

Научная статья
УДК 549
DOI 10.2109/2227-9245-2023-29-2-24-35

Новые данные о петците Балейского рудного поля в Восточном Забайкалье

Георгий Александрович Юргенсон

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

Информация о статье

Поступила в редакцию
14.04.2023

Одобрена после
рецензирования 24.04.2023

Принята к публикации
28.04.2023

Ключевые слова:

Петцит, теллуриды, золото, серебро, золото самородное, химический состав, электронная микроскопия, парагенезис, Балейское рудное поле, Забайкалье

Актуальность заключается в необходимости иметь данные о химическом составе, распространённости и парагенезисах петцита, являющегося одним из минеральных носителей Te, Au и Ag в золотосеребряных рудах Балейского рудного поля в Забайкалье. Во время разработки месторождений рудного поля извлекались только Au и Ag, Te уходил в отвал. Месторождения отработаны не полностью. Оставшиеся запасы Au Тасеевского месторождения, составляют 105 т, ресурсы Au Балейского оцениваются в 35 т. В связи с добычей оставшихся запасов Au–Ag руд этих месторождений, где часть Te находится в виде петцита Ag_3AuTe_2 , сведения о нём будут важными для разработки технологии его извлечения наряду с другими теллуридами. Цель исследования – познание химического состава и парагенезисов петцита. Задачи – изучение состава петцита и петцит-содержащих минеральных ассоциаций Балейского рудного поля. Объект исследования – Au–Ag руды Балейского рудного поля, предмет исследования – формы выделения и химический состав петцита. Метод и методология – оптическая и электронная микроскопия с выявлением форм и размеров индивидов и агрегатов петцита, определение его химического состава. Результаты исследования: впервые выполнено изучение химического состава петцита в рудах Балейского рудного поля, его распространённости и парагенезисов. Он находится в ассоциации с гесситом, самородным золотом, миаргиритом, тетраэдритом, теннантитом, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, алтаитом, колорадоитом, шютцитом, андоритом, робинсонитом, кварцем, адуляром, карбонатами, каолинитом и другими минералами. Химический состав варьируется в пределах (мас. %): Ag 41,57–48,16; Au 18,55–26,01; Te 30,79–35,18. Средний химический состав петцита (мас. %): Ag 43,91; Au 22,61; Te 33,16. Это указывает на нестехиометричность его состава и избыток Ag и Te и дефицит Au. Петцит как носитель этих элементов может быть одним из источников Te в технологии переработки золотосеребряных руд.

Благодарность: Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FUFР-2021-0005.

Original article

New data on the Petzite of the Baley Ore Field in Eastern Transbaikalia

Georgy A. Yurgenson

Institute of Natural Resources, Ecology and Criology Siberian Branch Russian Academy of Science, Chita, Russia
yurgga@mail.ru

Information about the article

Received March 14, 2023

Approved after reviewing
April 24, 2023

Accepted for publication
April 28, 2023

The relevance lies in the need to get data on the chemical composition, abundance and paragenesis of petzite, which is one of the mineral carriers of Te, Au and Ag in the gold and silver ores of the Baley ore field in Transbaikalia. During the development of deposits in the ore field, only Au and Ag were extracted, Te went to the dump. The deposits have not been fully developed. The remaining Au reserves of the Taseevskoye deposit are 105 tons, the Au resources of the Baley deposit are estimated at 35 tons. In connection with the extraction of the remaining reserves of Au–Ag ores of these deposits, where part of Te is in the form of petzite Ag_3AuTe_2 , information about it will be important for the development of technology for its extraction along with other tellurides. The purpose of the study is to understand the chemical composition and paragenesis of petzite. The tasks are to study the composition of petzite and petzite-bearing mineral associations of the Baley ore field. The object of the study is

Keywords:

Petzite, tellurides, gold, silver, native gold, chemical composition, electron microscopy, paragenesis, Baley ore field, Transbaikalia

Au–Ag ores of the Baley ore field, the subject of the study is the forms of isolation and the chemical composition of petzite. Methodology and methods – optical and electron microscopy with the identification of shapes and sizes of individuals and aggregates of petzite, determination of its chemical composition. Research results are the following: for the first time, the study of the chemical composition of petzite in the ores of the Baley ore field, its abundance and paragenesis has been carried out. It is found in association with hessite, native gold, miargyrite, tetrahedrite, tennantite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, altaite, coloradoite, schützite, andorite, robinsonite, quartz, adularia, carbonates, kaolinite and other minerals. The chemical composition varies within the limits (wt%): Ag 41.57–48.16; Au 18.55–26.01; Te 30.79–35.18. Petzite average chemical composition (wt%): Ag 43.91; Au 22.61; Te 33.16. This indicates the nonstoichiometric composition of its composition and an excess of Ag and Te and a deficit of Au. Petzite, as a carrier of these elements, can be one of the sources of Te in the technology of processing gold and silver ores.

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of the state task on the topic No. FUFР-2021-0005.

Введение. Петцит (Ag_3AuTe_2) является одним из относительно распространённых носителей редкого химического элемента теллура [11], а также золота и серебра. Впервые описан в 1842 г. Петцем (Petz) как теллуристое серебро, тремя годами позже Хайдингер вновь описал его и дал имя петцит (Petzite)¹ [2; 8]. Первая его находка в России в шлихах пади Хорогоча в Забайкалье в виде гальки была совершена К. А. Ненадкевичем в 1918–1921 гг., [5]. Теоретический состав петцита (мас. %): Ag 41,71; Au 25,42; Te 32,87. Первый найденный в Забайкалье петцит по данным К. А. Ненадкевича содержал Ag 45,32; Au 19,00; Te 34,90 [5]. В качестве примесей в петците обнаружены (мас. %) Cu до 0,16; Hg до 2,26; Mo до 0,08 [5].

Петцит, как и другие теллуриды, является обычным незначительно развитым минералом в рудах месторождений малоглубинной золотосеребряной формации, золото-кварцево-сульфидных, молибденовых и др. [4; 7; 12; 14; 16–18; 21]. Известны теллулаты и уранил-теллулаты свинца [18; 19]. Минералы теллура, впервые описанные в России, приведены в сводке И. В. Пекова [20].

