
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

АУРОСТИБИТ AuSb_2 , СЕРЕБРИСТОЕ САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО И ЭЛЕКТРУМ В СОСТАВЕ ПОСЛЕЗОЛОТОРУДНОЙ СУРЬМЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАРАСУН (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2022 г. почетный чл. Э. М. Спиридонов¹, *, д. чл. Н. Н. Кривицкая¹,
д. чл. И. А. Брызгалов¹, К. Н. Кочетова¹, Н. Н. Коротаева¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Воробьевы горы, 1, Москва ГСП-1, 119991 Россия

*e-mail: ernstspiridon@gmail.com

Поступила в редакцию 26.07.2021 г.

После доработки 09.02.2022 г.

Принята к публикации 17.02.2022 г.

Позднеюрское орогенное вулканогенно-плутоногенное месторождение золота Дарасунское березит-лиственитовой золото-сульфидно-кварцевой формации размещено в мезозоидах Восточно-Забайкальского сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса. Месторождение включает Au-Bi и послезолоторудную Sb минерализацию. Карбонат-кварц-сульфидные жилы Западного участка месторождения, сложенного в основном габброидами, габбро-амфиболитами и частью гипербазитами, окружены ореолами лиственитов. Их богатые золотом руды были сформированы при пониженной активности сульфидной серы, содержат пирротин, арсенопирит, халькопирит, висмутин и сульфосоли Pb-Bi, с которыми ассоциирует высокопробное самородное золото (949–935 ‰). При наложении на эти руды сурьмяной минерализации с самородной сурьмой возникли псевдоморфозы аураститита по минералам золота. Специфика дарасунских руд в том, что значительная часть метакристаллов аураститита развита внутри выделений раннего самородного золота, в участках брекчирования. Этот аураститит содержит 1.1–1.7 мас. % Bi и 0.1–0.3 мас. % As, изоморфно замещающих Sb; его состав – $\text{Au}_{0.998-1.005}(\text{Sb}_{1.947-1.965}\text{Bi}_{0.024-0.036}\text{As}_{0.009-0.017})_{1.995-2.002}$; средний состав – $\text{Au}_{1.001}(\text{Sb}_{1.956}\text{Bi}_{0.031}\text{As}_{0.012})_{1.999}$. Аураститит не содержит Ag. Серебро, высвободившееся при замещении раннего самородного золота аурастититом, фиксировано около его метакристаллов в составе неоднородных реакционных кайм новообразованных минералов золота. Это – самородное золото (пробность 922–712, преобладает 919–911) и электрум (пробность 693–584, преобладает 625–604). Распределение пробности новообразованных минералов ряда самородное золото–серебро в составе сурьмяной минерализации вулканогенно-плутоногенного месторождения Дарасунское весьма неравномерное, “рваное”.

Ключевые слова: послезолоторудная сурьмяная минерализация, аураститит, реакционные самородное золото и электрум, вулканогенно-плутоногенное месторождение Дарасунское

DOI: 10.31857/S0869605522020071

Несмотря на столетнюю историю изучения одного из крупнейших в Забайкалье гидротермального месторождения золота Дарасунское со сложной историей формирования и обилием разнообразных минералов (Болдырев и др., 1936; Крейтер, 1940; Зенков, 1946; Фогельман, 1962; Филимонова, 1964; Туговик, 1964; Сахарова, Кривицкая, 1970а, б; Сахарова, 1972; Тимофеевский, 1972; Даниельянц, Эпов, 1974; Ляхов, Дмит-

риев, 1975; Зорина, 1987; Прокофьев, Зорина, 1996; Зорин и др., 1998; Брызгалов и др., 2007, 2011; Спиридонов и др., 2010, 2020; Кривицкая и др., 2012; Чернышов и др., 2014, и др.), оно изучено недостаточно. Наша статья содержит результаты изучения руд Западного участка месторождения, отличающихся разнообразием минералов золота. Это руды жил 4 и 5 Электрической и Пирротиновой, в которых на Au–Bi минерализацию наложена Sb минерализация с самородной сурьмой. При этом возникают псевдоморфозы ауристита по минералам золота. Специфика дарасунских руд в том, что значительная часть метакристаллов ауристита развита внутри выделений самородного золота. Ауристит не содержит серебра. Серебро, высвободившееся при замещении самородного золота ауриститом, фиксировано около его метакристаллов в неоднородных реакционных каймах новообразованных золота пониженной пробности и электрума.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучены образцы богатых руд Западного участка месторождения Дарасунское, собранные в подземных шахтных выработках М.С. Сахаровой, Н.Н. Кривицкой, В.Г. Демидовым и их сотрудниками. Методы изучения руд стандартные. Химический состав минералов определен с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе СЭМ Jeol JSM-6480 LV в лаборатории локальных методов исследований кафедры петрологии геологического факультета МГУ аналитиком-исследователем Н.Н. Коротаевой; ею же получены электронные фотографии.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДАРАСУНСКОЕ

Месторождение Дарасунское расположено в мезозоидах Восточного Забайкалья, в зоне влияния глубинного Монголо-Охотского разлома, разделяющего герциниды Малхано-Яблонево́й зоны и мезозойды Монголо-Охотского складчатого пояса (Зорин и др., 1998). Рудное поле находится в пределах мезозойского орогенного Северо-Даурского сводового поднятия (Фогельман, 1962) и приурочено к узлу пересечения протяженных разломов — Дарасуно-Восходинского восток-северо-восточного простирания и северо-западного Балейско-Дарасунского (Фогельман, 1962; Тимофеевский, 1972; Зорина, 1987). Рудное поле слагают преимущественно калиевые граниты пермского возраста, палеозойские кварцевые диориты и мигматизированные, гранитизированные породы (Центральный, Восточный и Северный участки месторождения), преимущественно габброиды, габбро-амфиболиты и подчиненные гипербазиты (Западный участок). Те и другие прорваны ультрагипабиссальными малыми интрузивами паукообразной формы резко порфиroidных кварцевых монцонитов, кварцевых сиенито-диоритов и граносиенитов, дайками гранитоид- и монцонит-порфи́ров, микромонцонитов, субвулканическими телами, покровами и трубками взрыва латитов, риолитов и трахириолитов рудоносного амуджиканского вулcano-плутонического монцонит-латит-трахириолитового комплекса позднеюрского возраста (Фогельман, 1962; Тимофеевский, 1972; Туговик, 1984; Зорина, 1987; Чернышов и др., 2014).

