



МЕТАСОМАТИТЫ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ СЕВЕРНОГО ФЛАНГА БАИМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)

А.В. ЮСУПОВА*, И.А. БАКШЕЕВ, Н.Н. КОШЛЯКОВА

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119234, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. В последние годы появился ряд публикаций, в которых описываются месторождения и проявления Баимской рудной зоны, Чукотский АО. Нужно отметить, что практически все публикации посвящены крупному золото-молибден-медно-порфировому месторождению Песчанка и рудному полю Находка. В то же время на флангах зоны обнаружен ряд проявлений медной минерализации, природа которых не вполне ясна. Данных о минеральном составе метасоматитов и руд этих проявлений, которые могли внести ясность, в литературе нет. К таковым объектам относятся проявления Топь и Лучик, расположенные на северном фланге Баимской зоны. Для того чтобы понять природу этих проявлений, мы провели детальное минералогическое изучение слагающих их метасоматических пород и руд.

Цель — характеристика особенностей минералогии метасоматитов и руд проявлений Топь и Лучик в северной части Баимской зоны, Западная Чукотка.

Материалы и методы. Авторами изучено несколько десятков прозрачно-полированных шлифов. Оптические исследования проводились на кафедре минералогии МГУ с помощью оптического микроскопа. Электронно-микроскопические исследования минералов и определение их химического состава проводились в Лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ.

Результаты. Изучены минеральный и химический состав минералов метасоматитов и руд проявлений Топь и Лучик, расположенных на северном фланге Баимской рудной зоны на западе Чукотки и включающих крупное Au-Mo-Cu порфировое месторождение Песчанка. Установлено, что основным типом метасоматитов проявлений являются пропилиты. Метасоматиты рассеяны кварцевыми и карбонат-кварцевыми прожилками с рудными минералами, главными из которых являются пирит и халькопирит. Кроме того, выявлены галенит, сфалерит, арсенопирит с повышенным содержанием Sb, марказит, Hg-содержащий тетраэдрит-(Zn), самородное золото с пробностью ~830, петцит, гессит, акантит.

Заключение. Полученные данные о минералогии руд и составе рудных минералов позволяют отнести описанные проявления к эпитермальным IS типа. Учитывая развитие эпитермальной минерализации в верхней части гидротермальной колонны и наличие в Баимской зоне оруденения порфирового типа, на проявлениях Топь и Лучик возможно появление порфировой минерализации на глубине.

Ключевые слова: эпитермальные проявления, Баимская рудная зона, Чукотка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Юсупова А.В., Бакшеев И.А., Кошлякова Н.Н. Метасоматиты и рудная минерализация проявлений северного фланга Баимской рудной зоны (Западная Чукотка). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):62—72. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-62-72>

Статья поступила в редакцию 24.09.2020
Принята к публикации 06.04.2020
Опубликована 31.05.2021

* Автор, ответственный за переписку

HYDROTHERMAL ALTERATION AND MINERALIZATION AT THE PROSPECTS OF THE NORTHERN FLANK OF THE BAIMKA ORE ZONE, WESTERN CHUKOTKA

ALENA YUSUPOVA*, IVAN BAKSHEEV, NATALYA KOSHYAKOVA

*Lomonosov Moscow State University
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119234, Russia*

ABSTRACT

Background. Some papers describing the deposits and prospects in the Baimka ore zone (Baimka Trend), the Chukotka Autonomous Region have been recently published. It should be noted that those publications concern with the large Peschanka porphyry copper-molybdenum-gold deposit and Nakhodka ore field. At the same time, some copper prospects were found at the zone flanks and their nature is not clear. There are no data available in the literature that would clarify the mineralogy of hydrothermal alteration and ores at those prospects, including Top and Luchik located at the northern flank. To understand the nature of these prospects, we studied in depth mineralogy of hydrothermal alteration and ores.

Aim. This study aims to describe mineralogy of metasomatic rocks and ores from the Top and Luchik prospects in the northern part of the Baimka zone, Western Chukotka.

Materials and methods. Several dozen polished thin sections were microscopic studied at the Department of Mineralogy of Moscow State University using an optical microscope. The chemical composition of minerals was determined using electron microprobe at the Laboratory of Analytical Techniques of High Spatial Resolution, Department of Petrology and Volcanology, Moscow State University.

Results. It was found that propylitic is the major hydrothermal alteration at the prospects studied here. Metasomatic rocks are cut by mineralized quartz and carbonate-quartz veins. Chalcopyrite and pyrite are the major ore minerals; galena, sphalerite, pyrite enriched in As and Sb, and marcasite are minor; Hg-bearing tetrahedrite-(Zn), native gold with the fineness of ~830, petzite, hessite, and acanthite are rare.

Conclusions. The data obtained suggest that mineralization at the Top and Luchik prospect is attributed to the epithermal intermediate sulfidation type. Considering the occurrence of the epithermal mineralization in the upper part of the hydrothermal column and the porphyry mineralization in the Baimka zone, the porphyry mineralization is possible at depth at the Top and Luchik prospects.

Keywords: epithermal prospects, Baimka ore zone, Chukotka

Conflict of interests. the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. no financial support was provided for this study.

For citation: Yusupova A.V., Baksheev I. A., Koshyakova N.N. Hydrothermal alteration and mineralization of the prospects at the northern flank of the Baimka ore zone, Western Chukotka. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2020;63(4):62—72. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-62-72>

*Manuscript received 24 September 2020
Accepted 06 April 2020
Published 31 May 2021*

* Corresponding author

Введение

Одним из основных источников меди являются месторождения медно-порфиrowого типа, которые связаны с порфиrowыми интрузивами кремнекислого состава нормального и субщелочного ряда. Штокверковые медные руды этих объектов сосредоточены в эндо-экзоконтактовых зонах гипабиссальных и субвулканических порфиrowых интрузивов (штоков, даек). Более поздними являются карбонат-полиметаллические (субэпитеpмальные) жилы и прожилки. Считается, что процесс формирования порфиrowых систем завершается образованием эпитеpмальных (относительно низкотемпературных) жильно-прожилковых Au-Cu “high sulfidation” (HS) и Au-Ag “intermediate sulfidation” (IS) руд [23].

