



Научная статья

УДК 553.08+553.2

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-235-245>

Стадийность образования рудных минералов участка Средний Многовершинного месторождения

Галина Дмитриевна Мальцева^a, Марина Владиславовна Яхно^b,
Раиса Николаевна Иванова^c, Галина Николаевна Буруева^d

^{a-c}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

^dСН Голд Майнинг-Кыра – обособленное подразделение ООО «СН Голд Майнинг», с. Кыра, Россия

Автор, ответственный за переписку: Иванова Раиса Николаевна, ivanova_rn@ex.istu.edu

Резюме. Золоторудное месторождение Многовершинное (Хабаровский край, Россия) на сегодняшний день является значимым промышленным объектом, на котором постоянно проводятся работы по приросту запасов за счет установления новых объектов в пределах рудного поля и разведки глубоких горизонтов. Цель представленного исследования заключалась в изучении стадийности образования рудных минералов одного из участков месторождения, а также выявлении минералогических и структурно-текстурных особенностей руд. Методы минералого-петрографического изучения вещественного состава руд широко применяются в геологической практике и позволяют устанавливать вещественные особенности исследуемых объектов, определять ход процесса рудообразования. Изучение типов руд проводилось с использованием микроскопа Olympus BX51. На основе авторских полевых наблюдений выполнено минералого-петрографическое изучение образцов руд и вмещающих пород участка Средний Многовершинного месторождения. Установлено несколько иное понимание стадийности образования рудной минерализации данного участка месторождения. В процессе исследования выявлено не менее трех этапов формирования вещественного комплекса данного участка месторождения. Первый этап – магматический, характеризующийся образованием пирита первой генерации. Второй – собственно рудный гидротермальный, в результате которого произошло формирование золотосульфидной минерализации: пирита второй генерации, халькопирита, магнетита, кюстелита. В конце второго этапа образовался жильный кварц – также с рудными минералами: пиритом, халькопиритом, магнетитом, незначительным количеством кюстелита и самородной медью. Третий этап – экзогенный, в ходе которого происходило формирование структур замещения и окисления с образованием гидроокислов железа. Исследования руд Многовершинного месторождения еще раз показали наличие полисульфидной многостадийной минерализации, которая развивалась в тесной связи с магматическим процессом. Знание стадийности образования месторождения является составной частью создания его геолого-структурных моделей, которые необходимы для повышения эффективности геолого-разведочных работ в пределах изучаемых объектов.

Ключевые слова: месторождение золота, минералого-петрографическое изучение руд, стадия образования минералов, кюстелит, халькопирит, пирит

Для цитирования: Мальцева Г. Д., Яхно М. В., Иванова Р. Н., Буруева Г. Н. Стадийность образования рудных минералов участка Средний Многовершинного месторождения // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 3. С. 235–245. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-235-245>.

Original article

Ore mineral formation stages of the Sredniy site (Mnogovershinnoye deposit)

Galina D. Maltseva^a, Marina V. Yakhno^b, Raisa N. Ivanova^c, Galina N. Burueva^d

^{a-c}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

^dSN Gold Mining-Kyra – a separate division of LLC SN Gold Mining, Kyra settlement, Russia

Corresponding author: Raisa N. Ivanova, ivanova_rn@ex.istu.edu

Abstract. The Mnogovershinnoye gold deposit (Khabarovsk Territory, Russia) today is a significant industrial facility, which features extension additions as a results of additional in-mine exploration of deep horizons and identification of new objects within the ore field. The purpose of this work is to study the formation stages of ore minerals of one of the deposit sites as well as to identify the mineralogical and structural-textural features of ores. The methods of mineralogical and petrographic study of the material composition of ores are widely used in geological practice and allow to determine the material features

© Мальцева Г. Д., Яхно М. В., Иванова Р. Н., Буруева Г. Н., 2022



of the studied objects as well as describe the ore formation process. The study of ore types was carried out using an Olympus BX51 microscope. Field observations performed by the authors served the base for the mineralogical and petrographic study of ore samples and host rocks of the Sredniy site of the Mnogovershinnoye deposit, which led to a slightly different understanding of formation stages of ore mineralization of this section of the deposit. The study revealed at least three formation stages of the material complex of this site of the deposit. The first stage is a magmatic one. It characterizes with the formation of pyrite of the first generation. The second stage is an ore hydrothermal one, as a result of which the gold-sulfide mineralization was formed including pyrite of the second generation, chalcopyrite, magnetite, kustelite. Gangue quartz was formed at the end of the second stage together with such ore minerals as pyrite, chalcopyrite, magnetite, and an insignificant amount of kustelite and native copper. The third stage is an exogenous one, during which substitution and oxidation structures were formed with iron hydroxide evolution. The studies of the ores of the Mnogovershinnoye deposit have shown once again the presence of polysulfide multistage mineralization, which had been developing in close connection with the magmatic process. Knowledge about the deposit formation stages is an integral part of the creation of geological and structural models of the deposit, which are necessary to increase the efficiency of geological exploration within the studied objects.

Keywords: gold field, mineralogical and petrographic study of ores, mineral formation stage, kustelite, chalcopyrite, pyrite

For citation: Maltseva G. D., Yakhno M. V., Ivanova R. N., Burueva G. N. Ore mineral formation stages of the Sredniy site (Mnogovershinnoye deposit). *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2022;45(3):235-245. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-235-245>.

Введение

Многовершинное месторождение (Хабаровский край, Россия) представлено сближенными крутопадающими золото-кварцевыми жилами и окварцованными зонами минерализации, тяготеющими к полосе развития разломов северо-восточного простирания [1–3].

По глубине формирования данное месторождение является переходным между близкими к поверхности месторождениями и месторождениями формации средних глубин. Его формирование происходило в крутозалегающих экранированных магмапроводящих и флюидопроводящих структурах под действием накопления и активного перемещения флюидов в тепловых полях субвулканических тел. Основной характеристикой его образования является наличие генетической связи с магматическими очагами и с вулканическими процессами [4].