Месторождение Дарасунское — голотип орогенной гидротермальной вулcanoгенно-плутоногенной березит-лиственитовой золото-сульфидно-кварцевой формации (Спиридонов и др., 2008). Возраст месторождения позднеюрский (Чернышов и др., 2014). Месторождение парагенетически связано с амуджиканским вулcano-плутоническим комплексом латитового типа. Для рудных тел характерны явления телескопирования. Рудные тела и залежи месторождения слагают минеральные агрегаты трех основных гидротермальных рудно-метасоматических формаций: 1) кварц-турмалиновой, 2) березит-лиственитовой золото-сульфидно-кварцевой (средне- и низкотемпературные карбонат-сульфидно-кварцевые жилы выполнения с Au–Ag–As–Cu–Sb–Pb–Bi–Te минерализацией), 3) послезолоторудной низкотемпературной сурьмяной

(джаспероидной) (Крейтер, 1940; Зенков, 1946; Филимонова, 1964; Сахарова, 1972; Тимофеевский, 1972; Ляхов, Дмитриев, 1975; Зорина, 1987; Прокофьев, Зорина, 1996; Брызгалов и др., 2007, 2011; Кривицкая и др., 2012; Спиридонов и др., 2010, 2020). Золоторудная березит-лиственитовая кварц-карбонат-сульфидная формация возникла из растворов с соленостью 3–10 мас. % экв. NaCl при 370–320–190 °С (Ляхов, Дмитриев, 1975; Прокофьев, Зорина, 1996). Березиты и листвениты с сидеритом, сложно осцилляционно-зональным анкеритом–доломитом и пиритом (или пирротинном) и арсенопиритом возникли при 370–320 °С; более поздняя кварц-карбонатная (анкерит, доломит, сидерит) ассоциация с поздним пиритом (или пирротинном), арсенопиритом, железистым сфалеритом, халькопиритом (кубанитом), галенитом возникла при ~280–220 °С; бурнонит и замещающие его халькопирит, теннантит–тетраэдрит – при ~240–230–210 °С; сульфосоли Pb-Bi – при ~225–210 °С; самородное золото – при ~230–205–190 °С (Ляхов, Дмитриев, 1975).

Рудные тела Восточного и Центрального участков размещены в основном среди гранитоидов, окружены ореолами березитов, основные сульфиды – пирит и арсенопирит, много сфалерита, галенита, бурнонита, блеклых руд, сложных сульфидов Bi-Pb . Рудные тела Западного участка размещены среди габброидов с включениями гипербазитов, окружены ореолами лиственитов, основные сульфиды – пирит, пирротин, халькопирит, кубанит и арсенопирит, в рудных жилах нередко магнетит и гематит; основные минералы висмута – висмутин и галеновисмутит, местами – самородный висмут и икунолит Bi_4S_3 . Это типичный пример зональности по составу рудовмещающей среды.

Сурьмяная минерализация относительно широко развита на Центральном и Восточном участках месторождения Дарасунское, где она представлена жилами и прожилками мощностью от первых мм (чаще) до нескольких десятков см, секущими под различными углами золото-сульфидно-кварцевые и кварц-турмалиновые жилы, нередко ориентированные вдоль зальбандов этих жил, а также слагает цемент брекчий из обломков золоторудных жил. Ее более ранние образования – рисовидный кварц, иорданит–геокронит–шульцит, сфалерит, галенит, арсенопирит, кальцит, теннантит–тетраэдрит; более поздние – рисовидный кварц, маложелезистый сфалерит, Mn-Mg -содержаний сидерит, сульфосоли Pb-Sb , антимонит, бертьерит. Дарасунский тренд сульфосолей Pb-Sb : буланжерит → семсейит → моелоит → плагионит → джемсонит → цинкениит → фюлэппит – типичен для послемагматических гидротермальных месторождений золота (Филимонова, 1964; Брызгалов и др., 2007, 2011; Кривицкая и др., 2012; Спиридонов и др., 2020). Температура отложения рисовидного кварца и сульфосолей Pb-Sb – 190–130 °С (Ляхов, Дмитриев, 1975). На Западном участке сурьмяная минерализация развита в меньшей степени, ее состав иной: продукты замещения галенита и галеновисмутита сурьмянистыми растворами: семсейитом, моелоитом (преобладает), гетероморфитом, плагионитом (новые наблюдения), а также халькостибитом CuSbS_2 (Сахарова, Кривицкая, 1970б), виллиамитом $(\text{Co,Ni})\text{SbS}$, брейтгауптитом NiSb (Сахарова, Кривицкая, 1970а), нисбитом NiSb_2 , ульманнитом NiSbS , редкой самородной сурьмой, аурустибитом AuSb_2 (Брызгалов и др., 2007, 2011; Спиридонов и др., 2010).

РАННЕЕ САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО ЗАПАДНОГО УЧАСТКА

В дарасунских рудах серебра существенно больше, чем золота (Крейтер, 1940; Тимофеевский, 1972; Сахарова, 1972). Поскольку рудоносные гидротермы были богаты As и Sb , и среди рудовмещающих пород много базитов, которые обогащены медью, в карбонатно-сульфидно-кварцевых жилах Дарасуна много теннантита и тетраэдрита – главных минералов-концентраторов и носителей серебра в земной коре. Хотя дарасунские теннантит и тетраэдрит обычно бедны Ag , большая часть серебра дарасунских

Таблица 1. Химический состав (мас. %) раннего самородного золота жилы 5 Электрической. Западный участок месторождения Дарасун**Table 1.** Chemical composition (wt %) of the earlier native gold from the vein 5 “Elektricheskaya”, western part of Darasun deposit

№ анализа	Au	Ag	Сумма	Пробность, ‰	№ рисунка
1	94.14	5.16	99.30	948	1
2	94.04	5.18	99.22	948	1
3	94.22	6.12	100.34	939	1
4	92.18	7.41	98.59	935	1
5	92.11	7.43	98.54	935	1
6	93.73	5.04	98.77	949	2
7	93.59	5.13	98.72	948	2
8	93.40	5.33	98.73	946	2
9	94.57	5.31	99.88	947	3
10	93.99	5.47	99.46	945	3
11	94.07	6.54	100.61	935	4

Примечание. Cu, Hg, Fe, Bi, Te — не обнаружены.

руд связана в этих минералах. По этой причине, основное количество самородного золота Дарасуна — золото высокопробное.

