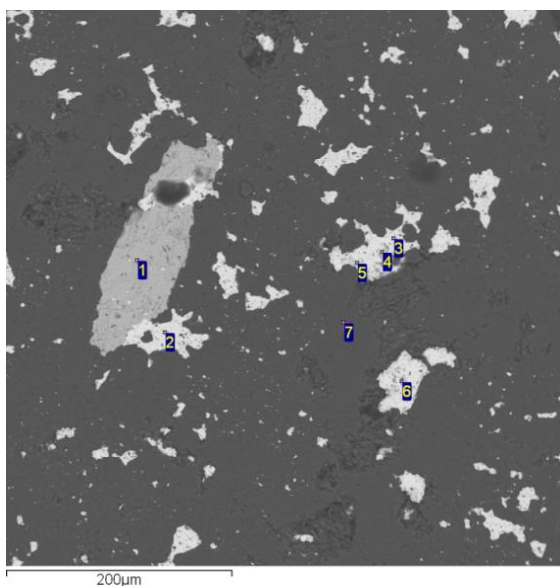


Рис. 8. Гессит (5) в ассоциации с миаргиритом (1) и золотом (2; 6), в сростаниях с ним (3) и андоритом (4) в кварце (7). Тасеевское месторождение. Обр.121б. Электронно-микроскопический снимок / Fig.8. Hessite (5) in association with miargyrite (1) and gold (2, 6), intergrown with it (3) and andorite (4) in quartz (7). Taseevskoye deposit. Sample 121b. Electron microscopic picture

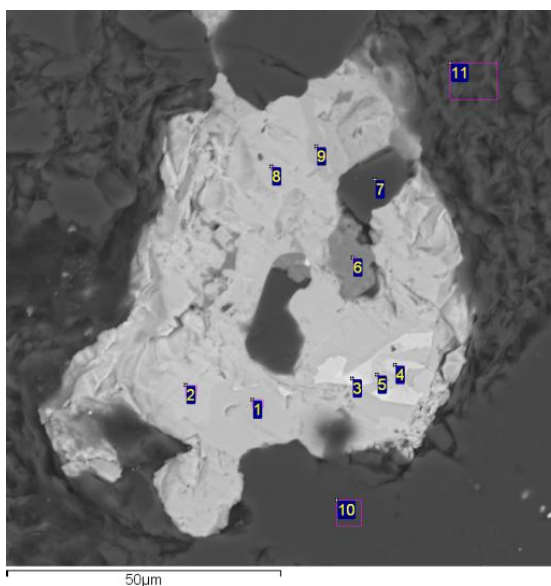


Рис. 9. Гессит (5) в ассоциации с колорадоитом (3), андоритом (1), робинсонитом (2), петцитом (4), халькопиритом (6), миаргиритом (9) в кварце (7, 10)-адуляровом (11) агрегате. Образец В-121, Тасеевское месторождение. Электронно-микроскопический снимок / Fig. 9. Hessite (5) in association with coloradoite (3), andorite (1), robinsonite (2), petzite (4), chalcopyrite (6), miargyrite (9) in quartz (7, 10)-adular (11) aggregate. Sample B-121, Taseevka deposit. Electron microscopic image