Предыдущими исследованиями было установлено, что формирование руд месторождения происходило в несколько этапов [2, 5–7]. На первом этапе сформировались мощные жиллообразные тела с золотым оруденением, представленные двумя разновременными минеральными ассоциациями: кварц-адуляр-гидрослюдистой и золото-халькопирит-блеклорудной, а также сфалерит-теллуридной. На последующих этапах – скарновом и турмалиновом – сформировалась гнездовая и прожилковая минерализация, наложенная на руды первого этапа. Третий этап характеризуется развитием редкометалльной мине-

рализации. Последовательность формирования многостадийной минерализации нарушалась межстадийными и внутриминерализационными подвижками и перерывами.

Многостадийность рудообразования обусловила многочисленные парагенетические минеральные ассоциации (коих насчитывается, по сведениям разных авторов, от шести до восемнадцати) [2, 4–7]. Продуктивными на золото являются две ассоциации: золото-халькопирит-блеклорудная и золото-сфалерит-теллуридная [5]. Первая из них обнаруживает пространственную приуроченность к кварц-адуляр-гидрослюдистой, а вторая – преимущественно к кварц-родонит-карбонатной ассоциации. Большинство исследователей сходятся во мнении, что образование золоторудной минерализации происходило на завершающих этапах вулканизма в связи с формированием субвулканических и экстрезивных тел [2, 4–7]. Рудные тела размещаются в блоках пород [8], которые были интенсивно тектонически нарушены в дорудный период.

Проведенные авторами исследования изучения руд позволили несколько иначе посмотреть на процесс образования минералов рудной ассоциации в пределах изученного участка.

Материалы и методы исследования

Для минералого-петрографического изучения в ходе полевых работ были отобраны



представительные образцы руд и вмещающих пород на территории участка Средний Многовершинного месторождения. Исследования прозрачных и полированных шлифов (аншлифов) осуществлялось на базе кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета на микроскопе Olympus BX51 с использованием традиционных методик.

Результаты исследования и их обсуждение

Посредством изучения руд и вмещающих пород в прозрачных шлифах и полированных шлифах (аншлифах) было выявлено разнообразие их вещественных и структурных особенностей, а также генетических взаимоотношений породообразующих и рудных минералов. Оруденение в основном концентрируется в вулканогенных породах, в меньшей степени – в осадочных и интрузивных породах. Вмещающие рудные тела – эффузивы – представлены вулканитами среднего состава и их жерловыми и субвулканическими породами. Вмещающий комплекс пород претерпел многократный гидротермальный и контактовый метаморфизм, обусловленный неоднократным внедрением интрузивов. Собственно говоря, процесс дробления и метасоматоза вулканитов является дорудной стадией формирования оруденения.

Андезит имеет порфировую структуру (рис. 1, а, б) и состоит из плагиоклаза и вторичных минералов хлорита, кальцита и серицита. Структура породы порфировая, основная масса ортофировая. В андезите отмечается вкрапленность сульфидов. Вкрапленники представлены в основном плагиоклазом размером от 1 до 6 мм, он образует идиоморфные кристаллы таблитчатой формы. Плагиоклаз (см. рис. 1, б) встречается в виде таблитчатых удлиненных порфиров с полисинтетическим двойникованием размером 0,01–0,5×1,4 мм. Также плагиоклаз замещается серицитом (см. рис. 1, б), который представлен мелкочешуйчатым агрегатом размером примерно от 0,01 до 0,03 мм и развивается по плагиоклазам.

Хлорит (см. рис. 1, б) представлен мелкими неправильными чешуйками и листоватыми агрегатами размерами от 0,01 до 0,03 мм в ассоциации с мелкозернистым кальцитом. Хлорит образуется после кальцита и замещается кристаллами роговой обманки, иногда в структурах замещения встречается серицит. Эпидот (см. рис. 1, б) встречается в виде призматических, сплошных и зернистых агрегатов размером от 0,01 до 0,03 мм, ассоциируется с кальцитом и замещает кристаллы роговой обманки. Кальцит (см. рис. 1, б) представлен неправильными зернами размерами до 0,2 мм.

Таким образом, андезит сложен преимущественно микролитами полевого шпата с повсеместно наблюдаемыми расплывчатыми пятнами соссюрита. Метасоматоз в данных образцах проявляется в замещении оставшейся роговой обманки эпидотом и хлоритом, а плагиоклазов – серицитом.

Рудные минералы андезита представлены пиритом, халькопиритом, пирротинном, магнетитом, кюстелитом. Магнетит (рис. 1, с) встречается в виде мелких включений в пирите размером от 0,001 до 0,02 мм. Пирротин (см. рис. 1, с) с размерами зерен 0,01–0,07 мм относительно редок для описываемых руд, но, как правило, встречается в виде неравномерных зерен в пирите размером от 0,01 до 0,2 мм.

Кюстелит (см. рис. 1, с) – природный сплав золота и серебра, в котором преобладает серебро (примерно 70 %) – представлен мелкими округлыми зернами размером до 0,03 мм, которые образуются по халькопириту. Пирит (см. рис. 1, с) образует отдельные бласто зерна, мономинеральные зернистые агрегаты и полиминеральные сростки размером зерен от 0,01 до 0,2 мм, образующиеся в результате процессов замещения и перекристаллизации в твердом состоянии. Для пирита характерно ситовидное строение внутри кристаллов и зерен с включениями породообразующих минералов, халькопирита, магнетита, образующих пойкилитовую структуру. По трещинам катаклаза развиваются гидрооксиды железа.