Руды жилы 5 Электрическая Западного участка месторождения Дарасунское содержат крупные не зональные выделения раннего самородного золота достаточно устойчивого состава (табл. 1, ан. 1—11). Вариации пробности этого золота 948—935‰, средняя пробность — 943. Минерал в среднем содержит около 6 мас. % серебра.

МЕТАКРИСТАЛЛЫ АУРОСТИБИТА СРЕДИ РАННЕГО САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В РУДАХ ЗАПАДНОГО УЧАСТКА

Интерметаллид золота и сурьмы — аурустибит AuSb_2 — минерал, не содержащий серебра, развит на десятках месторождений золота Якутии, Чехии, Франции, Казахстана, Узбекистана, Финляндии, Южной и Центральной Африки, Австралии, российского Дальнего Востока, Забайкалья (Graham, Kaiman, 1952; Назьмова и др., 1975; Индолев, Жданов, 1975; Громова и др., 1979; Ramdohr, 1982; Спиридонов и др., 1986, 2010; Ashley et al., 1990; Суплецов, Жданов, 1992; Pianton et al., 1994; Dill et al., 1995; Ortega et al., 1996; Нутднен, 1999; Альшевский, 2001; Амузинский и др., 2001; Спиридонов, 2015). Аурустибит устойчив в поле стабильности пирротина (Barton, Skinner, 1979). Развит в гидротермальных, гипабиссальных, плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных и телетермальных, изредка в вулканогенных, а также в метаморфизованных месторождениях золота. Аурустибит — реакционный минерал. Во многих плутоногенных и телетермальных Au-Sb месторождениях аурустибит образуется при воздействии сурьмянистых гидротерм, отлагающих самородную сурьму на самородное золото (Спиридонов, 1995). П. Рамдор полагал, что аурустибит образуется при воздействии любых сурьма-содержащих гидротерм на самородное золото (Ramdohr, 1982). Это не так. При воздействии на золотые руды сурьмянистых гидротерм, отлагающих антимонит или бертьерит, аурустибит не образуется. Аурустибит плутоногенных месторождений иногда содержит до 3 мас. % As (Назьмова и др., 1975). Аурустибит метаморфизованных месторождений содержит до 5 мас. % As и до 4 мас. % Bi (Нутднен, 1999). В дарасунских рудах развит аурустибит, замесивший мальдонит и содержащий до 10 мас. % Bi

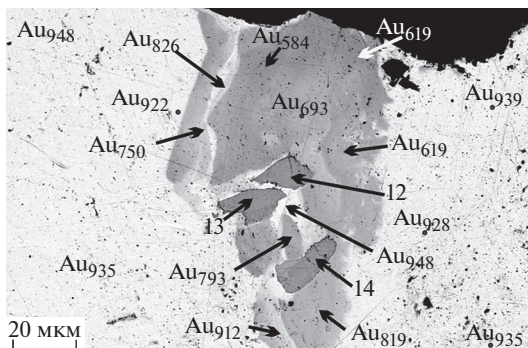


Рис. 1. Жила 5 Электрическая (далее на рисунках – она же). Метакристаллы аурустибита (ан. 12, 13, 14) среди раннего высокопробного самородного золота (Au_{948} , Au_{939} , Au_{935}). Вокруг метакристаллов аурустибита новообразования золота более низкой пробы (Au_{928} , Au_{922} , Au_{912} , Au_{826} , Au_{819} , Au_{793} , Au_{750}) и электрума (Au_{693} , Au_{619} , Au_{584}). Изображение в отраженных электронах.

Fig. 1. Vein 5 “Elektricheskaya” (further on figures – the same). Metacrystals of aurostibite (an. 12, 13, 14) among the earlier brecciated high fineness gold (Au_{948} , Au_{939} , Au_{935}). There are, around aurostibite metacrystals, the newly formed gold of the lower fineness (Au_{928} , Au_{922} , Au_{912} , Au_{826} , Au_{819} , Au_{793} , Au_{750}) and electrum (Au_{693} , Au_{619} , Au_{584}). BSE image.

(Спиридонов и др., 2010). Их размер обычно менее 30 мкм, форма от неправильной до ромбовидной.

Как правило, аурустибит слагает каймы замещения вокруг самородного золота (Ramdohr, 1982; Спиридонов, 1995). Серебро, освобожденное при замещении самородного золота аурустибитом, или выносятся, или за счет него образуются богатые серебром тетраэдрит и миаргирит (Спиридонов, 2015).

Руды жил 4 и 5 Электрические и Пирротиновая Западного участка месторождения Дарасунское содержат обильное высокопробное самородное золото, а также мальдонит, беспримесное самородное золото и джонасонит. При наложении на эти руды сурьмяной минерализации с самородной сурьмой возникли псевдоморфозы аурустибита по разнообразным минералам золота. Распространен аурустибит, заместивший высокопробное самородное золото по периферии золотин. Наиболее распространен аурустибит, слагающий метакристаллы различной формы внутри выделений раннего высокопробного золота (рис. 1–4). На рис. 2 наиболее ярко проявлен метасоматический характер выделений аурустибита.

Яркая особенность дарасунских золотых руд в том, что аурустибит редко образует каймы замещения вокруг выделений раннего самородного золота. В дарасунских рудах метакристаллы аурустибита преимущественно развиты внутри выделений раннего самородного золота (рис. 1–4). Форма выделений этого аурустибита неправильная, часто уплощенная, прожилковидная (рис. 2), иногда – приближающаяся в поперечном сечении к ромбовидной (рис. 1), изредка – овальная (рис. 4), размеры до 120×5 –20 мкм. Аурустибит метакристаллов среди раннего самородного золота содержит 1.1–1.7 мас. % Bi и 0.1–0.3 мас. % As (табл. 2, ан. 12–19), изоморфно замещающих сурьму. Вариации состава этого аурустибита невелики – $\text{Au}_{0.998-1.005}(\text{Sb}_{1.952-1.965}\text{Bi}_{0.023-0.036}\text{As}_{0.009-0.017})_{1.995-2.002}$; средний состав минерала отвечает $\text{Au}_{1.001}(\text{Sb}_{1.956}\text{Bi}_{0.031}\text{As}_{0.012})_{1.999}$ (табл. 2).