Одной из особенностей петцита является развитие его, преимущественно, в верхних частях золоторудных месторождений, где он нередко образует тончайшую вкрапленность в пиритах. Он наблюдался нами в пирите верхней надрудной части жилы Эповской Дарасунского месторождения золота и Верхнекручининского флюорита в Забайкалье [9], которое в результате специальных исследований отнесено к новому золото-сульфидно-кварцево-флюоритовому минеральному типу [9; 10].

Присутствие микроскопических включений петцита в пирите, выявляемое методами электронной микроскопии, является важным типоморфным признаком принадлежности его к надрудным или верхнерудным частям месторождений среднеглубинных формаций.

Будучи минералом таких ценных химических элементов как золото, серебро и теллур, петцит всегда был, прежде всего, одним из источников золота и серебра, которые извлекались, а теллур обычно уходил в отвал. Тем не менее, в настоящее время, когда теллур стал широко использоваться в электронике и других современных перспективных технологиях, потребность в нём существенно выросла и повысилась его стоимость, попутное извлечение его из золотоносных руд становится насущной задачей.

По данным [13] зарегистрированных к настоящему времени минералов теллура, насчитывающихся около 100, 25 из них связаны с серебром, в том числе с петцитом. Биогеохимические особенности теллура в экологическом аспекте рассмотрены в монографии В. В. Иванова [3], а также в работе О. Р. Misson [15].

Балейское рудное поле находится в одноименном административном районе Забайкальского края, в долине р. Унда в непосредственной близости от г. Балей (рис. 1).

Оно является частью Балейского рудного района Агинской зоны Монголо-Охотского рудного пояса и включает два крупных золотосеребряных месторождения – Балейское и Тасеевское, а также находящееся между ними Южное поле. Балейское рудное поле приурочено к Ундинской депрессионной зоне, совмещённой в пределах рудного района с зоной регионального глубинного Борщовочного разлома [1; 5; 6] (рис. 2).

¹ Минералы: справочник: в 7 т. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 1. – 616 с.

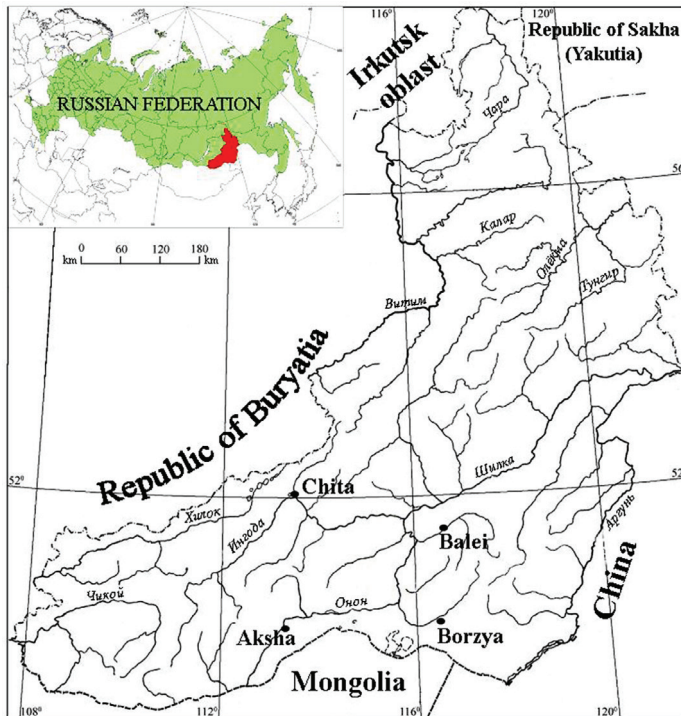


Рис. 1. Местоположение г. Балей и Балейского рудного поля / **Fig. 1.** Location of the town of Balei and the Balei ore field

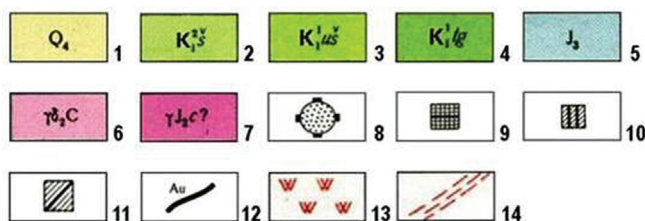


Рис. 2. Геологическая позиция Балейского рудного поля. По [6] с изменениями: *четвертные отложения:* 1 – аллювиальные пески, суглинки, галечники; 2 – шилкинская толща, конгломераты, прослои песчаников; 3 – ундино-шилкинская толща, песчаники, алевролиты, конгломераты, прослои углей; 4 – тергенская толща, 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 милонитизации и расщепления / **Fig. 2.** Geological position of the Balei ore field. According to [7] 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 – Balei; 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

Абсолютный возраст адуляра балеийских золоторудных жил, определённый калий-аргоновым методом составляет 120–114 млн лет [1; 6; 7]. Исходя из этих данных, время формирования оруденения приходится на меловой период. Балеийское месторождение представлено штокверком золотоносных кварцевых жил в гранодиоритах ундинского интрузивного комплекса (см. рис. 2). Тасеевское месторождение находится в Ундино-Даинской впадине и локализовано в Балеийском грабене [1; 6]. Геологическое строение рудного поля и месторождений хорошо изучены и отображены в известной монографии [1] и более поздних работах [7; 10] и здесь не рассматриваются.

Руды относятся к убогосульфидным [1]. Они сложены кварцем (до 95–98 %, реже 50–90 %), слоистыми силикатами (редко до 10 %), карбонатами, представленными кальцитом, доломитом и сидеритом (0,1–20 %), адуляром (0,01–10 %), сульфидами (пиритом, арсенопиритом, реже сфалеритом и галенитом, антимонитом) и сульфосолями (0,5–1,5 %, редко 3–5 %). Содержание самородного низкопробного золота составляет в среднем 14–20 г/т. В богатых частях жил его содержание достигает кг/т (до 346 кг/т).

Сульфосоли представлены тетраэдритом, миаргиритом, фрейбергитом, теннантитом, пираргиритом, бурнонитом, стефанитом, бертьеритом и другими в количествах менее 0,01 % [1].