Метасоматиты порфиrowых систем образуются последовательно и размещены зонально. Согласно работам [4, 23] метасоматическую зональность можно представить в следующем виде. Внутренняя зона сложена биотит-калишпат-кварцевыми породами, далее следует промежуточная зона кварц-серицитовых пород и внешняя зона пропилитов. В самой верхней части системы развита зона аргиллизациии до вторичных кварцитов.

В последние годы появился ряд публикаций, в которых описываются месторождения и проявления Баимской рудной зоны [5, 6, 8], расположенной в 250 км к югу от г. Билибино, Чукотский АО, и вытянутой в субмеридиональном направлении на 80 км. Нужно отметить, что практически все публикации посвящены крупному золото-молибден-медно-порфиrowому месторождению Песчанка и рудному полю Находка. Последнее включает ряд проявлений порфиrowого типа и эпитеpмальное Au-Ag месторождение Весеннее [6]. В то же время на флангах зоны обнаружен ряд проявлений медной минерализации, природа которых не вполне ясна. Данных о минеральном составе метасоматитов и руд этих проявлений, которые могли внести ясность, в литературе нет. К таковым объектам относятся проявления Топь и Лучик, расположенные на северном фланге Баимской зоны.

Для того чтобы понять природу этих проявлений, мы провели детальное минералогическое изучение слагающих их метасоматических пород и руд.

Краткая геологическая характеристика проявлений

Проявления Топь и Лучик расположены на северном фланге Баимской рудной зоны в 15 и 25 км от крупного золото-молибден-медно-порфиrowого месторождения Песчанка.

Проявление Топь в геологическом отношении приурочено к западным эндо- и экзоконтактам Егдэгкычского массива, представленному в этой части габброидами позднеюрского баимского и монцонитами раннемелового егдэгкычского комплексов. Вмещающими массив породами являются вулканиты волжского яруса и отложения раннемеловой айнахургенской свиты.

Метасоматиты, преимущественно пропилиты, развиты по габброидам и образуют небольшие прожилки и линзы, в которых зачастую встречаются гнезда и тонкие трещины, выполненные эпидотом. Рудная минерализация связана с зоной дробления в окварцованных габброидах. Она представлена кварц-сульфидными (халькопирит, пирит) и кварц-карбонат-сульфидными (галенит, сфалерит, халькопирит) прожилками мощностью от нескольких до 10—20 сантиметров, имеющими северо-восточное простирание.

Проявление Лучик приурочено к участкам развития вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород волжского яруса, которые интродуцированы позднеюрскими габброидами баимского комплекса и диоритовыми порфиритами и монцонитоидами позднеюрского-раннемелового весеннинского комплекса. Интрузивные породы образуют блок неправильной формы.

Метасоматиты, представленные пропилитами и кварц-карбонат-хлоритовыми с редким мусковитом породами, слагают зоны мощностью до нескольких десятков метров. Рудная минерализация представлена кварц-сульфидными прожилками мощностью до 10 см, которые образуют линейный штокверк и пересекают кварц-карбонат-хлоритовые породы. Главными рудными минералами сульфидных прожилков являются халькопирит и пирит. Наиболее поздней составляющей прожилков является аметистовидный кварц.

Методы исследования

Оптические исследования проводились на кафедре минералогии МГУ с помощью оптического микроскопа AxioPlan фирмы Zeiss, снабженного цифровой камерой и компьютером.

Электронно-микроскопические исследования минералов и определение их химического состава проводились в Лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV с энергодисперсионным INCA-Energy 350 и волновым INCA Wave-500 спектрометрами, аналитик Н.Н. Кошлякова. Изображения в отраженных

электронах получены при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока ~2 нА. Состав минералов изучался с помощью ЭДС-спектрометра при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока $2,00 \pm 0,05$ нА. При анализе силикатных фаз в качестве стандартов использовались стехиометрические оксиды и силикаты с известным составом. При анализе рудных минералов использованы эталоны природных и синтетических сульфидов и теллуридов. Процедура коррекции осуществлялась по методу XPP коррекции (INCA, версия 17a, Oxford Instrument).

Формулы амфиболов рассчитаны на 13 катионов, за исключением Na, K и Ca. Расчет формул хлоритов проведен на 10 катионов. Формулы эпидота рассчитаны на основе 8 катионов. Расчет формулы мусковита произведен на 22 отрицательных заряда. Количество H_2O для хлорита, амфиболов, эпидота и мусковита рассчитано по стехиометрии. Содержание Fe^{2+} и Fe^{3+} для амфибола и эпидота рассчитывали по балансу зарядов. Формулы сульфидных минералов рассчитывались на сумму всех атомов.

Результаты

Пропилиты обоих проявлений — это средне-мелкозернистые породы от светло-до темно-зеленых, сложенные амфиболом, хлоритом, калиевым полевым шпатом, альбитом, эпидотом, кальцитом, акцессорные минералы — титанитом и магнетитом. При микроскопических наблюдениях видно, что гидротермальный магнетит

не содержит ламелей распада ильменита, в отличие от титаномagnetита исходных магматических пород. Оптические и электронно-микроскопические исследования свидетельствуют, что пропилиты рассечены тонкими прожилками с кальцитом, хлоритом, пренитом и цеолитами.

Амфиболы представлены ксеноморфными зернами размером до 10 мкм и по тонким трещинам замещают кристаллы первично магматических магнезиогастингсита, эденита, диопсида и авгита. Кроме того, амфиболы совместно с кварцем, эпидотом, апатитом и гематитом образуют тонкие прожилки. Размер кристаллов амфибола в этих прожилках достигает 100 мкм и выше. Гидротермальные амфиболы по химическому составу относятся к магнезиогорнблендиту, тремолиту и актинолиту (рис. 1). При этом магнезиогорнблендит замещается тремолитом и актинолитом. Средний химический состав магнезиогорнблендита метасоматитов обоих проявлений ($n = 17$, масс.%): $49,20\text{—}52,62 SiO_2$, $0,01\text{—}0,99 TiO_2$, $3,38\text{—}6,63 Al_2O_3$, $11,73\text{—}18,04 MgO$, $9,17\text{—}14,48 FeO_{общ.}$, $0,06\text{—}0,67 MnO$, $11,59\text{—}12,50 CaO$, $0,15\text{—}0,35 K_2O$, $0,29\text{—}1,27 Na_2O$, $2,03\text{—}2,12 H_2O_{расч.}$, сумма $95,82\text{—}99,30$; формула минерала $Na_{0,045\text{—}0,162} K_{0,005\text{—}0,046} Ca_{1,823\text{—}2,008} (Mg_{3,154\text{—}3,758} Fe_{1,093\text{—}1,756} Ti_{0\text{—}0,029} Mn_{0\text{—}0,104})_{5,000} [Si_{7,525\text{—}7,797} Al_{0,236\text{—}0,531} O_{22}] (OH)_{2,000}$. Магнезиальность $[Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ варьирует от 0,67 до 0,92. Средний химический состав амфибола тремолит-актинолитового ряда ($n = 17$, масс. %): $52,45\text{—}52,62 SiO_2$, $0\text{—}0,25 TiO_2$, $1,37\text{—}3,31 Al_2O_3$, $14,43\text{—}18,15 MgO$, $9,12\text{—}13,67 FeO_{общ.}$,