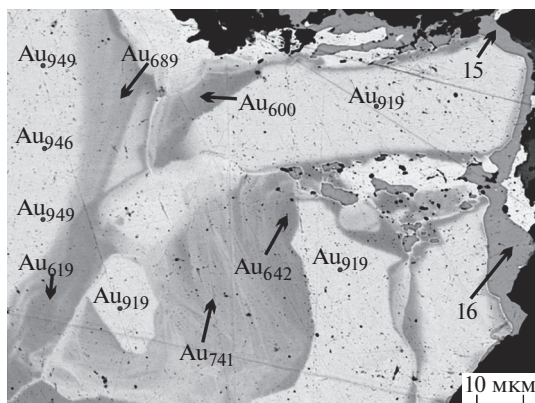


Рис. 2. Метакристаллы ауростибита (ан. 15, 16) среди и вокруг раннего высокопробного золота (Au₉₄₉, Au₉₄₆). Новообразования золота более низкой пробыности (Au₉₁₉, Au₇₄₁) и электрума (Au₆₈₉, Au₆₄₂, Au₆₁₉, Au₆₀₀). Изображение в отраженных электронах.

Fig. 2. Metacrystals of aurostibite (an. 15, 16) among and around the earlier brecciated high fineness gold (Au₉₄₉, Au₉₄₆). The newly formed gold of the lower fineness (Au₉₁₉, Au₇₄₁) and electrum (Au₆₈₉, Au₆₄₂, Au₆₁₉, Au₆₀₀). BSE image.

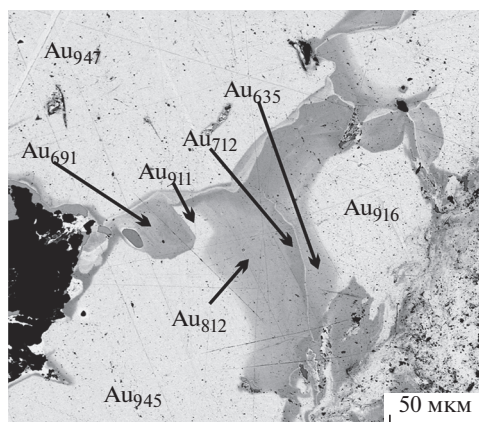


Рис. 3. Жила 5 Электрическая. Метакристаллы ауростибита (мелкие серые выделения в левой части фотографии) среди и вокруг раннего высокопробного золота (Au₉₄₇, Au₉₄₅). Новообразования золота более низкой пробыности (Au₉₁₆, Au₉₁₁, Au₈₁₂, Au₇₁₂) и электрума (Au₆₉₁, Au₆₃₅). Изображение в отраженных электронах.

Fig. 3. Vein 5 “Elektricheskaya”. Metacrystals of aurostibite (small grey segregations in the left part) among and around the earlier brecciated high fineness gold (Au₉₄₇, Au₉₄₅). The newly formed gold of the lower fineness (Au₉₁₆, Au₉₁₁, Au₈₁₂, Au₇₁₂) and electrum (Au₆₉₁, Au₆₃₅). BSE image.

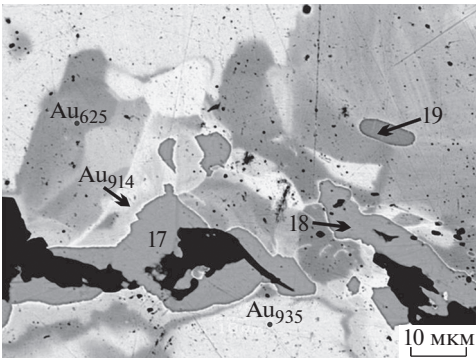


Рис. 4. Метакристаллы ауристибита (ан. 17, 18, 19) среди и вокруг раннего высокопробного золота (Au₉₃₅). Вокруг метакристаллов ауристибита новообразования золота более низкой пробыности (Au₉₁₄) и электрума (Au₆₂₅). Изображение в отраженных электронах. BSE image.

Fig. 4. Metacrystals of aurostibite (an. 17, 18, 19) among the earlier brecciated high fineness gold (Au₉₃₅). The newly formed gold of the lower fineness (Au₉₁₄) and electrum (Au₆₂₅). BSE image.

ЗОЛОТО И ЭЛЕКТРУМ В СОСТАВЕ ПОСЛЕЗОЛОТОРУДНОЙ СУРЬМЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗАПАДНОГО УЧАСТКА

Ауристибит не содержит серебра. Серебро, высвобожденное при замещении брекчированного раннего самородного золота ауристибитом, фиксировано около его метакристаллов в очень неоднородных реакционных каймах новообразованных минералов золота, в различной степени обогащенных серебром. Для участка, показанного на рис. 1, новообразованные реакционные минералы золота тесно окружают метакристаллы ауристибита в полосе шириной 60 мкм. Состав реакционных минералов – самородного золота пониженной по сравнению с исходным самородным золотом проб-

Таблица 2. Химический состав (мас. %) ауристибита метакристаллов в самородном золоте жилы 5 Электрическая. Западный участок месторождения Дарасун

Table 2. Chemical composition (wt %) of aurostibite metacrystals in the native gold of the vein 5 “Elektricheskaya”, western part Darasun deposit

Компоненты	12	13	14	15	16	17	18	19
Au	44.96	44.69	44.16	44.24	44.13	44.33	44.63	44.25
Sb	54.53	54.06	53.49	53.22	53.46	53.57	53.56	53.40
Bi	1.15	1.36	1.58	1.68	1.08	1.50	1.53	1.63
As	0.15	0.29	0.20	0.28	0.23	0.12	0.17	0.15
Сумма	100.79	100.40	99.43	99.42	98.90	99.52	99.89	99.43
Число атомов в формуле								
Au	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.005	1.00
Sb	1.965	1.955	1.955	1.945	1.96	1.955	1.95	1.955
Bi	0.025	0.03	0.035	0.04	0.025	0.03	0.035	0.035
As	0.01	0.015	0.01	0.015	0.015	0.015	0.01	0.01
Sb + Bi + As	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.995	2.00

Примечание. Pb, Ag, Se – не обнаружены.

Таблица 3. Химический состав (мас. %) реакционного самородного золота и электрума около метакристаллов ауристибита. Жила 5 Электрическая. Западный участок месторождения Дарасун
Table 3. Chemical composition (wt %) of reactionary native gold and electrum near aurostibite metacrytals. Vein 5 “Elektricheskaya”, western part of the Darasun deposit

№ анализа	Au	Ag	Сумма	Пробность, ‰	№ рисунка
20	92.14	7.79	99.93	922	1
21	90.94	8.34	99.28	916	1
22	90.91	8.77	99.68	912	1
23	82.11	17.30	99.41	826	1
24	82.04	18.13	100.17	819	1
25	79.76	20.82	100.58	793	1
26	74.89	24.96	99.85	750	1
27	68.97	30.55	99.52	693	1
28	61.55	37.88	99.43	619	1
29	60.89	37.48	98.37	619	1
30	58.66	41.79	100.45	584	1

Примечание. Cu, Hg, Fe, Bi, Te – не обнаружены.