Актуальность заключается в необходимости иметь данные о химическом составе, распространённости и парагенезисах петцита, являющегося одним из минеральных носителей Те, Ау и Аг в золотосеребряных рудах Балеийского рудного поля в Забайкалье. Во время разработки месторождений рудного поля извлекались только Ау и Аг, Те уходил в отвал. Месторождения отработаны не полностью. Оставшиеся запасы Ау Тасеевского месторождения, составляют 105 т, ресурсы Ау Балеийского оцениваются в 35 т. В связи добычей оставшихся запасов Ау–Аг руд этих месторождений, где часть Те находится в виде петцита Ag_3AuTe_2 , сведения о нём будут важными для разработки технологии его извлечения наряду с другими теллуридами.

Цель исследования – познание химического состава и парагенезисов петцита. **Основная исследовательская задача** – изучение состава петцита и петцит-содержащих минеральных ассоциаций Балеийского рудного поля. **Объект исследования** – Ау–Аг руды Балеийского рудного поля, **предмет** иссле-

дования – формы выделения и химический состав петцита.

Разработанность темы. В руде Балеийско-Тасеевского рудного поля, достоверно определён и описан лишь гессит (Ag_2Te) [1], впоследствии изученный автором. Предположительно по оптическим свойствам были диагностированы калаверит ($AuTe_2$) и петцит (Ag_3AuTe_2). По данным локального рентгено-спектрального анализа диагностирован теллурид висмута без указания названия минерала [1, с. 178]. Без описания указан также тетрадимит. Минералы теллура развиты на участках, содержащих золото и серебро. Специального изучения распространённости теллура в рудах и химического состава его минералов в процессе отработки месторождений не проводилось и задачи его извлечения в качестве попутного компонента не ставились.

Материал и методы исследования. Материалом для исследования стала коллекция образцов золотоносных жил и вмещающих горных пород, собранная автором в период 1968–1989 г. из Северного карьера (Балеийское 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. Исследование выполнено 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 канд. техн. наук С. В. Канакин). Использовано более 100 точек измерения состава петцита 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.

Результаты и их обсуждение. При детальном изучении минерального состава руд Балеийского и Тасеевского месторождений получены новые данные о распространённости, составе и парагенезисе петцита, упоминание о котором без описания имеется в сводной работе о Балеийском рудном поле, вышедшем в свет в 1984 г. [1]. В настоящее время

установлено, что теллур достаточно распространён в рудах этого рудного поля, и сделан вывод о необходимости его извлечения в процессе предстоящей отработки открытым способом оставшихся запасов Тасеевского месторождения, входящего в состав Балейского рудного поля. Содержания его в богатых рудах достигают 421 г/т. Целесообразность извлечения теллура наряду с золотом и серебром из золото-серебряных руд этого месторождения обусловлена резким возрастанием потребности в нём.

Петцит является вторым по распространённости теллуридом в рудах Балейского

рудного поля. Он находится в участках жил, содержащих, как рядовые, так и высокие концентрации самородного золота и сульфосолей. Подобно золоту, он располагается в центральных частях изгибов фестончатых слоёв халцедоновидного кварца. Здесь он ассоциируется с самородным золотом, миаргиритом, сульфосолями и сфалеритом.

Формы индивидов петцита различные, очень редко относительно чётко проявлены прямолинейные очертания. Размеры индивидов находятся в пределах 2–50 мкм. Он образует тесные сростания с гесситом и самородным золотом, как это видно на рис. 3.

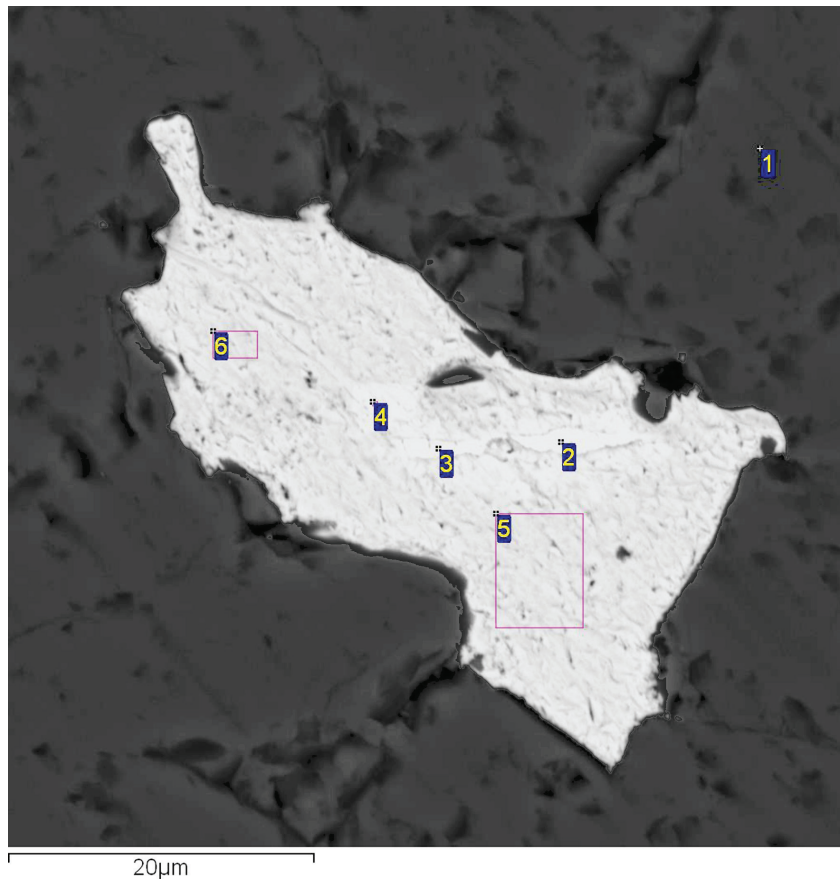


Рис. 3. Относительно крупное выделение петцита (4) – золото (2, 3) – гесситового (5, 6) состава в кварце (1). Образец 10_14б. Балейское месторождение. Северный карьер. Электронно-микроскопический снимок / **Fig. 3.** Relatively large segregation of petzite (4) – gold (2, 3) – hessite (5, 6) composition in quartz (1). Sample 10_14b. Baley deposit. North Quarry. Electron microscopic picture

Теснейшее сростание петцита, гессита и самородного золота указывает на возможность распада структуры твёрдого раствора на три фазы, одна из которой (петцит) содержит избыток серебра по отношению к золоту, и недостаток теллура ($Ag_{3,13}Au_{0,99}Te_{1,89}$). При этом основная масса золота выделяется в

ассоциации с элетрумом ($Ag_{0,28}Au_{0,72}$ и $Ag_{0,31}Au_{0,69}$). В другом месте в образце с содержанием золота 15 %, петцит вместе с золотом и миаргиритом образует оторочку вокруг идиоморфного шестигранного кристалла кварца (рис. 4). Вместе с петцитом находятся минералы, показанные на рисунке.