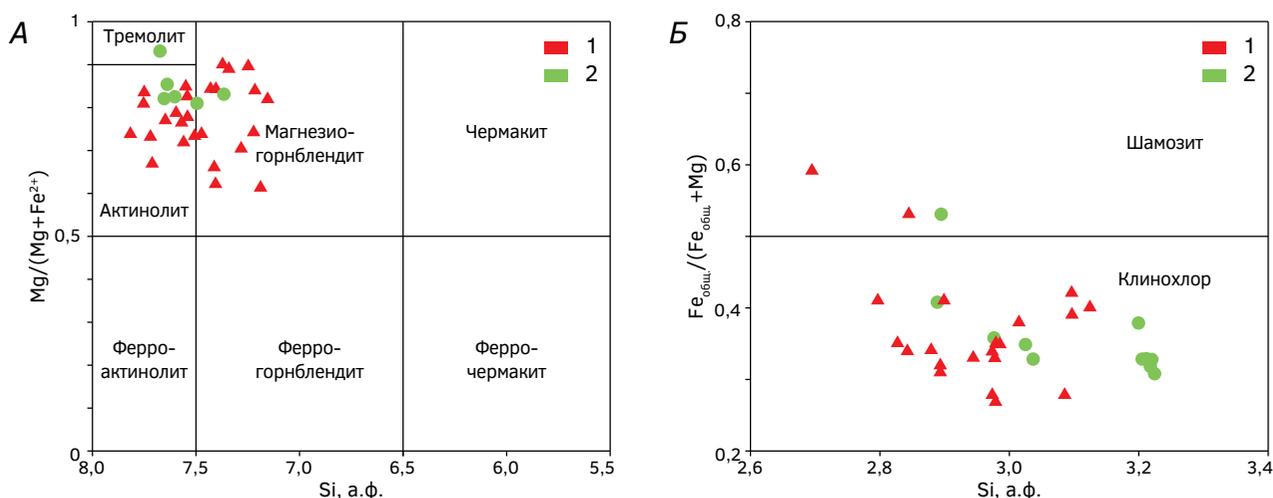


Рис. 1. Классификационные диаграммы (А) амфиболов [19, 20] и (Б) хлоритов [12] пропилитов проявлений Топь и Лучик. 1 — проявление Топь, 2 — проявление Лучик

Fig. 1. Classification diagrams for (A) amphiboles [19, 20] and (Б) chlorites from propylitic alteration of the Top and Luchik prospects. 1 — Top, 2 — Luchik

0—0,80 MnO, 12,00—12,66 CaO, 0,06—0,25 K₂O, 0,16—0,61 Na₂O, 2,06—2,19 H₂O_{расч.}, сумма 96,09—100,00; формула минерала $Na_{0,045-0,162}K_{0,005-0,046}Ca_{1,823-2,008}(Mg_{3,154-3,758}Fe_{1,093-1,756}Ti_{0-0,029}Mn_{0-0,104})_5[Si_{7,525-7,797}Al_{0,236-0,531}O_{22}](OH)_{2,000}$. Отношение Mg/(Mg+Fe²⁺) составляет 0,67—0,84.

Эпидот слагает агрегаты как мелких, так и более крупных (до 0,3 мм) зеленоватых зерен. Он образует гнезда и прожилки совместно с карбонатом, хлоритом, кварцем, актинолитом, замещает магматические клинопироксен и плагиоклаз. Наблюдения в электронный микроскоп в режиме высокого контраста выявляют сложную зональность индивидуальных кристаллов эпидота, обусловленную вариациями содержания Fe. Средний химический состав минерала ($n = 11$, масс.%): 37,10—38,05 SiO₂, 0—0,13 TiO₂, 17,33—27,49 Al₂O₃, 8,84—14,28 FeO_{общ.}, 0—0,68 MnO, 22,21—23,46 CaO, 1,89—2,04 H₂O_{расч.}, сумма 96,25—98,81; формула минерала $Ca_{1,823-2,008}Al_{0,943-1,118}(Fe^{3+}_{0,617-0,943}Ti_{0-0,029}Mn_{0-0,104}Al_{1,057-1,383})_2[Si_{1,983-2,005}O_7][Si_{0,930-1,010}O_4]O(OH)$. Железистость эпидота $[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)]$ варьирует от 0,18 до 0,46.

Хлорит представлен агрегатами чешуек разного размера, от нескольких десятков микронов до 2 мм. Он замещает ранее образованный магматический биотит, а также магматические и гидротермальные амфиболы. При замещении биотита в хлорите по спайности наблюдается рутил, представляющий собой ламели распада твердого раствора в биотите, которые сохранились в ходе гидротермального процесса. По химическому составу хлорит отвечает клинохлору (2,824—3,117 Si а.ф.; 0,33—0,41 Fe_{общ.}/(Fe_{общ.}+Mg)) и шамозиту (2,696—2,843 Si а.ф.; 0,53—0,59 Fe_{общ.}/(Fe_{общ.}+Mg)) (рис. 1Б) [12].

Калиевый полевой шпат пропилитов представлен индивидуальными кристаллами, размер которых не превышает нескольких десятков мкм. Минерал слагает гнезда, секущие прожилки совместно с хлоритом, кальцитом, эпидотом. В пропилизированных габброидах прожилки рассекают крупные кристаллы первичного амфибола, при метасоматозе превращенного частично в актинолит. Калишпат не содержит ламелей распада альбита, и его зерна характеризуются неоднородным химическим составом, что обусловлено разной концентрацией Ba, достигающей 3,2 масс.% BaO.