Таблица 4. Химический состав (мас. %) реакционного самородного золота и электрума около метакристаллов ауристибита. Жила 5 Электрическая. Западный участок месторождения Дарасун
Table 4. Chemical composition (wt %) of reactionary native gold and electrum near aurostibite metacrytals. Vein 5 “Elektricheskaya”, western part of the Darasun deposit

№ анализа	Au	Ag	Сумма	Пробность, ‰	№ рисунка
31	91.44	8.06	99.50	919	2
32	91.14	8.03	99.17	919	2
33	90.97	8.02	98.99	919	2
34	74.32	25.98	100.30	741	2
35	67.89	30.64	98.53	689	2
36	64.77	36.12	100.89	642	2
37	59.49	38.99	98.48	604	2
38	58.98	39.32	98.30	600	2

Примечание. Cu, Hg, Fe, Bi, Te – не обнаружены.

ности (922–750 ‰) и электрума (693–584) сильно варьирует (табл. 3, ан. 20–30); распределение пробности реакционных золота и электрума крайне неоднородное. Для участка, показанного на рис. 2, характерно тяготение метакристаллов ауристибита и реакционных самородного золота пониженной по сравнению с исходным самородным золотом пробности и электрума с весьма тонкой и сложной картиной зональности к границам блоков раннего золота; пробность реакционного золота этого участка колеблется от 919 до 741, электрума – от 689 до 600 (табл. 4, ан. 31–38). Сходная картина отражена на рис. 3, где мелкие метакристаллы ауристибита сосредоточены в его нижней левой части, реакционные самородное золото пониженной по сравнению с исходным золотом пробности и электрум тяготеют к границам между блоками раннего золота; пробность реакционного золота колеблется от 916 до 712, реакционного электрума – от 691 до 635 (табл. 5, ан. 39–44). Оторочки резко неоднородного самородного золота пониженной пробности и электрума – продукт фиксации Ag, высво-

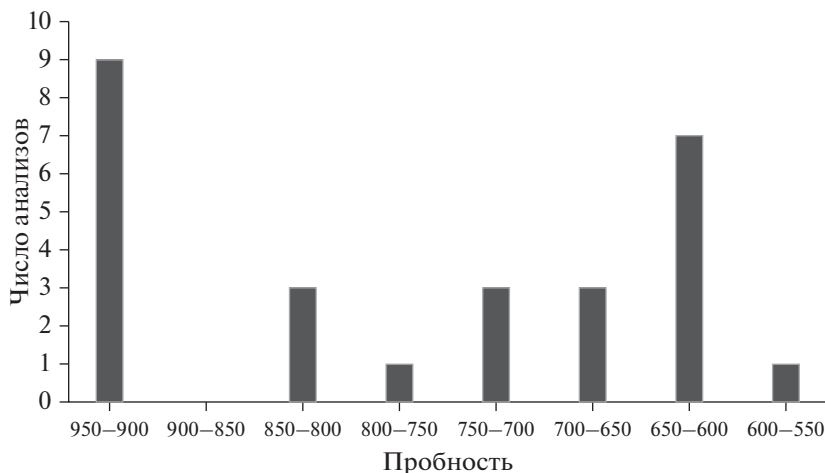


Рис. 5. Жила 5 Электрическая. Гистограмма пробности ($n = 27$) новообразованного реакционного золота и электрума – продуктов фиксации Ag, высвобожденного при замещении раннего самородного золота ауристибитом.

Fig. 5. Vein 5 “Elektricheskaya”. Histogram of the fineness of the newly formed reactionary gold and electrum – products of the silver fixing; silver has been dropped while the replacement of the earlier native gold by aurostibite ($n = 27$).

божденного при замещении раннего самородного золота ауристибитом, как и относительно крупные неправильной и прожилкообразной формы метакристаллы ауристибита, развиты в полосе мелко блокованного раннего самородного золота между двумя его более крупными блоками (рис. 4); реакционное самородное золото местами имеет пробность 914, реакционный электрум – 625 (табл. 5, ан. 45–46).

В целом, пробность реакционного золота варьирует от 922 до 712, преобладает самородное золото с пробностью 922–912 (9 анализов из 16). Пробность реакционного электрума варьирует от 693 до 584, преобладает электрум с пробностью 642–600 (7 анализов из 11). Распределение пробности реакционных минералов ряда самород-

Таблица 5. Химический состав (мас. %) реакционного самородного золота и электрума около метакристаллов ауристибита. Жила 5 Электрическая. Западный участок месторождения Дарасун
Table 5. Chemical composition (wt %) of reactionary native gold and electrum near aurostibite metacrystals. Vein 5 “Elektricheskaya”, western part of Darasun deposit

№ анализа	Au	Ag	Сумма	Пробность, ‰	№ рисунка
39	91.14	8.37	99.51	916	3
40	90.97	8.89	99.86	911	3
41	80.88	18.73	99.61	812	3
42	71.53	28.93	100.46	712	3
43	69.77	31.19	100.96	691	3
44	62.98	36.20	99.18	635	3
45	91.03	8.57	99.60	914	4
46	61.63	36.98	98.61	625	4

Примечание. Cu, Hg, Fe, Bi, Te – не обнаружены.