Пирит в этом образце содержит до 2,44 % мышьяка, одно из измеренных зёрен миаргирита 0,78 % железа. Особенностью тетраэдрита является отсутствие цинка, обычного для этого минерала в Балейском рудном поле. Относительно мелкие включения петцита в обогащенных золотом фрагментах жил находятся также в ассоциации с колорадоитом и андоритом (рис. 5). При этом петцит вместе с колорадоитом в обособлениях величиной до пяти микрон находится в гессите. Иногда петцит с гесситом образуют прерывистое обрамление вокруг кристалла кварца.

Нередко эта же ассоциация наблюдается и в адуляровом агрегате в виде включений, выполняющих полости в нём (рис. 6).

В таких тесных петцит-гесситовых ассоциациях гессит отличается некоторым избытком серебра и теллура и недостатком золота, а гессит вариациями состава [12]. Петцит ассоциирует также с очень редким шютцитом ($Ag_{5-x}Te_3$), с которым, возможно, связан взаимопереходами (рис. 7). При этом в сростаниях с ним петцит отличается избытком серебра и теллура и дефицитом золота ($Ag_{3,07}Au_{0,88}Te_{2,05}$).

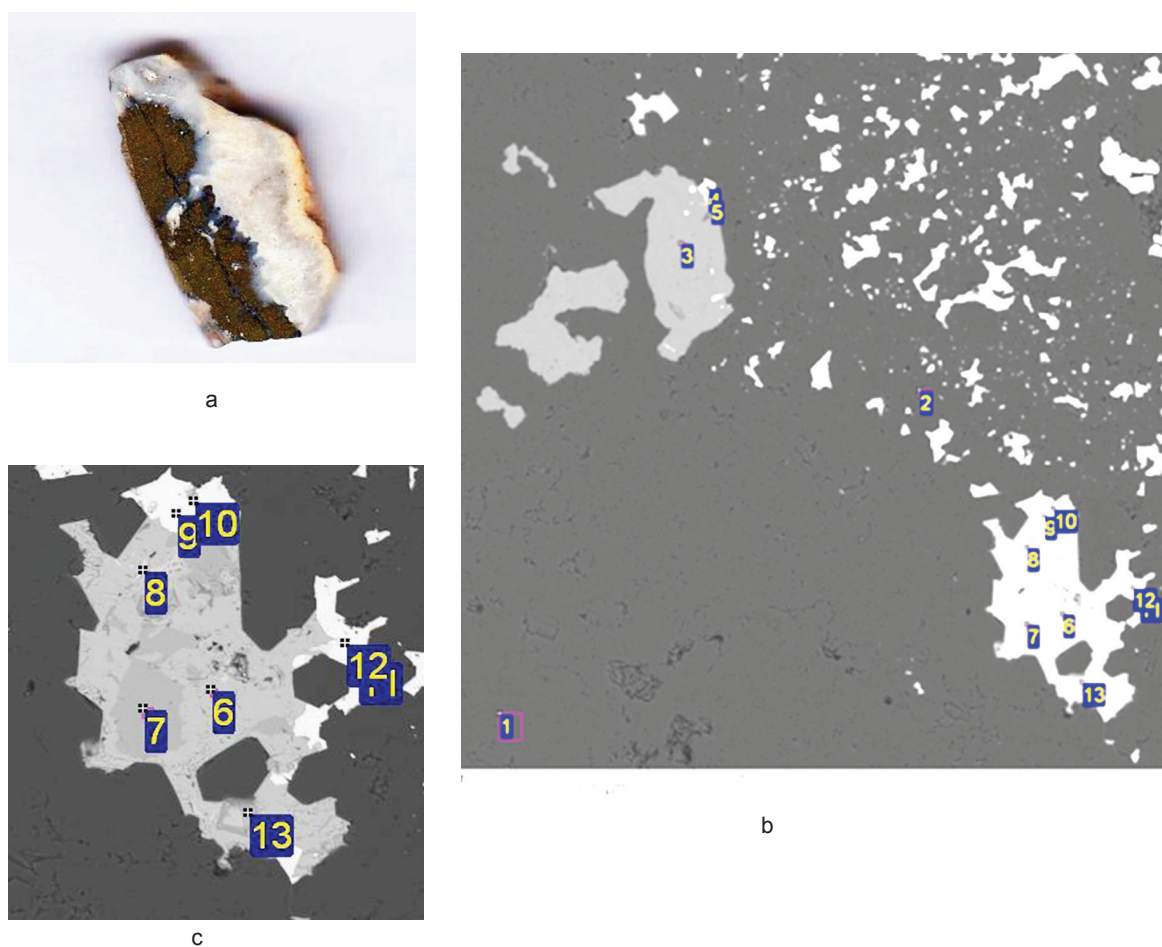


Рис. 4. Фрагмент жилы размером 1,2 x 2,5 см, содержащей до 15 % золота (а) и его части (b и c) под электронным микроскопом, где петцит (12) находится в тесной ассоциации с золотом (4, 9, 11), составляющим основную массу рудного вещества (белые неправильной формы выделения), миаргиритом (5, 6, 10, 13), робинсонитом (8) и тетраэдритом (7), крупными выделениями пирита (3) в кварце (2). Образец В_121_v. Тасеевское месторождение / **Fig. 4.** A fragment of a vein 1.2 x 2.5 cm in size containing up to 15 % gold (a) and its parts (b and c) under an electron microscope, where petzite (12) is in close association with gold (4, 9, 11), constituting the bulk of the ore substance (white irregular segregation forms), miargyrite (5, 6, 10, 13), robinsonite (8) and tetrahedrite (7), large pyrite segregations (3) in quartz (2). Sample B_121_v. Taseevskoe deposit. B and c Electron microscopic picture