Кроме того, в данном аншлифе пирит встречается в виде двух генераций. Первая генерация представлена бласто зернами катаклазированного пирита от 0,01 до 0,5 мм с тре-

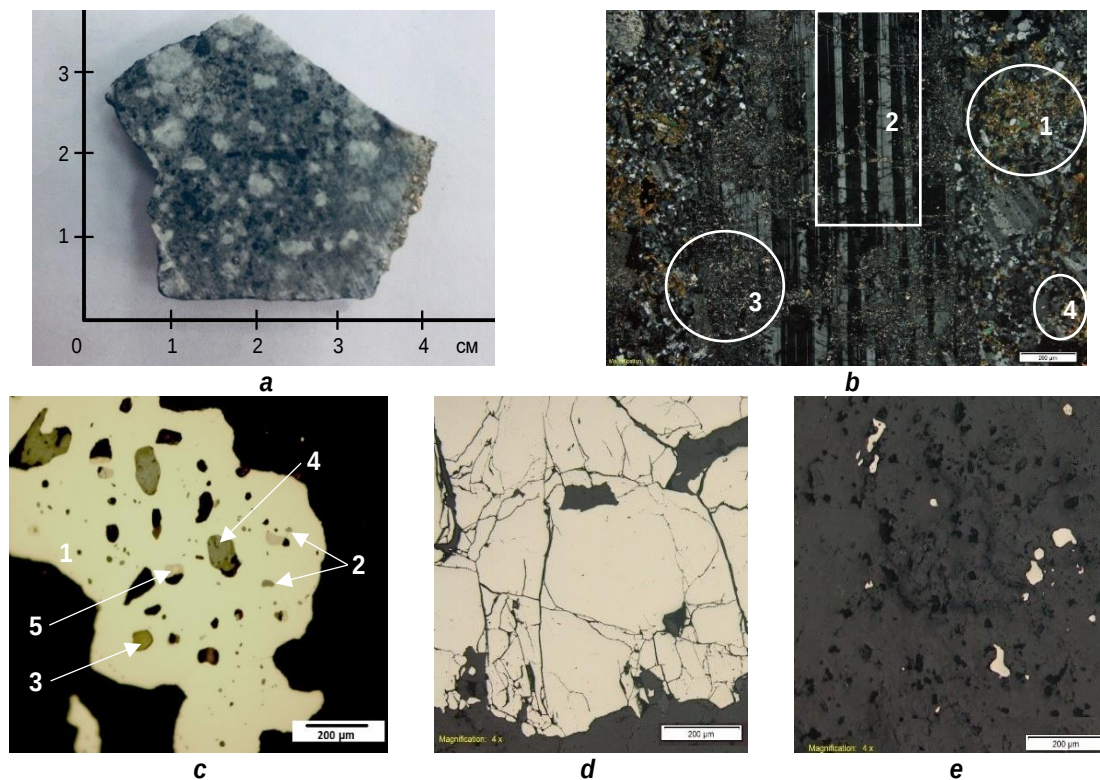


Рис. 1. Вещественный состав андезита:

a – андезит с порфировой структурой и сульфидной вкрапленностью (штупф); *b* – хлорит с эпидотом (1), плагиоклаз (2), серицит (3), кальцит (4) (прозрачный шлиф, николи +); *c* – пирит (1) с включениями магнетита (2), халькопирита (3), пирротина (4) и кюстелита (5) (полированный аншлиф); *d, e* – пирит во вмещающей породе: *d* – бластозерна пирита первой генерации, *e* – гипидиоморфные зерна пирита второй генерации (полированные аншлифы)

Fig. 1. The material composition of andesite:

a – andesite with the porphyry structure and sulfide inclusions (ore lump); *b* – chlorite with epidote (1), plagioclase (2), sericite (3), calcite (4) (thin section, nicols +); *c* – pyrite (1) with inclusions of magnetite (2), chalcopyrite (3), pyrrhotite (4), kuestelite (5) (thinned polished section); *d, e* – pyrite in the host rock: *d* – pyrite blastonodules of the first generation, *e* – hypidiomorphic pyrite nodules of the second generation (thinned polished sections)

щинами, по которым могут развиваться гидроокислы железа (рис. 1, *d*). Вторая генерация пирита проявляется в виде мелких гипидиоморфных зерен во вмещающей породе с размерами от 0,01 до 0,05 мм (см. рис. 1, *e*).

Рудная минерализация представлена жильным кварцем с сульфидами (пиритом и халькопиритом) (рис. 2, *a*), хлоритом и кальцитом, а также рудным минералом магнетитом. По трещинам отмечается лимонитизация – продукт окисления сульфидов. Текстура – прожилково-вкрапленная, структура – неравномерно зернистая. Вкрапленники сульфидов имеют размер от 1 до 5 мм. При анализе шлифов дополнительно выявлены порообразующие минералы, такие как серицит и эпидот.

Кварц (рис. 2, *b*) встречается в виде разнозернистых прожилков размером от 1 до 1,4 мм по ширине в сочетании с кальцитом и

эпидотом. Также в данном шлифе отмечают две генерации кварца. Первая генерация представлена прожилком гребенчатого кварца с тесно прижатыми друг к другу зернами размером 1,6×0,4 мм (см. рис. 2, *b*). Вторая генерация – это тонкозернистый кварц разного размера от 0,02 до 0,4 мм, который наблюдается в ассоциации с эпидотом, хлоритом, серицитом, кальцитом. Серицит в данном образце наблюдается в виде мелкочешуйчатого агрегата размерами от 0,01 до 0,03 мм, который полностью заменил плагиоклаз вместе с кальцитом и хлоритом (рис. 2, *c*). Хлорит представлен мелкими неправильными чешуйками и листоватыми агрегатами размерами от 0,01 до 0,15 мм в ассоциации с мелкозернистым кальцитом. Кальцит выполняет прожилки и зерна неправильной формы размерами 0,02–0,25×0,1 мм, наблюдается в ассоциации