Карбонаты представлены кальцитом и доломитом. Первый образует агрегаты мелких зерен с размером индивидуальных кристаллов до 0,1 мм, а также крупные толстопризматические сдвойникованные кристаллы размером до 1,5 см. Минерал

содержит Mn до 1,14 масс.% Mn. Доломит слагает прожилки мощностью до 1 мм и содержит до 0,9 масс.% MnO.

Мусковит образует агрегаты размером несколько сотен микронов, сложенных мелкими чешуйками. Его средний состав ($n = 2$, масс.%): 47,58—48,70 SiO₂, 0,20—0,35 TiO₂, 34,74—35,25 Al₂O₃, 1,40—1,44 MgO, 1,24—1,60 FeO_{общ.}, 9,29—9,94 K₂O, 0,36—0,37 Na₂O, 4,59—4,60 H₂O_{расч.}, сумма 96,36—96,69; формула минерала $Na_{0,046-0,047}K_{0,772-0,828}(Al_{1,867-1,936}Mg_{0,136-0,146}Fe_{0,068-0,087}Ti_{0,010-0,017})_2[Si_{3,109-3,172}Al_{0,252-0,531}O_{10}](OH)_{2,000}$.

Рудная минерализация

На проявлении Топь макроскопически руды имеют полосчатое строение, выраженное чередованием полос пирита и халькопирита. При микроскопических наблюдениях видно, что пирит брекчирован и цементируется халькопиритом. Главными рудными минералами проявления являются пирит, халькопирит, сфалерит, галенит; к редким относятся молибденит, пирротин, теллурувисмутит, самородное золото, гессит, петцит, акантит.

Пирит образует крупные выделения размером до нескольких сотен микронов двух типов. Пирит первого типа (пирит I) незональный, по данным электронно-зондового анализа содержит незначительное количество (первые тысячные доли а.ф.) Mn, Co и Ni. Его кристаллы брекчированы и трещины залечены халькопиритом. Пирит второго типа (пирит II) образует идиоморфные кристаллы также размером несколько сотен микронов, в которых отдельные зоны обогащены As до 2,1 масс.%.

Халькопирит цементирует трещиноватые кристаллы пирита и нарастает на последний, образуя выделения размером несколько сотен микронов. По химическому составу халькопирит, цементирующий брекчированный пирит I, и халькопирит крупных выделений идентичны. Минерал содержит примеси, масс.%: до 0,06 Ag, до 0,30 Zn, до 0,15 Ni и до 0,11 Co.

Сфалерит слагает выделения размером первые сотни мкм; он нарастает на халькопирит или выполняет трещины в нем. Минерал содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита и характеризуется низким содержанием Fe (2,56 масс.%), содержание Cu не превышает 1,29 масс.%, концентрация Cd и Mn до 0,67 масс.% и 0,08 масс.% соответственно.

Галенит образует сростания со сфалеритом, слагает вроски в пирите первого типа и выполняет трещины в нем (рис. 2А). Иногда в галените фиксируется примесь Se до 1,88 масс.%.

Пирротин слагает мелкие реликты в пирите I (рис. 2А). По химическому составу это сернистый моноклинный пирротин Fe_7S_8 .

Благороднометаллическая минерализация представлена мелкими вростками гессита и акантита в пирите и халькопирите, самородным золотом (пробность 831—855), которое, по-видимому, образует тонкие сростания с гесситом (рис. 2А), петцитом (рис. 2Б), тонкими выделениями акантита на границе между зернами сфалерита и галенита.

По структурно-текстурным особенностям руды проявления Лучик относятся к прожилково-вкрапленному типу. Рудные минералы обнаруживаются в кварцевых и карбонат-кварцевых прожилках, которые рассекают прожилиты. Мощность одной зоны прожилкования не превышает нескольких метров. Главным рудным минералом прожилков является пирит; второстепенные: халькопирит, марказит, сфалерит, пирротин, блеклые руды; редко встречаются арсенопирит, молибденит, кобальтин.

Пирит представлен выделениями двух типов. Первый тип — это идиоморфные выделения размером до нескольких сотен мкм, которые зачастую брекчированы, и трещины залечены халькопиритом. Пирит содержит незначительное количество Co (0,44 масс.%) и Ni (0,06 масс.%). Второй тип также слагает крупные кристаллы, но в отличие от первого типа его зерна зональные по химическому составу, что обусловлено вариациями содержания As (от 0,04 до 5,87 масс.%). В пирите первого типа отмечаются реликты пирротина, а в пирите второго типа к зонам роста иногда приурочен кобальтин.

Халькопирит слагает зерна размером несколько десятков микронов. Минерал образует сростания с молибденитом, обрастает и замещает пирит первого типа и цементирует его брекчированные кристаллы. Отмечается тонкая эмульсионная вкрапленность халькопирита в краевых зонах роста кристаллов сфалерита.

Сфалерит образует редкие одиночные кристаллы размером первые сотни микронов или сростания с халькопиритом. Такой сфалерит относится к первой генерации и по данным качественного электронно-микроскопического анализа содержит примесь Fe . Сфалерит второй генерации слагает тонкие прожилки в зернах сфалерита-I и представлен практически безжелезистой разновидностью — клейофаном.

Блеклые руды представлены относительно крупными кристаллами размером до первых сотен мкм. Они выполняют интерстиции между кристаллами пирита второго типа и трещины в них (рис. 3А). По химическому составу блеклые руды относятся к теннантиту- (Zn) и тетраэдриту- (Zn) (рис. 3Б). В целом величины сурьмяности $Sb/(Sb+As)$ и железистости $Fe/(Fe+Zn)$ в блеклых рудах варьируют соответственно от 0,18 до 0,75 и от 0,31 до 0,47. Интересной особенностью состава тетраэдрита- (Zn) является повышенное содержание Hg (до 5,84 масс.%).