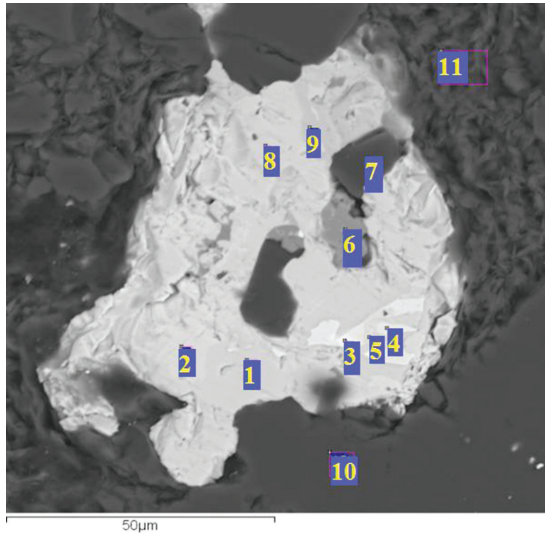


Рис. 5. Петцит (4) в ассоциации с гесситом (5), колорадоитом (3), андоритом (1), робинсонитом (2), халькопиритом (6), миаргиритом (8, 9) в кварц (7, 10) – адуляровом (11) агрегате. Образец В-121, Тасеевское месторождение. Электронно-микроскопический снимок / **Fig. 5.** Petzite (4) in association with hessite (5), coloradoite (3), andorite (1), robinsonite (2), chalcopyrite (6), miargyrite (8, 9) in quartz (7, 10) – adularia (11) aggregate. Sample В-121, Taseevskoe deposit. Electron microscopic picture

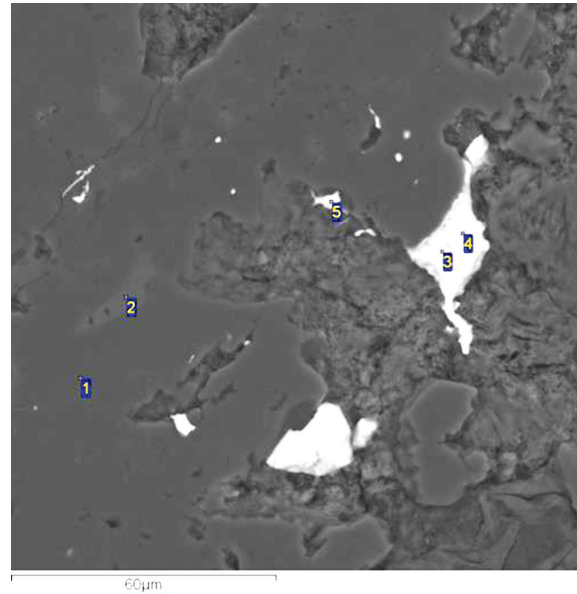


Рис. 6. Петцит (3) в сростке с гесситом (4, 5) в кварц (1) – адуляровом (2) агрегате. Образец 18_14, Бaleyский карьер. Электронно-микроскопический снимок / **Fig. 6.** Petzite (3) intergrown with hessite (4, 5) in a quartz (1) – adular (2) aggregate. Sample 18_14, Baley quarry. Electron microscopic picture

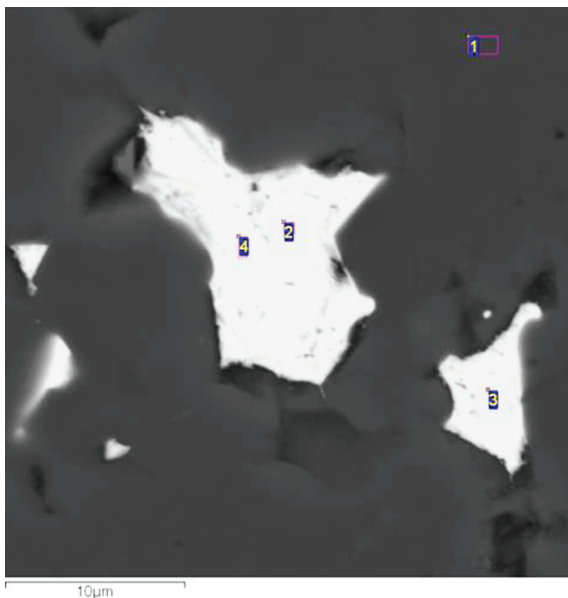


Рис. 7. Петцит (4) в ассоциации с штютцитом (2, 3) в кварце (1). Образец 09. Тасеевское месторождение. Электронно-микроскопический снимок / **Fig. 7.** Petzite (4) in association with stutzite (2, 3) in quartz (1). Sample 09. Taseevskoe field. Electron microscopic picture

Петцит преимущественно образуется в относительно поздних генерациях, обрамляя зерна и микрокристаллы кварца или выполняя микроскопические полости между зернами или мельчайшими головками его кристаллов. По отношению к наиболее распространенным халькопириту и пириту он занимает разное положение: обрастает ранние кри-

сталлы халькопирита (рис. 8) или облекается поздним пиритом (рис. 9). Особенностью халькопирита является недостаток серы и избыток железа при переменном количестве меди, а тетраэдрит постоянно содержит серебро. Петцит в сростаниях с гесситом выделяется раньше поздних генераций пирита, как это хорошо видно на рис. 9.