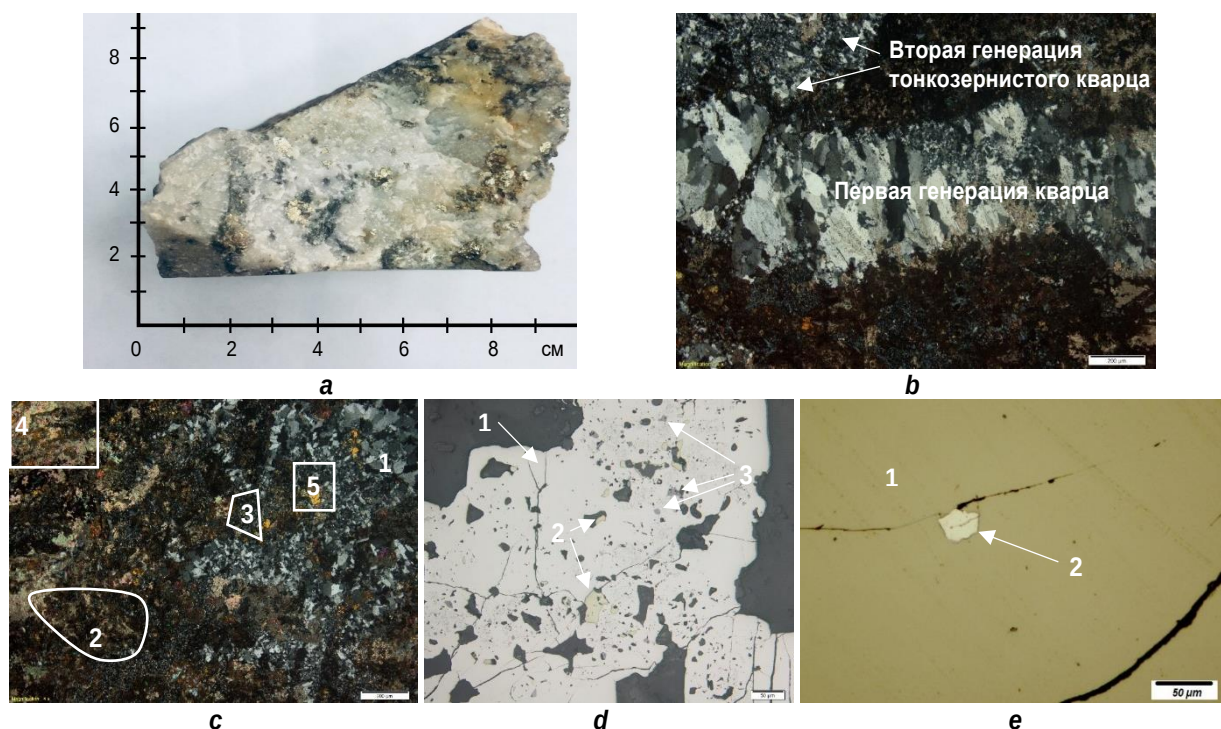


Рис. 2. Вещественный состав рудной жилы кварца:

a – жильный кварц с сульфидами (штуф); *b* – прожилок гребенчатого кварца первой генерации и тонкозернистый кварц второй генерации (прозрачный шлиф, николи +); *c* – кварц (1), серицит (2), хлорит (3), кальцит (4), эпидот (5) (прозрачный шлиф, николи +); *d* – бластозерно пирита (1) с включениями халькопирита (2) и магнетита (3) (полированный аншлиф); *e* – пирит (1) с включением кюстелита (2) (полированный аншлиф)

Fig. 2. The material composition of the quartz ore vein:

a – gangue quartz with sulfides (ore lump); *b* – veinlet of the comb quartz of the 1st generation and fine-grained quartz of the 2nd generation (thin section, nicols +); *c* – quartz (1), sericite (2), chlorite (3), calcite (4), epidote (5) (thin section, nicols +); *d* – pyrite blastonodule (1) with inclusions of chalcopyrite (2) and magnetite (3) (thinned polished section); *e* – pyrite (1) with kustelite inclusion (2) (thinned polished section)

с эпидотом. Образование кальцита происходило в одно время с хлоритом. Эпидот встречается в виде призматических, сплошных и зернистых агрегатов размерами от 0,01 до 0,05 мм в ассоциации с кальцитом (см. рис. 2, c).

Бластозерна пирита размерами 1×1,2 мм образовались в результате процессов замещения и перекристаллизации в твердом состоянии.

Пирит наблюдается с включениями халькопирита, магнетита, кюстелита, образующими пойкилитовую структуру (рис. 2, d). В отдельных образцах пирит замещается гидроксидами железа с образованием структур замещения. Обломки пирита в таких остатках образовались в процессе катаклаза и имеют остроугольную форму.

Халькопирит наблюдается в виде неправильных выделений размерами от 0,01 до

0,04 мм, которые выполняют промежутки между зернами породообразующих минералов. Магнетит образует петельчатые включения и зерна неправильной формы в бластокристаллах пирита (см. рис. 2, d) размерами от 0,01 до 0,03 мм. Данный факт свидетельствует о том, что он образовался позднее, чем пирит.

Из рудных минералов в изученных образцах жильного кварца встречается также кюстелит, который характеризуется белым цветом с легким желтоватым оттенком. Он представлен отдельными мелкими гипидиоморфными зернами размером 0,01×0,02 мм.

Кроме образцов, описание нами выше, в качестве примера по такой же методике были изучены другие образцы жильного кварца, в которых кроме стандартного набора сульфидов (рис. 3, a, b) обнаружена самородная медь (рис. 3, c).