ное золото—серебро в составе послезолоторудной сурьмяной минерализации Западного участка месторождения Дарасунское - весьма неравномерное, “рваное” (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Орогенное вулканогенно-плутоногенное березит-лиственитовое золото-сульфидно-кварцевое месторождение Дарасунское, размещенное в Восточно-Забайкальском сегменте мезозойско-Монголо-Охотского складчатого пояса, включает золото-висмутую и послезолоторудную сурьмяную минерализацию. В рудах жил 4 и 5 Электрические и Пирротиновая Западного участка месторождения, залегающих среди габброидов и гипербазитов, сформированных при пониженной активности сульфидной серы, при образовании первой продуктивной минеральной ассоциации возникло обильное высокопробное самородное золото (949–935 ‰). При наложении на эти руды более поздней сурьмяной минерализации с самородной сурьмой возникли псевдоморфозы ауристита по минералам золота. Специфика дарасунских руд состоит в том, что ауристит слагает метакристаллы в основном внутри выделений раннего самородного золота. При этом, серебро, высвобожденное при формировании ауристита, фиксировано вблизи метакристаллов ауристита. Возникли резко неоднородные сложно зональные метасоматические новообразования самородного золота с пробностью 922–712 и электрума с пробностью 693–584, которые развиты преимущественно вдоль границ блоков раннего золота. Распределение пробности новообразованных минералов ряда самородное золото—серебро в составе послезолоторудной сурьмяной минерализации весьма неравномерное, “рваное”.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-05-00490) с использованием оборудования, приобретенного по программе развития Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альшеевский А.В. Интерметаллиды золота — мальдонит и ауристит из месторождений Северо-Востока России. В кн.: Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 131–134.
- Амузинский В.А., Анисимова Г.С., Жданов Ю.Я. Сарылахское и Сентачанское золото-сурьмяные месторождения: геология, минералогия, геохимия. М.: Наука, 2001. 218 с.
- Болдырев А.К., Бетехтин А.Г., Годлевский М.Н., Григорьев Д.П., Киселёв А.И., Левицкий О.Д., Разумовский Н.К., Смирнов А.А., Соболев В.С., Успенский Н.М., Черных В.В., Шафрановский И.И. Курс минералогии. М.-Л.: ОНТИ, 1936. 1056 с.
- Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Спиридонов Э.М. Первая находка минералов ряда иорданит—геокронит—шульцит на одном месторождении (Дарасун, Восточное Забайкалье) // Докл. РАН. 2011. Т. 438. № 5. С. 655–658.
- Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Спиридонов Э.М. Первая находка нисбита и ауристита в Восточном Забайкалье // Докл. РАН. 2007. Т. 417. № 2. С. 229–231.
- Громова Е.И., Завьялова Л.Л., Готов А.М. Находка редко встречающихся минералов золота (мальдонит, ауристит) в рудах месторождения Зармитан (Чармитан) Западного Узбекистана // Зап. Узб. отд. ВМО. 1979. Вып. 31. С. 38–40.
- Зенков Д.А. Рудничная геология на Дарасунском золото-мышьяковом месторождении / Рудничная геология. Госгеолиздат, 1946. С. 112–134.
- Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Рутштейн И.Г. Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. С. 1578–1586.
- Зорина Л.Д. Рудно-магматические системы Забайкалья с латитовым магматизмом. В кн.: Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии. Новосибирск: Наука. 1987. С. 93–100.
- Индолев Л.Н., Жданов Ю.Я. Ауристит золото-сурьмяных месторождений Якутии // ЗРМО. 1975. Ч. 104. С. 586–588.
- Крейтер В.М. Поиски и разведки полезных ископаемых. М.-Л.: Госгеолиздат, 1940. 790 с.
- Кривицкая Н.Н., Спиридонов Э.М., Брызгалов И.А., Санкин Ю.И. Генетическая минералогия золота вулканогенно-плутоногенного месторождения Дарасун (Забайкалье) / Тез. докл. Годичного собрания РМО. СПб, 9-11 октября 2012 г. СПб, 2012. С. 145–147.

Ляхов Ю.В., Дмитриев Л.К. Физико-химические условия минералообразования на Дарасунском месторождении золота (Восточное Забайкалье) по включениям в минералах. Ч. 1 и 2 // Минерал. сб. Львов. ун-та. **1975**. № 29. Вып. 3. С. 48–56. Вып. 4. С. 17–22.

Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М., Шалаев Ю.С. Ауристибит месторождения Бестюбе в Северном Казахстане (первая находка в СССР) // Докл. АН СССР. **1975**. Т. 222. С. 687–689.

Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д. Флюидный режим Дарасунской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье) по данным исследования флюидных включений // Геология и геофизика. **1996**. Т. 37. № 5. С. 50–61.

Сахарова М.С. Стадийность процессов рудообразования и вопрос зональности на Дарасунском золоторудном месторождении. В кн.: Рудообразование и его связь с магматизмом. М.: Наука, **1972**. С. 213–222.

Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н. О находке виллиамита и брейтгауптита в Забайкалье // Докл. АН СССР. **1970**а. Т. 193. № 3. С. 687–689.

Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н. О халькостибите Дарасунского месторождения // ЗВМО. **1970**б. Ч. 99. Вып. 3. С. 340–344.

Спиридонов Э.М. Новые данные по минералогии месторождений плутогенной золото-кварцевой формации севера Центрального Казахстана. Ч. 2 // Тр. Минерал. музея РАН им. А.Е. Ферсмана. **2015**. Вып. 50. С. 69–82.

Спиридонов Э.М. Инверсионная плутогенная золото-кварцевая формация каледонид севера Центрального Казахстана // Геология рудн. месторожд. **1995**. Т. 37. № 3. С. 179–207.

Спиридонов Э.М., Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Назьмова Г.Н., Ряховская С.К., Филимонов С.В. Минеральные ассоциации гидротермальных плутогенных, вулканогенно-плутогенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота. В кн.: Золото северного обрамления Пасифика. Магадан: **2008**. С. 155–158.

Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Коротаева Н.Н., Кочетова К.Н. Флюэпит $\text{Pb}_3\text{Sb}_8\text{S}_{15}$ из вулканогенно-плутогенного месторождения золота Дарасун, Восточное Забайкалье // Вестник МГУ. Серия геология. **2020**. № 5. С. 71–76.

Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Куликова И.М., Городецкая М.Д. Богатый висмутом ауристибит – продукт замещения мальдонита в вулканогенно-плутогенном месторождении Дарасун (Восточное Забайкалье) // Докл. РАН. **2010**. Т. 435. С. 531–534.

Спиридонов Э.М., Назьмова Г.Н., Шалаев Ю.С., Шавкин Г.Н. Месторождение Бестюбе. В кн.: Геология золоторудных месторождений СССР. Т. II. Месторождения Средней Азии и Казахстана. М.: ЦНИГРИ, **1986**. С. 32–43.

Суплецов В.М., Жданов Ю.Я. Типоморфные особенности золото-ауристибитового парагенезиса сурьмяных месторождений Восточной Якутии. В кн.: Редкие и самородные металлы и интерметаллиды коренных и россыпных месторождений Якутии. Якутск: изд. ЯНЦ СО РАН, **1992**. С. 20–39.