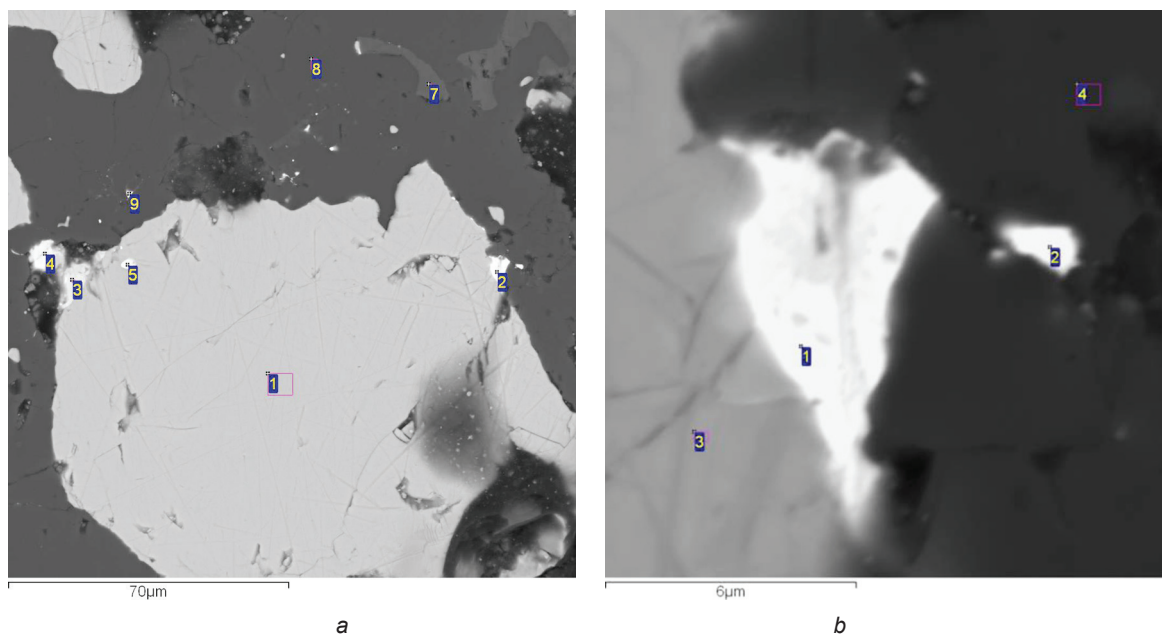


Рис. 8. Петцит в пригранной части раннего халькопирита а) петцит (2) в ассоциации с тетраэдритом (3), бурнонитом (4), гесситом (5, 9) и халькопиритом (1) в доломит (7)-кварцевом (8) агрегате; б) фрагмент участка 2, где неоднородное зерно петцита (1) контактирует с халькопиритом (3), а другое (2) находится непосредственно в кварце (4). Образец 9_14b. Северный Карьер. Электронно-микроскопический снимок / **Fig. 8.** Petzite in the near-face part of early chalcopyrite a) petzite (2) in association with tetrahedrite (3), bournonite (4), hessite (5, 9), and chalcopyrite (1) in a dolomite(7)-quartz (8) aggregate; b) a fragment of section 2, where an inhomogeneous petzite grain (1) is in contact with chalcopyrite (3), and the other (2) is located directly in quartz (4) . Sample 9_14b. North Quarry. Electron microscopic picture

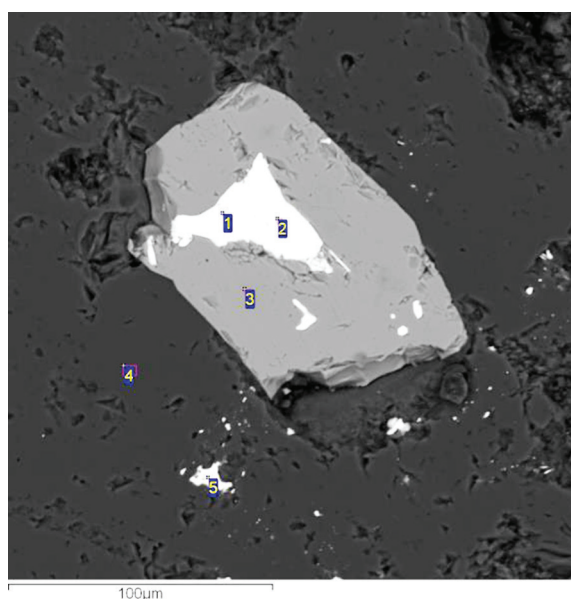


Рис. 9. Петцит (1) в сростке с гесситом (2) в кристалле пирита (3), обрастающем его. Отдельные мелкие зерна гессита (5) находятся и в кварце (4). Образец 37_14а (6–1). Балейское месторождение. Электронно-микроскопический снимок / **Fig. 9.** Petzite (1) intergrown with hessite (2) in a pyrite crystal (3) that overgrows it. Separate fine grains of hessite (5) are also found in quartz (4). Sample 37_14a (6–1). Baley deposit. Electron micrograph

Особенностью халькопирита является недостаток серы и избыток железа при переменном количестве меди, а тетраэдрит постоянно содержит серебро. Петцит в сростаниях с гесситом выделяется раньше поздних генераций пирита, как это хорошо видно на рис. 9. Химический состав петцита представлен в таблице,

анализ данных которой показал, что он постоянен и варьируется в пределах (мас. %): Ag 41,57–48,16; Au 18,55–26,01; Te 30,79–35,18. Среднее содержание по 15 химическим анализам: Ag 43,91; Au 22,61; Te 33,16, тогда как теоретическое содержание составляет (мас.%): Ag 41,71; Au 25,42; Te 32,87.