Таблица 3 / Table 3

Химический состав гессита / Chemical composition of hessite

Порядковый номер / Serial number	Номер образца, точка измерения / Sample number, measuring point	Элемент и его содержание, мас.%/ / Element and its content, wt.%		Сумма, мас.%/ / Sum, wt%	Формула / Formula
		Te	Ag		
1	9/14 4_1-1	31,68	55,51	87,29	Ag ₂ Te ₁
		36,33	63,67	100	
2	9/14 4_1-2	33,77	53,39	87,16	Ag _{2,02} Te _{0,98}
		38,74	61,26	100	
3	9/14 4_1-3	31,85	53,64	85,49	Ag ₂ Te ₁
		37,26	62,74	100	
4	9/14a- 7_1_3-1	31,63	68,37	100	Ag _{2,16} Te _{0,84}
5	9/14a 8-1	37,66	64,76	102,41	Ag _{2,01} Te _{0,99}
		36,77	63,23	100	
6	8-2	37,77	63,21	100,99	Ag _{1,99} Te _{1,01}
		37,4	62,6	100	
7	8-3	37,13	62,64	99,78	Ag ₂ Te ₁
		37,22	62,78	100	
8	9_14b 6_1-5	37,22	61,98	99,2	Ag _{1,99} Te _{1,01}
		37,52	62,48	100	
9	9_14b 6_1-9	40,57	59,43	100	Ag _{1,9} Te _{1,1}
10	9_14b 7-2	37,48	62,03	99,51	Ag _{1,99} Te _{1,01}
		37,66	62,34	100	
11	9_14b 9-4	36,68	62,22	98,9	Ag ₂ Te ₁
		37,09	62,91	100	
12	9_14g 7_1-3	38,98	63,63	102,62	Ag _{1,98} Te _{1,02}
		37,99	62,01	100	
13	9_14g 7_2-1	37,41	61,19	98,6	Ag _{1,98} Te _{1,02}
		37,94	62,06	100	
14	9_14g 7_2-4	33,58	56,54	90,12	Ag ₂ Te ₁
		37,26	62,74	100	
15	9_14e 6-2	38,09	60,71	98,8	Ag _{1,96} Te _{1,04}
		38,55	61,45	100	
16	9_14e 7-1	39,14	66,11	105,4	Ag ₂ Te ₁
		37,19	62,81	100	
17	10_14 3-1	36,07	51,7	87,77	Ag _{1,89} Te _{1,11}
		41,1	58,9	100	
18	10_14 3_1-2	37,97	64,59	100	Ag ₂ Te ₁
		37,02	62,98		
19	10_14 3_1-3	38,56	66,42	100	Ag _{2,01} Te _{0,99}
		36,73	63,27		
20	10_14 3_2-2	41,72	66,1	100	Ag _{1,96} Te _{1,04}
		38,69	61,31		
21	10_14 3_2-3	38,52	62,42	100	Ag _{1,97} Te _{1,03}
		38,16	61,84		
22	10_14 4-1	41,6942	57,5858	99,27 100	Ag _{1,86} Te _{1,14}

Продолжение табл. 3

23	10_14 4-2	36,79 37,61	61,02 62,39	97,81 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
24	10_14 4-4	35,16 38,08	57,17 61,92	92,33 100	Ag _{1,97} Te _{1,03}
25	10_14 5-3	35,98 37,49	59,98 62,51	95,96 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
26	10_14a- 3-1	38,42 37,39	64,33 62,61	102,75 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
27	10_14a- 3-2	36,58 36,58	63,41 63,42	99,99 100	Ag _{2,02} Te _{0,98}
28	10_14a- 4-1	37,48 37,95	61,28 62,05	98,76 100	Ag _{1,98} Te _{1,02}
29	10_14a- 5_1-2	34,57 37,67	57,2 62,33	91,76 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
30	10_14a- 6-1	37,78 37,82	62,12 62,18	99,9 100	Ag _{1,98} Te _{1,02}
31	10_14a- 6-5	35,64 37,46	59,51 62,54	95,14 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
32	10_14a- 7-3	37,46 36,7	64,6 63,3	102,06 100	Ag _{2,01} Te _{0,99}
33	10_14a- 7_1-1	36,46 36,67	62,97 63,33	99,42 100	Ag _{2,01} Te _{0,99}
34	10_14a- 7_1-2	37,48 37,35	62,88 62,65	100,35 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
35	10_14b- 1_1-5	34,63 36,31	60,75 63,69	95,38 100	AgTe ₁
36	10_14b- 1_1-6	34,49 36,05	61,17 63,95	95,67 100	AgTe ₁
37	10_14b- 2_1-2	38,64 37,27	65,03 62,73	103,67 100	AgTe ₁
38	10_14b- 2_1-3	36,81 36,18	64,93 63,82	101,74 100	AgTe ₁
39	18_14 1_1-4	30,97 36,48	53,92 63,52	84,89 100	Ag _{2,02} Te _{0,98}
40	18_14 1_1-5	37,4 37,74	61,69 62,26	99,09 100	Ag _{1,98} Te _{1,02}
41	20_14-1 2_1-2	37,28 37,01	63,44 62,99	100,72 100	Ag ₂ Te ₁
42	6_1-3	37,02 36,89	63,33 63,11	100,35 100	Ag _{2,01} Te _{0,99}
43	7-3	38 37,68	62,85 62,32	100,8 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
44	7-5	38,03 37,49	63,4 62,51	101,43 100	Ag _{1,99} Te _{1,01}
45	20_14b 6-5	34,86 36,77	59,94 63,23	94,8 100	Ag _{2,01} Te _{0,99}
46	37_14a 1-1	35,43 36,99	60,35 63,01	95,78 100	Ag ₂ Te ₁
47	37_14a 1-2	36,6 36,76	62,96 63,24	99,56 100	Ag _{2,01} Te _{0,99}