Марказит образует кристаллы длиной до 200 микронов в кварцевых и карбонатных прожилках и их агрегаты. Иногда на них нарастают мелкие сферолитоподобные кристаллы арсенопирита (рис. 4А). Скорее всего, учитывая форму

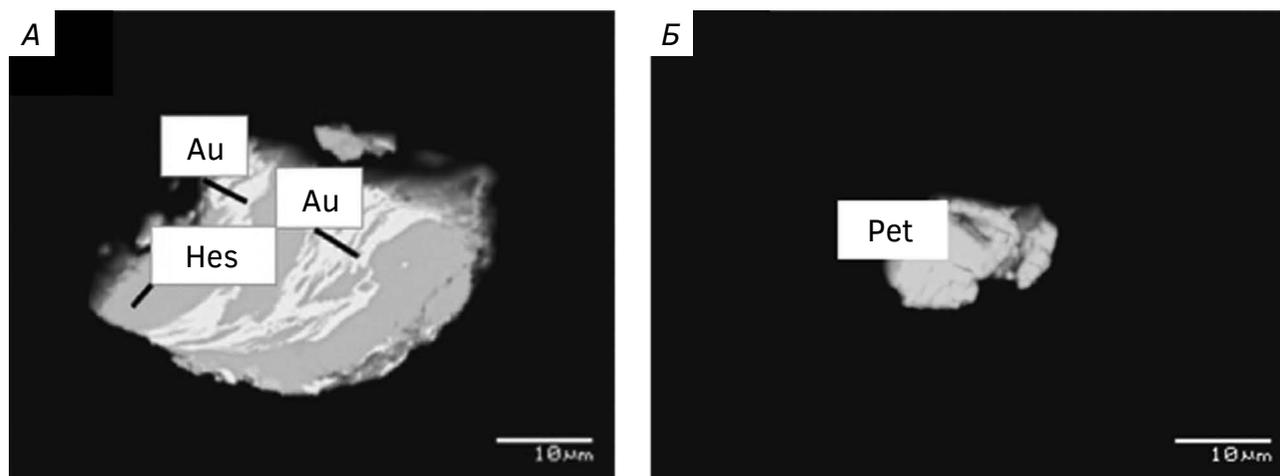


Рис. 2. Рудные минералы проявления Топь. А — самородное золото в сростании с гесситом (Hes); Б — зерно петцита (Pet)

Fig. 2. Ore minerals of the Top prospect. A — intergrowth of native gold and hessite (Hes); Б — petzite grain (Pet)

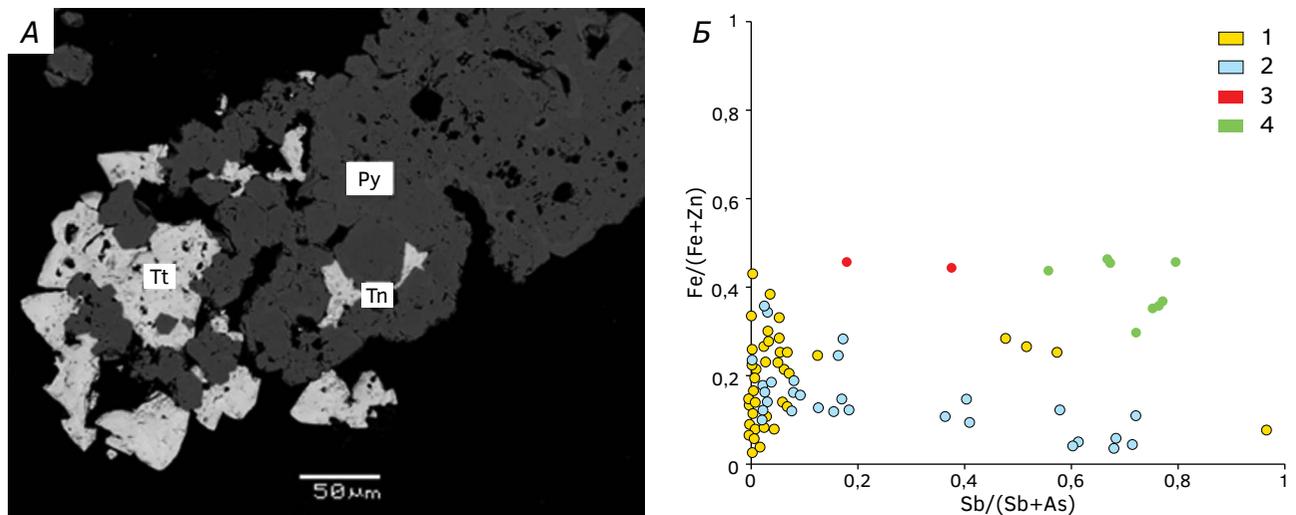


Рис. 3. Формы выделения (А) и химический состав (Б) блеклых руд проявления Лучик. А — фото в отраженных электронах. 1) месторождение Весеннее; 2) проявление Прямой; 3, 4) проявление Лучик: 3) теннантит-(Zn); 4) тетраэдрит-(Zn). Анализы блеклых руд месторождения Весеннее и проявление Прямой взяты из работы [6]
Fig. 3. Morphology (А) and composition (Б) of the tetrahedrite group minerals from the Luchik prospect. А — back-scattered electron image. 1) Vesenny deposit; 2) Pryamoy prospect; 3, 4) Luchik prospect: 3) tennantite-(Zn), 4) tetrahedrite-(Zn). Compositions of tetrahedrite group minerals from the Vesenny deposit and Pryamoy prospect are taken from [6]