Химический состав петцита / The chemical composition of petzite

Номер образца / Sample number	Привязка / Binding	Элемент и его содержание, мас. % / Element and its content, wt. %			Сумма / Total	Формула / Formula
		Au	Ag	Te		
15_09_1 09 6-4	Тасеевское, I зона / Taseevskoe, I zone	22,85	43,84	34,54	101,23	$Ag_{3,1}Au_{0,89}Te_{2,01}$
	Нормированные / Normalized	22,57	43,31	34,12	100	
	Ф. к. / F. c.	0,89	3,1	2,01	6	
B_121_v 1-12	Жила 28 / Lived 28	26,01	41,57	32,39	99,97	$Ag_{2,99}Au_{1,02}Te_{1,98}$
	Нормированные / Normalized	25,96	41,55	32,49	100	
	Ф. к. / F. c.	1,02	2,99	1,98	6	
21_01-4 9_14b	Балейское / Baley	20,05	46,36	33,06	99,44	$Ag_{3,23}Au_{0,79}Te_{1,98}$
	Нормированные / Normalized	20,51	46,06	33,43	100	
	Ф. к. / F. c.	0,79	3,23	1,98	6	
21_06 9_14e 6-3	Балейское / Baley	22,03	43,07	34,45	99,55	$Ag_{3,07}Au_{0,86}Te_{2,07}$
	Нормированные / Normalized	22,13	43,37	34,5	100	
	Ф. к. / F. c.	0,86	3,07	2,07	6	
21_06_4 : 10_14 3_1-6	Балейское / Baley	23,28	43,44	32,33	99,05	$Ag_{3,12}Au_{0,92}Te_{1,96}$
	Нормированные / Normalized	23,5	43,86	32,64	100	
	Ф. к. / F. c.	0,92	3,12	1,96	6	
21_06_4 : 10_14 5-1	Балейское / Baley	25,61	42,56	33,11	101,28	$Ag_{3,02}Au_{0,99}Te_{1,99}$
	Нормированные / Normalized	25,29	42,02	32,69	100	
	Ф. к. / F. c.	0,99	3,02	1,99	6	
10_14a 3-3	Балейское / Baleyское	20,13	48,16	32,17	100,46	$Ag_{3,34}Au_{0,75}Te_{1,91}$
	Нормированные / Normalized	19,55	47,97	32,47	100	
	Ф. к. / F. c.	0,75	3,34	1,91	6	
10_14a 5_1-3	Балейское / Baley	18,55	45,79	33,3	97,64	$Ag_{3,27}Au_{0,72}Te_{2,01}$
	Нормированные / Normalized	19	46,9	34,1	100	
	Ф. к. / F. c.	0,72	3,27	2,01	6	
10_14a 7_1-4	Балейское / Baley	25,72	43,44	33,77	100,32	$Ag_{3,05}Au_{0,99}Te_{1,96}$
	Нормированные Normalized /	24,99	42,2	32,81	100	
	Ф. к. / F. c.	0,99	3,05	1,96	6	
10_146- 1_1-4	Балейское / Baley	24,84	43,16	30,79	98,8	$Ag_{3,13}Au_{0,99}Te_{1,89}$
	Нормированные / Normalized	25,14	43,69	31,17	100	
	Ф. к. / F. c.	0,99	3,13	1,89	6	
37_14a 6-1	Балейское / Baley	24,67	42,65	31,45	98,77	$Ag_{3,09}Au_{0,98}Te_{1,93}$
	Нормированные Normalized	24,98	43,18	31,84	100	
	Ф. к. / F. c.	0,98	3,09	1,93	6	
9_14b 6_1-2	Балейское / Baley	19,98	45,89	33,04	98,91	$Ag_{3,23}Au_{0,79}Te_{1,98}$
	Нормированные / Normalized	20,51	46,06	33,43	100	
	Ф. к. / F. c.	0,79	3,23	1,98	6	
9_14b 6_1-1-1	Балейское / Baley	18,75	45,16	35,18	99,09	$Ag_{3,16}Au_{0,72}Te_{2,1}$
	Нормированные / Normalized	18,93	45,57	35,5	100	
	Ф. к. / F. c.	0,72	3,18	2,1	6	

Окончание таблицы / End the table

Номер образца / Sample number	Привязка / Binding	Элемент и его содержание, мас. % / Element and its content, wt. %			Сумма / Total	Формула / Formula
		Au	Ag	Te		
9_14b 6_1_1–2	Балейское / Baley	23,01	41,49	34,26	98,76	$Ag_3Au_{0,91}Te_{2,09}$
	Нормированные / Normalized	23,3	42	34,7	100	
	Ф. к. / F. c.	0,91	3	2,09	6	
18-14 1_1–3	Северный карьер / North Quarry	23,62	42,10	33,59	99,31	$Ag_{3,03}Au_{0,93}Te_{2,04}$
	Нормированные / Normalized	23,78	42,4	33,82	100	
	Ф. к. / F. c.	0,93	3,03	2,04	6	
n		15	15	15		
x		22,61	43,91	33,16		
σ		2,48	1,88	1,16		
Примечание / Note: Ф. к. – формульный коэффициент / F. c. – formula coefficient; n – число проб / n number of samples; x – среднее содержание / x average content; σ – среднеквадратичное отклонение / σ standard deviation						

Балейский петцит отличается избытком серебра и теллура, дефицитом золота. Среднеквадратичное отклонение содержания серебра составляет 1,18, золота 2,48 и теллура 1,16, свидетельствуя об относительно устойчивом химическом составе петцита. Анализ величин формульных коэффициентов однозначно подтверждает это (см. таблицу).

Выводы. 1. Петцит является относительно распространённым минералом класса теллуридов Балейского рудного поля, уступая лишь геситу. Он находится в ассоциации с гесситом, самородным золотом, миаргиритом, тетраэдритом, теннантитом, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, алтаитом, колорадоитом, шютцитом, андоритом, робинсонитом, кварцем, адуляром, доломитом, сидеритом, каолинитом и другими минералами.

2. Особенностью петцита Балейского рудного поля является вариабельность и нестехиометричность его состава. Химический состав петцита варьируется в пределах (мас. %): Ag 41,57–48,16; Au 18,55–26,01; Te 30,79–35,18. Средний химический состав петцита по 15 анализам (мас. %): Ag 43,91; Au 22,61; Te 33,16 указывает на избыток серебра и теллура и дефицит золота, что согласуется с общим его дефицитом при формировании самородного золота, которое в руде месторождений Балейского рудного поля низкопробное.

3. Петцит как минерал серебра, золота и теллура может быть одним из источников теллура в технологии переработки руд, адаптированной к извлечению всех трех химических элементов.

Список литературы

1. Балейское рудное поле. М.: ЦНИГРИ, 1984. 270 с.
2. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Элементы, сульфиды, сульфосоли / под. ред Д. П. Григорьева. М.: Изд-во ин. л-ры, 1951. 608 с.
3. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: монография. М.: Недра, 1996. 304 с.
4. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука, 1991. 302 с.
5. Ненадкевич К. А. Очерк исследования висмутовых руд Забайкалья: оттиск из тр. гос. ин-та народ. обр. в Чите. Чита: Тип. Дальпрофсовета, 1922. 18 с.
6. 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 1:200 000. Серия Приаргунская. Лист М-50-III (Балей). Издание второе: объяснительная записка. СПб.: Питер, 1998. 222 с.
7. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО, 2006. 291 с.
8. Флейшер М. Словарь минеральных видов. М.: Мир, 1990. 206 с.