Окончание табл. 3

Порядковый номер / Serial number	Номер образца, точка измерения / Sample number, measuring point	Элемент и его содержание, мас. % / Element and its content, wt. %		Сумма, мас. % / Sum, wt %	Формула / Formula
		Te	Ag		
48	37_14a 1-3	40,5	58,17	98,68	$Ag_{1,89}Te_{1,11}$
		41,05	58,95	100	
49	37_14a 2-3	36,51	62,09	98,6	Ag_2Te_1
		37,03	62,97	100	
50	37_14a 4-2	37,57	65,04	102,6	$Ag_{2,02}Te_{0,98}$
		36,61	63,39	100	
51	37_14a 6-2	37,5	63,46	100,95	Ag_2Te_1
		37,14	62,86	100	
52	37_14a6-5	35,28	60,28	95,56	$Ag_{2,01}Te_{0,99}$
		36,92	63,08	100	
53	37_14a7-2	40,34	65,3	105,65	$Ag_{1,97}Te_{1,03}$
		38,19	61,81	100	
54	37_14a 7-3	27,24	49,1	76,35	$Ag_{2,04}Te_{0,96}$
		35,68	64,32	100	
55	B_121_v 11-6	36,33	62,20	98,53	$Ag_{2,03}Te_{0,97}$
		35,78	61,4	100	
56	B_121_v 11-7	31,34	61,89	93,24	$Ag_{2,1}Te_{0,9}$
		33,62	66,38	100	
57	B_121_v 18_1-6	37,04	59,89	96,93	$Ag_{1,97}Te_{1,03}$
		38,21	61,79	100	
58	B-121 17-4	37,67	61,09	98,76	$Ag_{1,97}Te_{1,03}$
		38,14	61,86	100	
59	B-121 27_1-2	37,92	63,66	101,58	Ag_2Te_1
		37,33	62,67	100	
n	59	59	59	59	59
x		37,42	62,58		
σ		1,87	1,49		
σ/x		0,05	0,02		

Примечания:1) – n – число анализов; x – среднее арифметическое; σ – среднеквадратичное отклонение;

2) – в данных анализов верхняя строка – результат анализа, нижняя строка нормированный к 100 % / Notes:

1) n is the number of analyzes; x – arithmetic mean; σ – standard deviation

2) – in the analysis data, the top row is the result of the analysis, the bottom row is normalized to 100 %

установлена сера в количестве 1,6...2,11 %. Пересчет на формулы дал: $(Ag_{1,73}Au_{0,12})_{\Sigma 1,85}$ $(Te_{0,98}S_{0,17})_{\Sigma 1,15}$ и $(Ag_{1,83}Au_{0,02})_{\Sigma 1,85}$ $(Te_{0,93}S_{0,22})_{\Sigma 1,15}$. Он показал сходство сумм катионов и анионов при явном избытке суммы теллура и серы. Особенности таких теллуридов требуют дополнительных исследований, прежде всего подтверждения рентгено-структурным анализом диагностики их принадлежности к гесситу.