Тез. докл. Годичного собрания РМО. СПб, 9–11 октября 2012 г. СПб, **2012**. С. 145–147.

Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра, **1972**. 260 с.

Туговик Г.А. Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, **1984**. 193 с.

Филимонова А.А. Описание Дарасунского месторождения. В кн.: Структурно-текстурные особенности эндогенных руд. М.: Недра, **1964**. С. 419–437.

Фогельман Н.А. Тектоника мезозойского сводового поднятия Забайкалья и закономерности размещения в его пределах золоторудных месторождений // Тр. ЦНИГРИ. **1962**. Вып. 84. С. 81–93.

Чернышов И.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Чугаев А.В., Гольцман Ю.В., Лебедев В.А., Ларионова О.О., Зорина Л.Д. Возраст гранодиорит-порфиоров и березитов Дарасунского золоторудного поля (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудн. месторожд. **2014**. Т. 56. № 1. С. 3–18.

Aurostibite, Silver-Bearing Gold and Electrum as a Part of Postgold Antimony Mineralization in the Darasun Deposit (Eastern Transbaikalia)

**E. M. Spiridonov^a, *, N. N. Krivitskaya^a, I. A. Brysgalov^a,
K. N. Kochetova^a, and N. N. Korotaeva^a**

^aMoscow State University, Moscow, Russia

*e-mail: ernstspiridon@gmail.com

The Late Jurassic orogenic volcanogene-plutonogenic gold deposit Darasun of the beresite-listvenite gold-sulphide-quartz formation is situated inside Mesozoids of the Eastern Transbaikalian segment of the Mongolo-Okhotsk folded belt. The deposit includes Au-Bi and the

postgold antimony mineralization. Carbonate-quartz-sulphide veins in the western part of the deposit are composed of gabbroids, gabbro-amphibolites and, lesser, of ultrabasites. They are surrounded by listvenite halos, and their rich-in-gold ores were formed under conditions of the low aS_2 ; they contain pyrrhotite, arsenopyrite, chalcopyrite, bismuthinite and Pb-Bi sulphosalts associated with the high fineness gold (949–935 ‰). Pseudomorphs of aurostibite after gold minerals have appeared there due to overlapping of the antimony mineralization with native antimony. The specificity of Darasun ores is that a significant part of aurostibite metacrystals was developed inside the earlier gold mineralization, especially in brecciated spots. This aurostibite contains 1.1–1.7 wt % Bi and 0.1–0.3 wt % As, isomorphically replacing Sb. Its composition is: $Au_{0.998-1.005}(Sb_{1.947-1.965}Bi_{0.024-0.036}As_{0.009-0.017})_{1.995-2.002}$; the average composition is: $Au_{1.001}(Sb_{1.956}Bi_{0.031}As_{0.012})_{1.999}$. Aurostibite does not contain silver. Silver has been dropped out when the early native gold was replaced by aurostibite; it has been noticed near aurostibite metacrystals inside very heterogeneous border rims of the newly formed gold minerals. They are represented by the silver-bearing native gold (fineness 922–712, mostly 919–911) and electrum (fineness 693–584, mostly 625–604). Distribution of the gold fineness in the newly formed minerals of the gold-silver series, as a part of the antimony mineralization, in the volcanogenic-plutonogenic Darasun deposit is very heterogeneous and “ragged”.

Keywords: postgold antimony mineralization, aurostibite, reactionary silver-bearing native gold and electrum, volcanogenic-plutonogenic Darasun deposit

REFERENCES

- Al'shevsky A.V.* Intermetallides of native gold—maldonite and aurostibite from deposits of the Nord-East of Russia. In: *Problems of geology and metallogeny of the Nord-East of Asia at millennium boundary*. Magadan: SVKNII Far East Branch RAS, **2001**. P. 131–134 (in Russian).
- Amuzinsky V.A., Anisimova G.S., Zhdanov Yu.Ya.* Sarylakh and Sentachan Au-Sb deposits: geology, mineralogy, and geochemistry. Moscow: Nauka, **2001**. 218 p. (in Russian).
- Ashley P.M., Cook N.D.J., Hill R.L.* Occurrence and significance of aurostibite in Sb–Au ore from Hillgrove, New South Wales, Australia. *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* **1990**. S. 537–551.
- Barton P.B., Skinner B.J.* Sulfide mineral stabilities. In: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York: John Wiley and Sons, **1979**. P. 278–403.
- Boldyrev A.K., Betekhtin A.G., Godlevsky M.N., Grigor'ev D.P., Kiselev A.I., Levitsky O.D., Razumovsky I.K., Smirnov A.A., Sobolev V.S., Solov'ev S.P., Uspensky N.M., Chernykh V.V., Shatalov E.T., Shavranovsky I.I.* Course of mineralogy. Moscow–Leningrad: ONTI, **1936**. 1056 p. (in Russian).
- Bryzgalov I.A., Krivitskaya N.N., Spiridonov E.M.* First find of the minerals of jordanite-geocronite-schulzite in one deposit (Darasun, Eastern Transbaikalia). *Doklady Earth Sci.* **2011**. Vol. 438. N 2. P. 815–818.
- Bryzgalov I.A., Krivitskaya N.N., Spiridonov E.M.* The first discovery of nisbite and aurostibite in Eastern Transbaikalia. *Doklady Earth Sci.* **2007**. Vol. 417. N 1. P. 1265–1267.
- Chernyschov I.V., Prokofiev V.Yu., Bortnikov N.S., Chugaev A.V., Gol'zman Yu.V., Lebedev V.A., Larionova O.O., Zorina L.D.* Age of granodiorite porphyry and beresite from the Darasun gold field, eastern Transbaikalia region, Russia. *Geol. Ore Deposits.* **2014**. Vol. 56. P. 1–14.
- Dill H.G., Weiser T., Bernhardt I.R.* The composite gold-antimony deposit at Kharmá (Bolivia). *Econ. Geol.* **1995**. Vol. 90. P. 51–66.
- Filimonova A.A.* Description of the Darasun deposit. In: *Structural and textural features of endogenic ores*. Moscow: Nedra, **1964**. P. 419–437 (in Russian).
- Fogel'man N.A.* Tectonics of the Mesozoic arched uplift at Transbaikalia and regularity of placement of gold deposits within it. *Proc. TSNIGRI.* **1962**. Vol. 84. P. 81–93 (in Russian).
- Graham A.R., Kaiman S.* Aurostibite, $AuSb_2$: a new mineral in the pyrite group. *Amer. Miner.* **1952**. Vol. 37. P. 461–469.
- Gromova E.I., Zavyalova L.L., Glotov A.M.* Finding rare gold minerals (maldonite, aurostibite) in the ores of the Zarmitan (Charmitan) deposit of Western Uzbekistan. *Proc. Uzb. Branch All-Union Miner. Soc.* **1979**. N 31. P. 38–40 (in Russian).
- Hytonen K.* Suomen Mineraalit. Geologian Tutkimuskeskus. Erillisjulkaisien, **1999**. 399 s.
- Indolev L.N., Zhdanov Yu.Ya.* Aurostibite from Au-Sb deposits at Yakutia. *ZRMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1975**. Vol. 104. P. 586–588 (in Russian).
- Kreiter V.M.* Search and prospecting of minerals. Moscow-Leningrad: Gosgeolizdat, **1940**. 790 p. (in Russian).