9. Юргенсон Г. А. О возможности существования малоглубинной золото-флюоритовой рудной формации // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология: тезисы III Всерос. симпоз. с междунар. уч. Улан-Удэ: Бурят. нац. центр СО РАН, 2004. С. 256–258.
10. Юргенсон Г. А. Типоморфизм и прогноз золото-серебряного оруденения. Чита: ЗабГУ, 2014. 171 с.
11. Ярошевский А. А. Распространённость химических элементов в земной коре // Геохимия, 2006. № 1. С. 54–62.
12. 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.
13. IMA, 2021. The New IMA List of Minerals – a Work in Progress. URL: <http://nrmima.nrm.se> (дата обращения: 21.02.2023). Текст: электронный.
14. Malcolm E. Back. Fleisher's Glossary of Mineral Species // *The Canadian Mineralogist*. 2014. No. 46. P. 1379–1380.
15. 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.
16. 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: 21.02.2023).
17. Kalinin A. A. Tellurium and Selenium Mineralogy of Gold Deposits in Northern Fennoscandia // *Minerals*. 2021. Vol. 11. P. 574–577.
18. Kampf A. R., Housley R. M., Mills S. J., Marty J., Thorne B. Lead-tellurium oxysalts from Otto Mountain near Baker, California: I. Ottoite, Pb₂TeO₅, a new mineral with chains of tellurate octahedral // *American Mineralogist*. 2010. Vol. 95, no. 8/9. P. 1329–1336.
19. Kampf A. R., Mills H., Marty S. J., Thorne J. B. Lead-tellurium oxysalts from Otto Mountain near Baker, California: IV. Markcooperite, Pb(UO₂)Te₆⁺O₆, the first natural uranyl tellurate // *American Mineralogist*. 2010. Vol. 95. P. 1554–1559.
20. Pekov I. V. Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union. M.: OP, 1998. 369 p.
21. 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. Baley ore field. Moscow: TSNIGRI, 1984. (In Rus.).
2. Dena Dzh. D., Dena E. S., Pelach CH., Berman G., Frondel K. System of Mineralogy. Elements, sulfides, sulfosols. Under. Ed. by D. P. Grigoriev. Moscow: Publishing of foreign literature, 1951. (In Rus.).
3. Ivanov V. V. Ecological geochemistry of elements. Moscow: Nedra, 1996. (In Rus.).
4. Nekrasov I. Ya. Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits. Moscow: Nauka, 1991. (In Rus.).
5. Nenadkevich K. A. Essay on the study of bismuth ores of Transbaikalia. Imprint from trudov state. Institute of Public Education in Chita. Chita: Tipografiya Dalprofsovet, 1922. (In Rus.).
6. Rutshteyn I. G., Bogach G. I., Vinnichenko E. L., Negoda V. M., Pinaeva T. A., Shivokhin E. A., Karasev V. V., Nadezhdina T. N. State geological map of the Russian Federation, scale 1:200 000. Priargunskaya series. Sheet M-50-III (Baley) Second edition. Explanatory letter. Saint Petersburg: Piter, 1998. (In Rus.).
7. Spiridonov A. M., Zorina L. D., Kitaev N. A. Gold-bearing ore-magmatic systems Transbaikalia. Novosibirsk: GEO, 2006. (In Rus.).
8. Fleisher M. Dictionary of mineral species. Moscow: Mir, 1990. (In Rus.).
9. Yurgenson G. A. On the possibility of the existence of a shallow gold-fluorite ore formation. Gold of Siberia and the Far East: geology, geochemistry, technology, economics, ecology. Theses 3rd All-Russian Symposium with international participation. Ulan-Ude: Buryat. national Center of SB RAS, 2004. (In Rus.).
10. Yurgenson G. A. Typomorphism and forecast of gold-silver mineralization. Chita: Transbaikal State University, 2014. (In Rus.).
11. Yaroshevskiy A. A. The prevalence of chemical elements in the Earth's crust. *Geochemistry*, no. 1, pp. 54–62, 2006. (In Rus.).
12. Greffi 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*, vol. 97, no. 3, pp. 561–571, 2002. (In Eng.).
13. IMA, 2021. The New IMA List of Minerals – a Work in Progress. Updated: July 2021. Web. 21.10.2022. https://www.researchgate.net/publication/352035655_IMA_Commission_on_New_Minerals_Nomenclature_and_Classification_CNMNC_-_Newsletter_61. (In Eng.).

14. Malcolm E. Back. Fleisher's Glossary of Mineral Species. The Canadian Mineralogist, no. 46, pp. 1379–1380, 2014. (In Eng.).
15. 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, vol. 204, pp. 103–150, 2020. (In Eng.).
16. Kondratieva L. A., Anisimova G. S., Kardashevskaja V. N. Types of Tellurium Mineralization of Gold Deposits of the Aldan Shield (Southern Yakutia, Russia). Minerals, vol. 11, pp. 698, 2021. Web. 21.02.2023. <https://doi.org/10.3390/min11070698> (In Eng.).
17. Kalinin A. A. Tellurium and Selenium Mineralogy of Gold Deposits in Northern Fennoscandia. Minerals, vol. 11, pp. 574–577, 2021. (In Eng.).
18. Kampf A. R., Housley R. M., Mills S. J., Marty J., Thorne B. American Mineralogist, vol. 95, no. 8/9, pp. 1329–1336, 2010. (In Eng.).
19. 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, vol. 95, pp. 1554–1559, 2010. (In Eng.).
20. Pekov I. V. Minerals first discovered on the territory of the Soviet Union. Moscow: Ocean pictures, 1998. (In Eng.).
21. 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, vol. 504, pp. 158–176, 2019. (In Eng.).

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Для цитирования

Юргенсон Г. А. Новые данные о петците Бaleyского рудного поля в Восточном Забайкалье (Россия) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 24–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-2-24-35.

For citation

Yurgenson G. A. New data on the petzite of the Baley ore field in Eastern Transbaikalia (Russia) // Transbaikal State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 2. P. 24–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-2-24-35.