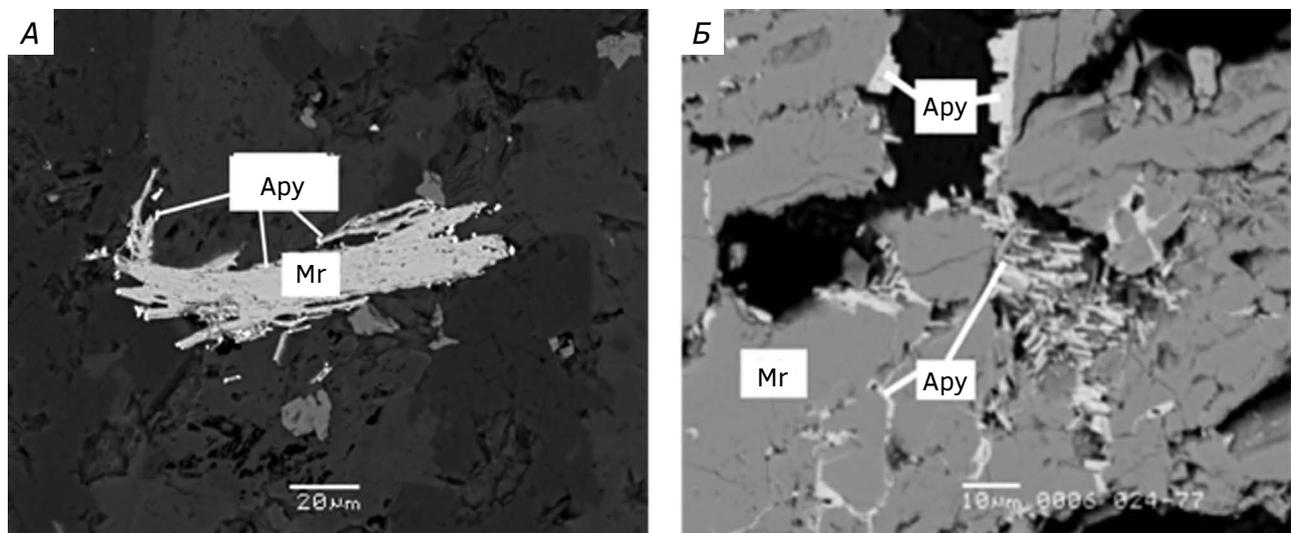


Рис. 4. Взаимоотношение между марказитом и арсенопиритом. А — нарастание мелких сферолитоподобных кристаллов арсенопирита на марказит; Б — заполнение арсенопиритом трещин в марказите. Фото в отраженных электронах
Fig. 4. The relationship between the marcasite and arsenopyrite. А — fine spherulite-like arsenopyrite crystals overgrow marcasite, Б — arsenopyrite fills fractures in marcasite. Photo in reflected electrons

кристаллов, марказит представляет собой псевдоморфозу по раннему пирротину.

Арсенопирит представлен мелкими сферолитоподобными выделениями размером до 5 микрон, которые нарастают на марказит (рис. 4А). Арсенопирит также выполняет трещины в марказите (рис. 4Б) и нарастает на пирит второго типа.

Химический состав минерала, масс. %: 35,00 Fe, 37,81 As, 2,72 Sb, 22,29 S, сумма 97,82. Отношение S/As составляет 1,38.

Обсуждение результатов и выводы

Проведенные исследования свидетельствуют о похожем характере метасоматоза

и рудной минерализации проявлений северного фланга Баимской рудной зоны. В обоих случаях ведущим типом метасоматитов являются пропилиты, сложенные минералами с близким химическом составом. Также похожа и рудная минерализация, где главными минералами являются пирит и халькопирит, при этом последний цементирует брекчированные кристаллы первого. На обоих проявлениях присутствуют зональный обогащенный мышьяком поздний пирит, сфалерит, пирротин, молибденит. Эти данные указывают на схожий характер гидротермального процесса на обоих проявлениях. Вместе с тем есть некоторые различия в минеральном составе руд. Так, на проявлении Лучик отмечены марказит, арсенопирит, блеклые руды, а на проявлении Топь — галенит, самородное золото, гессит, петцит, акантит. Скорее всего, эти различия вызваны тем, что в изученных образцах упомянутые минералы отсутствовали, но могут быть обнаружены при изучении других образцов. Подтверждением возможной находки минералов благородных металлов на проявлении Лучик является небольшая россыпь, которая обрабатывалась в прошлом.

Зональный обогащенный As пирит обычен для эпитермальных (низкотемпературных) месторождений [6, 8, 9]. В пределах Баимской зоны он описан на Au-Ag месторождении Весеннее, которое является частью порфирово-эпитермальной системы рудного поля Находка [6].

Интересно обнаружение арсенопирита, нарастающего на марказит и заполняющего трещины в нем и позднем мышьяковистом пирите. Подобные соотношения описаны на месторождении карлинского типа Дип Стар в Неваде [16]. Известно, что месторождения этого типа формируются при температуре 180—250 °C [15]. Поэтому можно предположить, что мышьяковистый пирит, марказит и арсенопирит на проявлении Лучик также формировались в этом температурном диапазоне. Относительно низкая температура образования арсенопирита Лучика подтверждается наличием в нем примеси сурьмы. Сурьмусодержащий арсенопирит был неоднократно описан на эпитермальных месторождениях [1—3, 10].

Еще одной находкой, заслуживающей обсуждения, является ртутьсодержащий тетраэдрит-(Zn), ранее не отмечавшийся среди блеклых руд Баимской рудной зоны [21]. Хотя ртутьсодержащие минералы были ранее установлены

на проявлении Туманное, которое расположено в 45 км к югу от месторождения Песчанка и находится в зоне экзонконтакта Вукнейского массива, относящегося к егдэгычскому комплексу [13]. В цитируемой работе также есть ссылки на находки киновари на проявлениях южного фланга Баимской зоны. Ртутьсодержащий тетраэдрит-(Zn) проявления Лучик отличается от тетраэдрита-(Zn) золото-серебряного месторождения Весеннее большей железистостью (рис. 3Б) и отсутствием в составе серебра.

Ртутистые блеклые руды до тетраэдрита-(Hg) обычны для эпитермальных вулканогенных месторождений, где они ассоциируют с киноварью, баритом, халькопиритом, борнитом, халькостибитом, гематитом, магнетитом [14, 17, 18]. В то же время они описаны и на гипабиссальных плутоногенных месторождениях золота, например Кварцитовые горки в Северном Казахстане, где содержание ртути в минерале достигает 6,8 масс.% [11].

Приуроченность ртутистого тетраэдрита-(Zn) Лучика к кварц-карбонатным прожилкам в интрузивных породах и отсутствие парагенных гематита, магнетита, халькостибита, киновари свидетельствуют о плутоногенном происхождении минерала на гипабиссальном уровне. С учетом минеральной ассоциации описываемая блеклая руда формировалась при относительно низкой (эпитермальной) температуре (180—250 °C).

Благороднометалльная минерализация, обнаруженная на проявлении, полностью совпадает с описанной ранее на эпитермальном Au-Ag месторождении Весеннее, входящем в состав рудного поля Находка, которое является частью Баимской зоны [8].