- Krivitskaya N.N., Spiridonov E.M., Bryzgalov I.A., Sankin Yu.I. Genetic mineralogy of gold in the volcanogenic–plutonogenic Darasun deposit, Transbaikalia. In: *Proc. Annual Meet. Russian Miner. Soc.* Saint Petersburg, October 9–11, 2012. Saint Petersburg, **2012**. P. 145–147 (*in Russian*).
- Lyakhov Yu.V., Dmitriev L.K. Physical and chemical conditions of mineral formation at the Darasun gold deposit (Eastern Transbaikalia) by inclusions in minerals. Pt. 1 and 2. *Miner. Misc. Lvov Univ.* **1975**. N 29. Iss. 3. P. 48–56. Iss. 4. P. 17–22 (*in Russian*).
- Naz'mova G.N., Spiridonov E.M., Schalaev Yu.S. Aurostibite from the Bestube deposit, Northern Kazakhstan (first find in USSR). *Dokl. USSR Acad. Sci.* **1975**. T. 222. P. 687–689 (*in Russian*).
- Ortega L., Oyarzun R., Gallego M. The Mari Rosa late Herzinian Sb–Au deposit, Western Spain: Geology and geochemistry of the mineralizing processes. *Miner. Deposita*. **1996**. Vol. 31. N 3. P. 172–187.
- Pianton P., Wu X., Touray J.-C. Zoned hydrothermal alteration and genesis of the gold deposit at Le Châtelet (French Massif Central). *Econ. Geol.* **1994**. Vol. 89. P. 757–777.
- Prokofiev V.Yu., Zorina L.D. Fluid regime of the Darasun ore–magmatic system (Eastern Transbaikalia) according to the study of fluid inclusions. *Russian Geol. Geophys.* **1996**. Vol. 37. N 5. P. 50–61 (*in Russian*).
- Ramdohr P. The ore minerals and their intergrowths. Oxford: Pergamon Press, **1982**. 1207 p.
- Sakharova M.S. Stages of ore formation processes and the issue of zoning at the Darasun gold deposit. In: *Ore formation and its connection with magmatism*. Moscow: Nauka, **1972**. P. 213–222 (*in Russian*).
- Sakharova M.S., Krivitskaya N.N. About chalcostibite of the Darasun deposit. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1970b**. N 3. P. 340–344 (*in Russian*).
- Sakharova M.S., Krivitskaya N.N. On the discovery of williamite and breithauptite in Transbaikalia. *Russian Doklady Earth Sci.* **1970a**. Vol. 193. N 3. P. 687–689 (*in Russian*).
- Spiridonov E.M. Inversion plutonogenic gold – quartz formation of the Caledonides of the north of Central Kazakhstan. *Geol. Ore Deposits*. **1995**. Vol. 37. N 3. P. 179–207 (*in Russian*).
- Spiridonov E.M. New data on the mineralogy of plutonogenic gold–quartz formation deposits in the north of Central Kazakhstan. Pt. 2. *Proc. Fersman Miner. Museum RAS*. **2015**. N 50. P. 69–82 (*in Russian*).
- Spiridonov E.M., Bryzgalov I.A., Krivitskaya N.N., Naz'mova, Ryakhovskaya S.K., Filimonov S.V. Mineral associations of hydrothermal plutonogenic, volcanogenic–plutonogenic, volcanogenic, telethermal gold deposits. In: *Gold at northern periphery of Pacific*. Magadan: **2008a**. P. 155–158 (*in Russian*).
- Spiridonov E.M., Krivitskaya N.N., Bryzgalov I.A., Kulikova I.M., Gorodetskaya M.D. Texture of aggregates and composition of carbonates in gold-bearing veins at the volcanogenic–plutonogenic Darasun deposit, East Transbaikalia. In: *Problems of ore deposits, mineralogy, petrology, and geochemistry*. Moscow: Inst. Geol. Ore Deposits Petrogr. Miner. Geochem RAS, **2008b**. P. 352–355 (*in Russian*).
- Spiridonov E.M., Krivitskaya N.N., Bryzgalov I.A., Kulikova I.M., Gorodetskaya M.D. Bi-rich aurostibite as the product of replacement of maldonite at the volcanogenic–plutonogenic Darasun deposit, East Transbaikalia. *Doklady Earth Sci.* **2010**. Vol. 435. P. 531–534.
- Spiridonov E.M., Naz'mova, Schalaev Yu.S., Schavkin G.N. Bestube deposit. In: *Geology of gold deposits in the USSR. Vol. II. Deposits at Central Asia and Kazakhstan*. Moscow: TSNIGRI, **1986**. P. 32–43 (*in Russian*).
- Timofeevsky D.A. Geology and mineralogy of the Darasun gold-bearing region. Moscow: Nedra, **1972**. 260 p. (*in Russian*).
- Tugovik G.A. Fluid-explosion structures and their ore content. Moscow: Nauka, **1984**. 193 p. (*in Russian*).
- Zenkov D.A. Mine geology at the Darasun gold–arsenic deposit. In: *Mine geology*. Gosgeolizdat, **1946**. P. 112–134 (*in Russian*).
- Zorin Yu.A., Belichenko V.G., Rutschtein I.G. Geodynamics of western part of the Mongolo–Okhotsky belt and the tectonic position of gold ore deposits at Transbaikalia. *Russian Geol. Geophys.* **1998**. Vol. 39. P. 1578–1586.
- Zorina L.D. Ore–magmatic systems with latite magmatism at Transbaikalia. In: *Actual problems of theoretical and applied geochemistry*. Novosibirsk: Nauka, **1987**. P. 93–100.