В гессите обнаружен также свинец, содержание которого составляет 1,17...7,21 %. Он, вероятно, замещает серебро, так как анализы относительно хорошо рассчитываются в формулы: $(Ag_{2,03}Pb_{0,03})_{\Sigma 2,06}Te_{0,95}$; $(Ag_{1,91}Pb_{0,12})_{\Sigma 2,03}Te_{0,96}$ и др. Для всех их характерен незначительный дефицит теллура при незначительном избытке катионов. Выявлены два индивидуала гессита с примесью железа в количестве 9,74...12,7 %.

Таблица 4 / Table 4

Гессит с примесями золота, свинца и урана / Hessian with impurities of gold, lead and uranium

Разновидность гессита / Variety of hessianite	Номер образца, точка измерения / Sample number, measuring point	Элемент и его содержание, мас.% / Element and its content, wt.%					Сумма, мас.% / Sum, wt%	Формула / Formula
		U / S	Te	Ag	Au	Pb		
Аu гессит	9/14a 7_1_2-1	Н.о.	37,24	48,16	14,6	Н.о.	100	$(Ag_{1,65}Au_{0,27})_{\Sigma 1,92}Te_{1,08}$
То же	7_1_3-2	Н.о.	38,01	52,24	9,75	Н.о.	100	$(Ag_{1,75}Au_{0,18})_{\Sigma 1,93}Te_{1,07}$
То же	B_121-v 5_1-2	Н.о.	34,37	61,4	4,23	Н.о.	100	$(Ag_{1,99}Au_{0,07})_{\Sigma 2,06}Te_{0,94}$
То же	10_14 3_1-1	Н.о.	30,98 33,59	58,79 63,74	2,46 2,67	Н.о.	100	$(Ag_{2,04}Au_{0,05})_{\Sigma 2,09}Te_{0,91}$
То же	10_14 3_2-1	Н.о.	37,22 36	53,83 52,06	12,35 11,94	Н.о.	100	$(Ag_{1,75}Au_{0,22})_{\Sigma 1,97}Te_{1,03}$
То же	10_14b 1-4	Н.о.	35,03 34,72	58,98 58,46	6,88 6,82	Н.о.	100,88 100	$(Ag_{1,92}Au_{0,12})_{\Sigma 2,04}Te_{0,96}$
То же	10_14b 4_1-2	Н.о.	34,56 35,76	56,26 58,22	5,82 6,02	Н.о.	96,64 100	$(Ag_{1,9}Au_{0,11})_{\Sigma 2,01}Te_{0,99}$
То же	37_14a 2-1	Н.о.	34,02 35,95	47,88 50,6	12,73 13,45	Н.о.	94,63 100	$(Ag_{1,72}Au_{0,25})_{\Sigma 1,97}Te_{1,03}$
То же	51_14 3-6	Н.о.	34,15 37,45	47,48 52,15	9,48 10,4	Н.о.	91,18 100	$(Ag_{1,75}Au_{0,19})_{\Sigma 1,94}Te_{1,06}$
Pb-гессит	20/14b 4-3	Н.о.	34,53	62,49	Н.о.	1,54	98,56	$(Ag_{2,03}Pb_{0,03})_{\Sigma 2,06}Te_{0,95}$
То же	5_1-3	Н.о.	30,46 31,09	65,49 66,85	Н.о.	2,02 2,06	97,98 100	$(Ag_{2,13}Pb_{0,03})_{\Sigma 2,16}Te_{0,84}$
То же	5_1-4	Н.о.	33,64 34,94	61,31 63,68	Н.о.	1,33 1,38	96,28 100	$(Ag_{2,03}Pb_{0,02})_{\Sigma 2,05}Te_{0,94}$
То же	10_14 5-2	Н.о.	35,42 36,03	61,74 62,8	Н.о.	1,15 1,17	98,31 100	$(Ag_{2,01}Pb_{0,02})_{\Sigma 2,03}Te_{0,97}$
То же	10_14a 5_1-1	Н.о.	35,14 34,68	58,89 58,11	Н.о.	7,31 7,21	101,34 100	$(Ag_{1,91}Pb_{0,12})_{\Sigma 2,03}Te_{0,96}$
PbU-гессит	20/14b 4-5	3,07 /	32,15	45,18	Н.о.	17,57	97,97	$(Ag_{1,64}Pb_{0,33})_{\Sigma 1,97}Te_{0,98}U_{0,05}$
S-гессит	51_14 2-2	/40,08 37,89	65 61,45		0,7 0,66		105,78 100	$Ag_{1,93}(Te_{1,07}S_{0,07})_{\Sigma 1,07}$
Au-S-гессит	51_14 3-3	/32,08 36,83	47,73 54,8	5,9 6,77	1,39 1,6		87,1 100	$(Ag_{1,73}Au_{0,12})_{\Sigma 1,85}(Te_{0,98}S_{0,17})_{\Sigma 1,15}$
Au-S-гессит	51_14 3-5	/34,39 36,28	57,14 60,29	1,25 1,32	2 2,11		94,78 100	$(Ag_{1,83}Au_{0,02})_{\Sigma 1,85}(Te_{0,93}S_{0,22})_{\Sigma 1,15}$