Согласно работе [22], эпитермальные месторождения вне зависимости от связи с интрузивным магматизмом или вулканизмом делятся на три типа: (1) high sulfidation (HS), (2) intermediate sulfidation (IS), (3) low sulfidation (LS), каждый из которых имеет свой характерный набор минералов. Сопоставляя данные цитируемой работы и данные, полученные нами, можно заключить, что рудная минерализация проявлений Топь и Лучик относится к типу IS. Учитывая факт, что эпитермальная минерализация развита в верхней части гидротермальной колонны, и наличие в Баимской зоне оруденения порфирового типа, на проявлениях Топь и Лучик возможно появление порфировой минерализации на глубине.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гамянин Г.Н., Горячев Н.А.* Типоморфизм арсенирита месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований» 29—31 марта 2010 г. М: ИГЕМ, 2010. Т. 1. С. 327.
2. *Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В.* Серебро-кобальтовый тип минерализации Верхне-Сеймчанского рудного узла (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56, № 5. С. 363—386.
3. *Горячев Н.А., Сидоров А.А., Волков А.В., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М.* Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 1., С. 11—15.
4. *Колова Е.Е., Савва Н.Е.* Соотношение медно-молибден-порфирирового и золотого оруденения на п-овах Кони и Пьягина (Северное Приохотье) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2008. № 4. С. 2—15.
5. *Марущенко Л.И.* Минералогия пропилитов крупного медно-порфирирового месторождения Песчанка (Западная Чукотка) // Вестник Московского университета. 2013. № 2. С. 22—30.
6. *Нагорная Е.В.* Минералогия и зональность молибден-медно-порфирирового рудного поля Находка, Чукотка: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2013. 27 с.
7. *Нагорная Е.В.* Эволюция химического состава блеклых руд медно-молибден-порфирировых месторождений Находкинского рудного поля // Разведка и охрана недр. 2011. № 8. С. 11—16.
8. *Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Нагорная Е.В., Марущенко Л.И., Сидорина Ю.Н., Читалин А.Ф., Калько И.А.* Au-Ag минерализация порфириро-эпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений, 2016. Т. 58. № 4. С. 284—307.
9. *Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю.* Эпитермальное Ag-Au месторождение Приморское (северо-восток России): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных месторождений, 2019. Т. 61. № 1. С. 52—74.
10. *Трушин С.И., Кириллов В.Е., Буханова Д.С., Чубаров В.М.* Минералогические особенности золотых руд Албазинского и Ульбанского рудных районов (Хабаровский край) // Регион. геология и металлогения. 2019. № 78. С. 91—97.
11. *Филимонов С.В.* Минералы группы блеклых руд — индикаторы рудогенеза (на примере гидротермальных месторождений золота: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2009. 25 с.
12. *Bayliss P.* Nomenclature of the trioctahedral chlorites // Can. Miner., 1975. V. 13. P. 178—180.
13. *Baksheev I.A., Vlasov E.A., Nikolaev Yu.N., Krivitskaya N.N., Koshlyakova N.N., Nagornaya E.V., Kara T.V., Dzhezheya G.T.* Mineralogy of the Tumanny Au-Ag-Te-Hg epithermal veins, Western Chukchi Peninsula, Russia // Ore Geology Reviews, 2018. V. 101. P. 293—311.
14. *Biagioni C., Sejkora J., Musetti S., Velebil D., Pasero M.* Tetrahedrite-(Hg), a new 'old' member of the tetrahedrite group // Mineralogical Magazine, 2020. V. 84. P. 584—592.
15. *Cline J.S., Hofstra A.H., Muntean J.L., Tosdal R.M., Hickey K.A.* Carlin-Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models. Society of Economic Geologists, 2005. P. 451—484.
16. *Fleet M.E., Mumin A.H.* Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis. American Mineralogist. 1997. V. 82. P. 182—193.
17. *Foit, F.F. Jr., Ulbricht, M.E.* Compositional variation in mercurian tetrahedrite-tennantite from epithermal deposits of the Steens and Pueblo Mountains, Harney County, Oregon. Can. Mineral. 2001. V. 39. P. 819—830.
18. *Jurković I.B.* Geochemical characteristics of mercurian tetrahedrite, barite and fluorite from the Duboki Vagan, Glumac and Dubrave-Dugi Dol barite deposits, south of Kreševo, Mid-Bosnian Schist Mts // Geologia Croatica. 2011. V. 64. P. 49—59.
19. *Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W.* Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // Mineral. Mag. 2004. V. 68. P. 209—215.
20. *Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N.J., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G.* Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names // Mineral. Mag. 1997. V. 61. P. 295—321.
21. *Marushchenko L.I., Baksheev I.A., Nagornaya E.V., Chitalin A.F., Nikolaev Yu.N., Vlasov E.A.* Compositional evolution of the tetrahedrite solid solution in porphyry-epithermal system: A case study of the Baimka Cu-Mo-Au trend, Chukchi Peninsula, Russia // Ore Geology Reviews. 2017. P. 21—37.
22. *Sillitoe R.H., Hedenquest J.W.* Linkages between volcanotectonic settings, orefluid compositions, and epithermal precious metal deposits // Soc. Econ. Geol. Spes. Publ. 2003. V. 10. P. 315—343.
23. *Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // Econ. Geol. 2010. V. 105. P. 3—41.