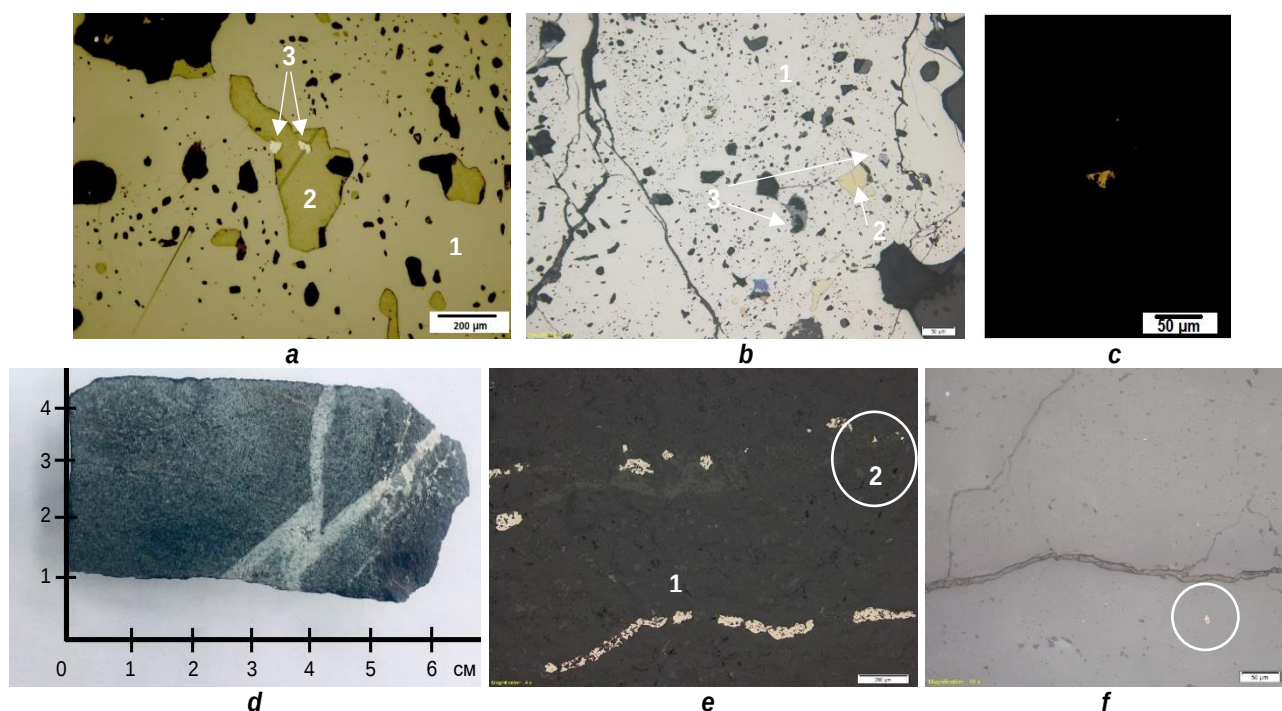


Рис. 3. Вещественный состав жильного кварца и порфирита:

*a, b – жильный кварц: а – бластонодула пирита (1) с включениями халькопирита (2) и кюстелита (3),
b – катаклазированный пирит (1) с включениями халькопирита (2) и магнетита (3) (полированные шлифы);
c – самородная медь (полированный шлиф); d – измененный порфирит с вкраплениями сульфидов (штуф);
e – пирит в виде прожилков (1), халькопирит (2) в порфирите (полированный шлиф);
f – пирит в виде реликтов в лимонитизированном жильном кварце (полированный шлиф)*

Fig. 3. The material composition of gangue quartz and porphyrite:

*a, b – gangue quartz: a – blastonodule of pyrite (1) with inclusions of chalcopyrite (2) and kustelite (3),
b – cataclased pyrite (1) with inclusions of chalcopyrite (2) and magnetite (3) (polished sections); c – native copper (polished section); d – altered porphyrite with sulfide inclusions (ore lump); e – pyrite in the form of veinlets (1),
chalcopyrite (2) in porphyrite (polished section); f – pyrite in relics form in limonitized vein quartz (polished section)*

Помимо прочего были изучены вмещающие породы, представленные измененным порфиритом с вкраплениями сульфидов (рис. 3, d) и прожилками пирита (рис. 3, e), замещающегося гидроокислами железа. Изучались измененные в гипергенных условиях образцы лимонитизированного кварца (рис. 3, f), в котором пирит наблюдается в виде реликтов и широко развиты процессы окисления сульфидов с образованием гидроокислов железа (лимонита и гидрогематита).

В процентном отношении в содержании рудных минералов преобладает пирит второй генерации (20–30 % от общего количества рудных образований), несколько в меньшем количестве наблюдается пирит первой генерации (15–20 %). Халькопирит, магнетит и пирротин в совокупности составляют не менее 10–15 %.

Собственно золотоносный минерал, представленный кюстелитом, в разных образцах

присутствует в количестве от 5 до 10 %.

Самородная медь является самым редко встречающимся объектом (0–5 %). Процентное содержание гипергенных минералов варьирует от 15 до 20 %.

Анализ полученных данных позволил установить для изученного участка общую схему образования минералов, которая включает не менее трех этапов (таблица). Первый этап – магматический – характеризуется образованием пирита первой генерации. Второй этап – собственно рудный гидротермальный – представлен двумя стадиями (второй и третьей) и проявлен в формировании золото-сульфидной минерализации.

На второй стадии образовался жильный кварц двух генераций с включениями кальцита, хлорита и рудными минералами: пиритом второй генерации, халькопиритом, магнетитом, кюстелитом, которые образовались в одно время. На третьей стадии образовался



Стадийность формирования рудных минералов участка Средний Многовершинного месторождения Formation stages of ore minerals of the Sredniy site (Mnogovershinnoye field)

Минерал	Процесс			
	Магматический	Гидротермальный		Экзогенный
	Этап I	Этап II		Этап III
	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3	Стадия 4
Пирит	—	—	—	
Халькопирит		—		
Магнетит		—		
Пирротин		—		
Кюстелит		—		
Медь самородная			—	
Гидрооксиды железа				— — — —
Текстура	Прожилково-вкрапленная			
Структура	Гипидиоморфная	Пойкилобластовая	Дробления	Замещения

жильный кварц также с рудными минералами: пиритом, халькопиритом, магнетитом, кюстелитом и самородной медью.