Примечание: в данных анализов верхняя строка – результат анализа, нижняя строка нормированный к 100 % /
Notes: in the analysis data, the top row is the result of the analysis, the bottom row is normalized to 100 %

Расчет формул показал возможность замещения им серебра: $(Ag_{1,54}Fe_{0,55})_{\Sigma 2,109}Te_{0,94}$ и $Ag_{1,5}Fe_{0,69}\Sigma_{1,19}Te_{0,87}$. Типичен избыток катионов и дефицит теллура.

В одном образце вместе со свинцом (17,57 %) установлен уран в количестве 3,07 %. Расчет формулы дал почти стехиометричный состав: $(Ag_{1,64}Pb_{0,33})_{\Sigma 1,97}Te_{0,98}U_{0,05}$. При этом положение урана в структуре минерала не ясно.

Новые данные, полученные для гессита с указанными примесями, расширяют знания о них, но требуют дальнейших исследований.

Выводы

1. Изучено большое количество проб руд Балейского рудного поля с повышенным содержанием теллура и установлено относительно широкое развитие гессита. Он находится в ассоциации с петцитом, алтаитом, сильваниитом, эмпресситом, штюцитом, пильзенитом, а также теллурсодержащим ютенбогардитом, золотом, тетраэдритом, теннантитом, фрейбергитом, миаргиритом, физелиитом, андритом, аргентотеннантитом, джемсонитом, галенитом, халькопиритом, цинкениитом, штер-

нбергитом, акантитом, ленаитом, плагионитом и другими минералами.

2. Особенностью гессита Балейского рудного поля является вариабельность его состава. Установлено две группы индивидов гессита. К первой, включающей большинство изученных индивидов, относится гессит, не содержащий примесей. Из них стехиометричный состав имеет лишь 22 %. Они соответствуют составу Ag_2Te , в 32,2 % случаев наблюдается избыток серебра по сравнению с теллуrom (до $Ag_{2,1}Te_{0,9}$), а в 45,8 % проб установлен недостаток серебра (до $Ag_{1,86}Te_{1,14}$). В части индивидов гессита он компенсируется замещающим его золотом. Но стехиометричность при этом не достигается, и образуются индивиды, как с недостатком катионов, так и с избытком и с дефицитом теллура.