REFERENCES

1. Gamyarin G.N., Goryachev N.A. Tipomorfizm arsenopirita mestorozhdenij zolota i serebra Severo-Vostoka Azii // *Materialy Vserossijskoj konferencii «Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh asociacii, usloviya obrazovaniya mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovanii»* 29—31 marta 2010 g. Moscow: IGEI, 2010. V. 1. P. 327.
2. Goryachev N.A., Gamyarin G.N., Prokofev V.Yu., Savva N.E., Velivetskaya T.A., Ignat'ev A.V. Silver-cobalt mineralization in the Upper Seymchan ore cluster, Northeastern Russia // *Geol. Ore Deposits*, 2014. V. 56. No. 5. P. 322—345.
3. Goryachev N.A., Sidorov A.A., Volkov A.V., Gamyarin G.N., Savva N.E., Okrugin V.M. Au-Ag-orudnenie vulkanogennykh poyasov Severo-Vostoka Azii // *Vulkanizm i geodinamika: Materialy IV Vserossijskogo simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii. Petropavlovsk-Kamchatskij: IVIS DVO RAN*, 2009. V. 1. P. 11—15.
4. Kolova E.E., Savva N.E. Sootnoshenie medno-molibden-porfirovogo i zolotogo orudneniya na p-ovah Koni i P'jagina (Severnoe Prihot'e) // *Vestnik SVNC DVO RAN*. 2008. No. 4. P. 2—15.
5. Maruschenko L.I. The mineralogy of propylites of the large Peschanka porphyry copper deposit (West Chukotka) // *Moscow Univ. Geol. Bull.*, 2013. V. 68. No. 2. P. 79—88.
6. Nagornaja E.V. Mineralogija i zonal'nost' molibden-medno-porfirovogo rudnogo polja Nahodka, Chukotka: avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Moscow, 2013. 27 p.
7. Nagornaja E.V. Evolyuciya himicheskogo sostava bleklyh rud medno-molibden-porfirovyh mestorozhdenij Nahodkinskogo rudnogo polya // *Razvedka i Okhrana Nedr*. 2011. No. 8. P. 11—16.
8. Nikolaev Yu.N., Baksheev I.A., Prokofiev V.Yu., Nagornaya E.V., Marushchenko L.I., Sidorina Yu.N., Chitalin A. F., Kal'koa I.A. Gold-silver mineralization in porphyry-epithermal systems of the Baimka Trend, Western Chukchi Peninsula, Russia // *Geol. Ore Deposits*, 2016. V. 58. No. 4. P. 284—307.
9. Savva N.E., Volkov A.V., Sidorov A.A., Kolova E.E., Murashov K.Yu. Primorskoe epithermal Ag-Au deposit (Northeastern Russia): Geological setting, mineralogy, geochemistry, and ore formation conditions // *Geol. Ore Deposits*, 2016. V. 61. No. 1. P. 50—73.
10. Trushin S.I., Kirillov V.E., Buhanova D.S., Chubarov V.M. Mineralogicheskie osobennosti zolotykh rud Albazinskogo i Ul'banskogo rudnyh rajonov (Habarovskii kraj) // *Region. Geologiya i Metallogeniya*. 2019. No. 78. P. 91—97.
11. Filimonov S.V. Mineraly gruppy bleklykh rud — indikator rudogeneza (na primere gidrotermal'nykh mestorozhdenij zolota: avtoref. dis. kand. geol.-miner. nauk. Moscow, 2009. 25 p.
12. Bayliss P. Nomenclature of the trioctahedral chlorites // *Can. Miner.*, 1975. V. 13. P. 178—180.
13. Baksheev I.A., Vlasov E.A., Nikolaev Yu.N., Krivitskaya N.N., Koshlyakova N.N., Nagornaya E.V., Kara T.V., Dzhezheya G.T. Mineralogy of the Tumanny Au-Ag-Te-Hg epithermal veins, Western Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*, 2018. V. 101. P. 293—311.
14. Biagioni C., Sejkora J., Musetti S., Velebil D., Pasero M. Tetrahedrite-(Hg), a new 'old' member of the tetrahedrite group // *Mineralogical Magazine*, 2020. V. 84. P. 584—592.
15. Cline J.S., Hofstra A.H., Muntean J.L., Tosdal R.M., Hickey K.A. Carlin-Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models. Society of Economic Geologists, 2005. P. 451—484.
16. Fleet M.E., Mumin A.H. Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis. *American Mineralogist*. 1997. V. 82. P. 182—193.
17. Foit, F.F. Jr., Ulbricht, M.E. Compositional variation in mercurian tetrahedrite-tennantite from epithermal deposits of the Steens and Pueblo Mountains, Harney County, Oregon. *Can. Mineral.* 2001. V. 39. P. 819—830.
18. Jurković I.B. Geochemical characteristics of mercurian tetrahedrite, barite and fluorite from the Duboki Vagan, Glumac and Dubrave-Dugi Dol barite deposits, south of Kreševo, Mid-Bosnian Schist Mts // *Geologia Croatica*. 2011. V. 64. P. 49—59.
19. Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // *Mineral. Mag.* 2004. V. 68. P. 209—215.
20. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N.J., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names // *Mineral. Mag.* 1997. V. 61. P. 295—321.
21. Marushchenko L.I., Baksheev I.A., Nagornaya E.V., Chitalin A.F., Nikolaev Yu.N., Vlasov E.A. Compositional evolution of the tetrahedrite solid solution in porphyry-epithermal system: A case study of the Baimka Cu-Mo-Au trend, Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2017. P. 21—37.
22. Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. Linkages between volcanotectonic settings, orefluid compositions, and epithermal precious metal deposits // *Soc. Econ. Geol. Spes. Publ.* 2003. V. 10. P. 315—343.
23. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // *Econ. Geol.* 2010. V. 105. P. 3—41.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Юсупова А.В. — внесла вклад в обработку и анализ минералогических данных и в создание графической информации, подготовила текст статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Бакшеев И.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Кошлякова Н.Н. — внесла вклад в обработку и анализ электронно-микроскопических исследований минералов и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alena V. Yusupova — contributed to the processing and analysis of geological and geochemical data and to the creation of graphical information, prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ivan A. Baksheev — contributed to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Natalia N. Koshlyakova — contributed to the processing and analysis of electron microscopic studies of minerals and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Юсупова Алена Викторовна* — аспирант кафедры минералогии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (929) 647-88-03
e-mail: yusupovalena.v@gmail.com

Бакшеев Иван Андреевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (965) 227-68-61
e-mail: iab_68@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6920-427X>

Кошлякова Наталья Николаевна — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (915) 233-44-53
e-mail: nkoshlyakova@gmail.com

Alena V. Yusupova* — PhD student, Department of Mineralogy, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (929) 647-88-03
e-mail: yusupovalena.v@gmail.ru

Ivan A. Baksheev— candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor, Department of Mineralogy, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (965) 227-68-61
e-mail: iab_68@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6920-427X>

Nataliaya N. Koshlyakova — candidate of geological and mineralogical sciences, lead engineer, Department of Petrology and Volcanology, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (915) 233-44-53
e-mail: nkoshlyakova@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author