Третий этап (четвертая стадия) – экзогенный. Последующие преобразование происходило с формированием структур замещения и окисления ранее сформированных рудных минералов с образованием гидроокислов железа. В лимонитизированном кварце с включениями плагиоклаза наблюдается пирит в виде реликтов, а также тончайшие зерна халькопирита.

Многовершинное месторождение не является уникальным. Однотипный полисульфидный вещественный состав рудной ассоциации исследован на многих других объектах, например на золото-сульфидном месторождении Миндяк (Южный Урал, Россия), в котором наблюдается пирит различных генераций, а источник рудоносных флюидов установлен как магматический [9].

В рудном парагенезисе месторождения Туманного (Чукотский полуостров, Россия) присутствуют два сульфидных рудоносных комплекса в кварцевых жилах и прожилках с присутствием пирита двух генераций, арсенопирита, кюстелита [10]. Рудные тела золото-серебряного месторождения Роговик (центральная часть Охотско-Чукотского вулканического пояса, Россия) сложены кварцем, в котором самородное серебро наблюдается в ассоциации с кюстелитом, пиритом и другими минералами [11].

К полисульфидным многостадийным золоторудным месторождениям относятся также многие зарубежные объекты, например ме-

сторождения Радка (Болгария) [12] и Чартерс-Тауэрс (штат Квинсленд, северо-восток Австралии) [13]. Многостадийными полисульфидными являются золотоносные объекты металлогенической провинции Родоп (Северная Греция), которые характеризуются отложением руд в гидротермальных брекчиях и жилах [14]. В парагенезисе оруденения тектонической структуры в Биримииане (Западная Африка) золото также коррелирует с обилием сульфидов (пирит, халькопирит, арсенопирит) [15, 16]. Кроме отчетливой генетической связи рудообразующих процессов с глубинными магматическими источниками, которая характерна также и для месторождения Многовершинного [4, 7, 8], на большинстве перечисленных объектов и на ряде других устанавливается структурный контроль оруденения.

На месторождении Миндяк (Южный Урал, Россия) структурный контроль оруденения связан со сдвиговыми деформациями [9]. Золоторудная минерализация Пенджомского месторождения (Центральный пояс полуостровной Малайзии) доминирует в структурно контролируемых кварцево-карбонатных жилах, в которых наблюдается переотложение рудного вещества в пластично-хрупком режиме [17]. Структурный контроль характерен также для золоторудного месторождения Сабодала (Западная Африка) [15, 16], золотоносной сдвиговой зоны района Дунгаш (Центрально-Восточная пустыня, Египет) [18], района Бостонского золоторудного месторождения (вулканический пояс Хоуп-Бей, Нунавут, Канада) [19].



В связи с вышеизложенными данными о сложности указанных объектов на Многовершинном месторождении в целом, а также на отдельных его участках в частности для решения задачи оптимизации поисково-разведочных работ на флангах и глубоких горизонтах, по всей видимости, необходимы не только отдельные структурные или петрографические исследования, но и их взаимовыгодное совмещение с целью создания объемных структурно-вещественных моделей месторождений.

Использование таких моделей делает возможными более точные прогнозные построения, учитывающие сложность многостадийных месторождений, таких как Многовершинное и другие вышеупомянутые.

Заключение

В большинстве фондовых материалов существовали представления о трехстадийном процессе образования минералов рудной ассоциации Многовершинного месторождения. Генезис самого золотоносного оруденения связывается в большей степени с гидротермальными процессами. Анализ материалов минералого-петрографического изучения собственных отобранных образцов позволил авторам данного исследования установить четырехстадийную схему образования, в которой выделен магматический этап, предшествующий собственно рудному многостадийному гидротермальному процессу. Его вещественным выражением является наличие пирита первой генерации, не содержащего золота. Андезит-гранодиоритовая ассоциация пород месторождения характеризуется повышенной концентрацией некоторых элементов, таких как медь, серебро, железо, свинец, что,

возможно, позволило образоваться сульфидам, но золота и серы среди них нет. Значит, сера и золото участвовали в минералообразовании на последующих гидротермальных этапах.

В то же время в предложенной схеме (см. таблицу) отсутствует поздняя гидротермальная стадия, которая многими исследователями установлена на других участках рассматриваемого месторождения [4, 5, 7]. Данный факт, скорее всего, свидетельствует о том, что на отдельных участках месторождения процессы рудообразования могли протекать по собственному сценарию, отличающемуся от общего. Подобная ситуация сложилась при анализе структурно-вещественных комплексов эпitherмального золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка, Россия) [20], в результате чего была предложена новая версия генезиса, которая позволяет ожидать нахождения крупных рудных тел и богатых руд на данном объекте.

Проведенные исследования руд Многовершинного месторождения еще раз показали наличие полисульфидной многостадийной минерализации, которая развивалась в тесной связи с магматическим процессом и стала производной этой магмы. Знание стадийности образования руд является составной частью создания геолого-структурных моделей. Дальнейшее изучение структурно-вещественных комплексов месторождения может позволить существенно корректировать планы поисковых, поисково-оценочных и разведочных работ, повысить их эффективность на основании определения более точной морфологии рудных тел и их вещественного состава по отношению к выявленным этапам рудообразования.

Список источников

1. Моисеенко В. Г., Эйриш Л. В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.
2. Варгунина Н. П., Константинов М. М., Косовец Т. Н., Стружков С. Ф., Сынгаевский Е. Д., Шишаква Л. Н. Золото-серебряные месторождения. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 2000. 239 с.
3. Золоторудные месторождения России / отв. ред. М. М. Константинов. М.: Акварель, 2010. 365 с.
4. Остапенко Н. С., Нерода О. Н. Некоторые особенности формирования месторождений золота Хаканджа, Многовершинное и Белая гора (Россия) // Между-

народный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-1. С. 148–153.