3. Впервые выявлен гессит, содержащий примесь свинца, который также, вероятно, замещает серебро.

4. Новые данные о химическом составе гессита, а также первые сведения об ассоциирующихся с ним теллуридах свидетельствуют о необходимости их дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Балейское рудное поле / отв. ред. Н. П. Лаверов. М.: ЦНИГРИ, 1984. 272 с.
2. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов. М.: Недра, 1996. 353 с.
3. Литвиненко И. С., Шилина Л. А. Мальдонит, ютенбогардит и разновидности самородного золота из рудных проявлений Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла (Северо-Восток России) // Записки Российского минералогического общества. 2020. Т. 149, № 3. С. 18–37
4. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука, 1991. 302 с.
5. 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. М.: ВСЕГЕИ, 1998. 222 с.
6. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО, 2006. 291 с.
7. Спиридонов Э.М. Минералогия метаморфизованного Кокчарского плутогенного золото-кварцевого месторождения: (Южный Урал) 2. Золото-висмутовые руды (галенит-шапбахит, Bi- и Bi-Sb-прусит, As-Bi-стефанит, густавит, золото, Bi-гессит, хедлиит, теллуржозеит, икунолит, галеновисмутит, бончевит, висмут) // Записки Российского минералогического общества. 1996. Т. 125, № 6. С. 1–10.
8. Ярошевский А. А. Распространённость химических элементов в земной коре // Геохимия. 2006. № 1. С. 54–62.
9. 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 and the bulletin of the society of economic geologists 2002. Vol. 97, no. 3. P. 561–571.
10. IMA, 2021. The New IMA List of Minerals – a Work in Progress. Updated: July 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/352035655_IMA_Commission_on_New_Minerals_Nomenclature_and_Classification_CNMNCS_-_Newsletter_61 (дата обращения: 21.10.2022). Текст: электронный.
11. Malcolm E. Back. Fleisher's Glossary of Mineral Species. 2014. 420 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/281422276_Fleisher's_Glossary_of_Mineral_Species_by_Malcolm_E_Back_The_Mineralogical_Record_PO_Box_30730_Tucson_AZ_85751_wwwmineralogicalrecordcom_420_pages_2014_34_spiral_bound (дата обращения: 21.10.2022). Текст: электронный.
12. Missen O.P., Ram R., Mills S.J., Etschmann B., Reith F., Shuster J., Smith D.J., Brugger J. Love is in the Earth: A review of tellurium (bio)geochemistry in surface environments // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 204. P. 103–150.

13. Kondratieva L.A., Anisimova G.S., Kardashevskaya V.N. Types of Tellurium Mineralization of Gold Deposits of the Aldan Shield (Southern Yakutia, Russia). Текст: электронный // Minerals. 2021. Vol. 11. P. 698. URL: <https://doi.org/10.3390/min11070698> (дата обращения: 21.10.2022).
14. Kalinin A. A. Tellurium and Selenium Mineralogy of Gold Deposits in Northern Fennoscandia // Minerals. 2021. Vol. 11. P. 574–579.
15. Kampf A.R., Housley R.M., Mills S.J., Marty J., Thorne B. Lead-tellurium oxysalts from Otto Mountain near Baker, California: I. Ottoite, Pb_2TeO_5 , a new mineral with chains of tellurate octahedral // American Mineralogist. 2010. Vol. 95, no. 8/9. P. 1329–1336.
16. Kampf A.R., Mills S.J., Housley R.M., Marty J., Thorne B. Lead-tellurium oxysalts from Otto Mountain near Baker, California: IV. Markcooperite, $Pb(UO_2)Te_6^+O_6$, the first natural uranyl tellurate // American Mineralogist. 2010. Vol. 95. P. 1554–1559.
17. Pekov I.V. Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union. Moscow: Ocean pictures, 1998. 369 p.
18. Xing Y., Etschmann B., Liu W., Mei Y., Shvarov Y., Testemale D., Tomkins A., Brugger J. The role of fluorine in hydrothermal mobilization and transportation of Fe, U and REE and the formation of IOCG deposits // Chemical Geology. 2019. Vol. 504. P. 158–176.