5. Fats'yanov I. I., Khomich V. G., Boriskina N. G. Hidden mineralogical and geochemical zonation of low-sulfide gold-silver mineralization (Mnogovershinnoe deposit, Lower Amur area) // Doklady Earth Sciences. 2010. Vol. 435. P. 1456–1459. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10110103>.

6. Вартанян С. С., Новиков В. П. Золото-серебряные месторождения вулканоплутонических поясов // Руды и металлы. 2015. № 1. С. 14–29.

7. Khomich V. G., Boriskina N. G., Fatyanov I. I., San-



tosh M. Characteristics and genesis of the Mnogovershinnoe gold-silver deposit, SE Russia // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 103. P. 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.017>.

8. Сластиков В. В. Структура водораздельной рудной зоны Многовершинного месторождения золота: данные по открытым горным выработкам и керну скважин // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327. № 4. С. 130–141.

9. Знаменский С. Е., Мичурин С. В. Условия образования золото-сульфидного месторождения Миндяк (Южный Урал): структурные и изотопно-геохимические аспекты // *Литосфера*. 2013. № 4. С. 121–135.

10. Baksheev I. A., Vlasov E. A., Nikolaev Y. N., Krivitskaya N. N., Koshlyakova N. N., Nagornaya E. V., et al. Mineralogy of the Tumanny Au-Ag-Te-Hg epithermal veins, Western Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 101. P. 293–311. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.06.021>.

11. Kravtsova R. G., Tauson V. L., Palyanova G. A., Makshakov A. S., Pavlova L. A. Specific composition of native silver from the Rogovik Au-Ag deposit, Northeastern Russia // *Geology of Ore Deposits*. 2017. Vol. 59. Iss. 5. P. 375–390. <https://doi.org/10.1134/S1075701517050038>.

12. Kouzmanov K., Ramboz L., Bailly L. Genesis of high-sulfidation vinciennite-bearing Cu-As-Sn ($\pm$ Au) assemblage from the Radka epithermal copper deposit, Bulgaria: evidence from mineralogy and infrared microthermometry of enargite // *The Canadian Mineralogist*. 2004. Vol. 42. Iss. 5. P. 1501–1521. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.42.5.1501>.

13. Kreuzer O. P., Blenkinsop T. G., Morrison R. J., Peters S. G. Ore controls in the Charters Towers goldfield, NE Australia: constraints from geological, geophysical and numerical analyses // *Ore Geology Reviews*. 2007. Vol. 32. Iss. 1–2. P. 37–80. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.12.001>.

14. Voudouris P., Melfos V., Vavelidis M., Arikas K. Genetic relation between the Tertiary porphyry Cu-($\pm$ Mo) and the epithermal Au-($\pm$ Ag) deposits in the Rhodope metallogenic province, Thrace region, Northern Greece // *Mineral Exploration and Sustainable Development: proceedings of the 7th Biennial SGA*. Athens, 2003. P. 541–544.

15. Dabo M., Aïfa T., Miyouna T., Diallo D. A. Gold mineralization paragenesis to tectonic structures in the Birimian of the eastern Dialé-Daléma Supergroup, Kédougou-Kéniéba Inlier, Senegal, West African Craton // *International Geology Review*. 2016. Vol. 58. Iss. 7. P. 807–825. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1123121>.

16. Sylla S., Gueye M., Ngom P. M. New approach of structural setting of gold deposits in Birimian volcanic belt in West African Craton: the example of the Sabodala gold deposit, SE Senegal // *International Journal of Geosciences*. 2016. Vol. 7. Iss. 3. P. 440–458. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.73034>.

17. Endut Z., Ng T. H., Aziz J. H. A., Teh G. H. Structural analysis and vein episode of the Penjom gold deposit, Malaysia: implications for gold mineralisation and tectonic history in the Central Belt of Malaysia // *Ore Geology Reviews*. 2015. Vol. 69. P. 157–173. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.02.012>.

18. Kassem O. M. K., Abd El Rahim S. H. Finite strain analysis of the volcanics and metapyroclastics in goldbearing shear zone of the Dungash area, Central Eastern Desert, Egypt // *Geotectonics*. 2014. Vol. 48. Iss. 6. P. 483–495. <https://doi.org/10.1134/S0016852114060041>.

19. Sherlock R. L., Sandeman H. A. Volcanic stratigraphy and structural geology of the area of the Boston gold deposit, Hope Bay volcanic belt, Nunavut // *Geological Survey of Canada*. 2004. <https://doi.org/10.4095/215377>.

20. Остапенко Н. С., Нерода О. Н. К генезису золото-серебряного месторождения Купол (северо-восток России) // *Отечественная геология*. 2020. № 4–5. С. 39–47. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2020-10022>.

References

1. Moiseenko V. G., Eirish L. V. *Gold deposits in the East of Russia*. Vladivostok: Dal'nauka; 1996. 352 p. (In Russ.).

2. Vargunina N. P., Konstantinov M. M., Kosovets T. N., Struzhkov S. F., Syngaevskii E. D., Shishakova L. N. *Gold and silver fields*. Moscow: Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals; 2000. 239 p. (In Russ.).

3. Konstantinov M. M. *Gold deposits of Russia*. Moscow: Akvarel'; 2010. 365 p. (In Russ.).

4. Ostapenko N. S., Neroda O. N. Some features of gold deposits formation of Khakanja, Mnogovershinnoye and Belaya Gora (Russia). *Mezhdunarodnyi nauchno-isledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2019;12-1:148-153. (In Russ.).

5. Fats'yanov I. I., Khomich V. G., Boriskina N. G. Hidden mineralogical and geochemical zonation of low-sulfide gold-silver mineralization (Mnogovershinnoe deposit, Lower Amur area). *Doklady Earth Sciences*. 2010;435:1456-1459. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10110103>.