References

1. *Baleyskoye rudnoye pole. Kollektivnaya monografiya* (Baley ore field. Collective monograph). Moscow: CRGEINFPM, 1984. 272 p.
2. Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov* (Ecological geochemistry of elements). Moscow: Nedra, 1996. 353 p.
3. Litvinenko I.S., Shilina L.A. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* (Notes of the Russian Mineralogical Society), 2020, vol. 149, no. 3, pp. 18–37.
4. Nekrasov I.Ya. *Geokhimiya, mineralogiya i genezis zolotorudnykh mestorozhdeniy* (Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits). Moscow: Nauka, 1991. 302 p.
5. 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). Moscow: VSEGEI, 1998. 222 p.
6. 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.
7. Spiridonov E. M. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* (Notes of the Russian Mineralogical Society), 1996, vol. 125, no. 6, pp. 1–10.
8. Yaroshevskiy A. A. *Geokhimiya* (Geochemistry), 2006, no. 1, pp. 54–62.)
9. Greffie C., Bailly L., Milesi J.-P. Economic Geology. 2002. Vol. 97, no. 3. Pp. 561–571.
10. IMA, 2021. The New IMA List of Minerals – a Work in Progress. Updated: July 2021. Available at: https://www.researchgate.net/publication/352035655_IMA_Commission_on_New_Minerals_Nomenclature_and_Classification_CNMNC_-_Newsletter_61 (date of access: 21.10.2022). Text: electronic.
11. Malcolm E. Back. *Fleisher's Glossary of Mineral Species*. 2014. 420 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/281422276_Fleischer's_Glossary_of_Mineral_Species_by_Malcolm_E_Back_The_Mineralogical_Record_PO_Box_30730_Tucson_AZ_85751_wwwmineralogicalrecordcom_420_pages_2014_34_spiral_bound (date of access: 21.10.2022). Text: electronic.
12. Missen O.P., Ram R., Mills S.J., Etschmann B., Reith F., Shuster J., Smith D.J., Brugger J. Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 204. P. 103–150.
13. Kondratieva L.A., Anisimova G.S., Kardashevskaya V.N. Minerals. 2021. Vol. 11. P. 698. Available at: <https://doi.org/10.3390/min11070698> (date of access: 21.10.2022). Text: electronic.
14. Kalinin A. A. Minerals. 2021. Vol. 11. Pp. 574–579.
15. Kampf A.R., Housley R.M., Mills S.J., Marty J., Thorne B. American Mineralogist. 2010. Vol. 95, no. 8/9. Pp. 1329–1336.
16. Kampf A.R., Mills S.J., Housley R.M., Marty J., Thorne B. American Mineralogist. 2010. Vol. 95. Pp. 1554–1559.
17. Pekov I.V. Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union. Moscow: Ocean pictures, 1998. 369 p.
18. Xing Y., Etschmann B., Liu W., Mei Y., Shvarov Y., Testemale D., Tomkins A., Brugger J. Chemical Geology. 2019. Vol. 504. Pp. 158–176.

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. Новые данные о гессите Балейского рудного поля в Восточном Забайкалье (Россия) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 10. С. 38–52. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-10-38-52.

Yurgenson G. New data on the hessite of the Baley ore field in Eastern Transbaikalia (Russia) // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 10, pp. 38–52. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-10-38-52.

Статья поступила в редакцию: 24.10.2022 г.

Статья принята к публикации: 05.12.2022 г.