6. Vartanyan S. S., Novikov V. P. Au-Ag deposits of volcanoplutonic belts. *Rudy i metally = Ores and Metals*. 2015;1:14-29. (In Russ.).

7. Khomich V. G., Boriskina N. G., Fatyanov I. I., Santosh M. Characteristics and genesis of the Mnogovershinnoe gold-silver deposit, SE Russia. *Ore Geology Reviews*. 2018;103:56-67. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.017>.

8. Slastnikov V. V. Structure of vodorazdelnaya ore zone of Mnogovershinnoye (MNV) gold deposit: data on open surface workings and diamond drilling core. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2016;327;4:130-141. (In Russ.).

9. Znamensky S. E., Michurin S. V. Conditions of formation of Mindyak gold-sulfide deposit (Southern Ural): structural and isotopic-geochemical aspects. *Litosfera = Lithosphere (Russia)*. 2013;4:121-135. (In Russ.).

10. Baksheev I. A., Vlasov E. A., Nikolaev Y. N., Krivitskaya N. N., Koshlyakova N. N., Nagornaya E. V., et al. Mineralogy of the Tumanny Au-Ag-Te-Hg epithermal



veins, Western Chukchi Peninsula, Russia. *Ore Geology Reviews*. 2018;101:293-311. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.06.021>.

11. Kravtsova R. G., Tauson V. L., Palyanova G. A., Makshakov A. S., Pavlova L. A. Specific composition of native silver from the Rogovik Au-Ag deposit, Northeastern Russia. *Geology of Ore Deposits*. 2017;59(5):375-390. <https://doi.org/10.1134/S1075701517050038>.

12. Kouzmanov K., Ramboz L., Bailly L. Genesis of high-sulfidation vinciennite-bearing Cu-As-Sn ($\pm$ Au) assemblage from the Radka epithermal copper deposit, Bulgaria: evidence from mineralogy and infrared microthermometry of enargite. *The Canadian Mineralogist*. 2004;42(5):1501-1521. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.42.5.1501>.

13. Kreuzer O. P., Blenkinsop T. G., Morrison R. J., Peters S. G. Ore controls in the Charters Towers goldfield, NE Australia: constraints from geological, geophysical and numerical analyses. *Ore Geology Reviews*. 2007;32(1-2):37-80. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.12.001>.

14. Voudouris P., Melfos V., Vavelidis M., Arikas K. Genetic relation between the Tertiary porphyry Cu-($\pm$ Mo) and the epithermal Au-($\pm$ Ag) deposits in the Rhodope metallogenic province, Thrace region, Northern Greece. In: *Mineral Exploration and Sustainable Development: proceedings of the 7th Biennial SGA*. Athens; 2003, p. 541-544.

15. Dabo M., Aïfa T., Miyouna T., Diallo D. A. Gold mineralization paragenesis to tectonic structures in the Bi-

rimian of the eastern Dialé-Daléma Supergroup, Kédougou-Kéniéba Inlier, Senegal, West African Craton. *International Geology Review*. 2016;58(7):807-825. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1123121>.

16. Sylla S., Gueye M., Ngom P. M. New approach of structural setting of gold deposits in Birimian volcanic belt in West African Craton: the example of the Sabodala gold deposit, SE Senegal. *International Journal of Geosciences*. 2016;7(3):440-458. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.73034>.

17. Endut Z., Ng T. H., Aziz J. H. A., Teh G. H. Structural analysis and vein episode of the Penjom gold deposit, Malaysia: implications for gold mineralisation and tectonic history in the Central Belt of Malaysia. *Ore Geology Reviews*. 2015;69:157-173. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.02.012>.

18. Kassem O. M. K., Abd El Rahim S. H. Finite strain analysis of the volcanics and metapyroclastics in goldbearing shear zone of the Dungash area, Central Eastern Desert, Egypt. *Geotectonics*. 2014;48(6):483-495. <https://doi.org/10.1134/S0016852114060041>.

19. Sherlock R. L., Sandeman H. A. Volcanic stratigraphy and structural geology of the area of the Boston gold deposit, Hope Bay volcanic belt, Nunavut. In: *Geological Survey of Canada*. 2004. <https://doi.org/10.4095/215377>.

20. Ostapenko N. S., Neroda O. N. On the genesis of the gold-silver deposit Kupol (north-east of Russia). *Otechestvennaya Geologiya = National Geology*. 2020;4-5:39-47. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2020-10022>.

Информация об авторах / Information about the authors



Мальцева Галина Дмитриевна,

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
профессор кафедры прикладной геологии,
геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
galmalceva47@yandex.ru.

Galina D. Maltseva,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Professor of the Department of Applied Geology,
Geophysics and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
galmalceva47@yandex.ru.



Яхно Марина Владиславовна,

старший преподаватель кафедры прикладной геологии,
геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
ymar@istu.edu.

Marina V. Yakhno,

Senior Lecturer of the Department of Applied Geology,
Geophysics and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
ymar@istu.edu.



Иванова Раиса Николаевна,

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
доцент кафедры прикладной геологии,
геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
ivanova_rn@ex.istu.edu.

Raisa N. Ivanova,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Applied Geology,
Geophysics and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
ivanova_rn@ex.istu.edu.



Бурueva Галина Николаевна,

геолог первой категории,
СН Голд Майнинг-Кыра – обособленное подразделение ООО «СН Голд Майнинг»,
с. Кыра, Россия,
burueva.galya@yandex.ru.

Galina N. Burueva,

1st Category Geologist,
SN Gold Mining-Kyra – a separate division of LLC SN Gold Mining,
Kyra settlement, Russia,
burueva.galya@yandex.ru.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 17.06.2022; одобрена после рецензирования 22.07.2022; принята к публикации 25.08.2022.

The article was submitted 17.06.2022; approved after reviewing 22.07.2022; accepted for publication 25.08.2022.