




DOI 10.22363/2312-8143-2021-22-3-305-316
УДК 552.086+552

Научная статья / Research article


Минералого-петрографическая характеристика вмещающих пород железо-скарнового рудопроявления Первая Рудная Горка, Полярный Урал

Е.С. Иванова ^a , Ю.Н. Иванова ^{b,c} 

^aИнститут геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

^bИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук,
Москва, Россия

^cРоссийский университет дружбы народов, Москва, Россия

 ekate.s.ivanova@gmail.com

История статьи

Поступила в редакцию: 14 июля 2020 г.
Доработана: 25 сентября 2020 г.
Принята к публикации: 8 октября 2020 г.

Ключевые слова:

Полярный Урал, метасоматическая зональность, железо-скарновые рудопроявления, золоторудные месторождения

Аннотация. Рассмотрены минералого-петрографические особенности метаморфических образований железо-скарнового проявления Первая Рудная Горка, локализованного в Конгорском рудном районе Войкарской зоны Полярного Урала. Приведена типизация вмещающих пород данного проявления по минеральному составу, включая его самые дальние фланги. Выполнен сравнительный анализ изучаемого проявления и месторождения Новогоднее-Монто, который показал схожие минеральный состав, структурно-текстурные особенности пород и общее геологическое строение объектов. Установлен близкий состав их скарновых образований, вмещающих золото-сульфидно-магнетитовое оруденение, а также аналогичные соотношения с интрузивными комплексами (собским, конгорским и мусюрским) и разломами северо-западного направления. При помощи оптической микроскопии впервые выявлены и детально охарактеризованы изменения пропилитовой формации на рудопроявлении Первая Рудная Горка, свидетельствующие о масштабном региональном предрудном метасоматозе. В рудном поле установлена следующая метасоматическая зональность минеральных парагенезисов (от внутренней зоны к внешней) актинолит + эпидот → хлорит + актинолит + эпидот → хлорит + эпидот. Полученные данные можно использовать как дополнительный критерий для прогнозирования золоторудной минерализации на прилегающих территориях.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 18-05-70041 «Ресурсы Арктики», а также при поддержке базовой темы Госзадания ИГЕМ РАН. Авторы выражают благодарность доктору геолого-минералогических наук И.В. Викентьеву за организацию полевых исследований и полезные рекомендации при написании рукописи.

Для цитирования

Иванова Е.С., Иванова Ю.Н. Минералого-петрографическая характеристика вмещающих пород железо-скарнового рудопроявления Первая Рудная Горка, Полярный Урал // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 3. С. 305–316. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-3-305-316>

© Иванова Е.С., Иванова Ю.Н., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>


Mineralogical and petrographic characteristics of the host rocks of the Pervaya Rudnaya Gorka Fe-skarn ore occurrence

Ekaterina S. Ivanova ^a , Julia N. Ivanova ^{b,c} 

^a*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia*

^b*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^c*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*

 ekate.s.ivanova@gmail.com

Article history

Received: July 14, 2020

Revised: September 25, 2020

Accepted: October 8, 2020

Keywords:

Polar Urals, metacomatic zoning, Fe-skarn ore occurrence, gold deposits

Abstract. The article discusses the mineralogical and petrographic features of the metamorphic formations of the poorly studied and promising the Pervaya Rudnaya Gorka Fe-skarn ore occurrence (Kongor ore region), localized in the Voikar, and the typification of host rocks by mineral composition. In order to clarify the ore-forming affiliation of the Pervaya Rudnaya Gorka ore occurrence, the comparative analysis was carried out with the reference to well-studied Novogodnee-Monto Au-Fe-skarn deposit (Toupuhol-Khanmeishor ore region), which showed similar mineral composition, structural and texture features and geological structure of ore objects. According to the results of studies, a close composition of the enclosing volcanic-sedimentary rocks, in particular the skarn formations, containing the gold-sulfide-magnetite mineralization at the Novogodnee-Monto ore deposit; connection with the same intrusive complexes (Sob', Kongor, and Musyur) and faults of the north-western direction. Using the microscopic method of research, the changes in the propylite formation area at the Pervaya Rudnaya Gorka ore occurrence, indicating a large-scale regional pre-ore metasomatism, were first identified and described in detail. The following metasomatic zonation (from the inner to the outer zone): actinolite + epidote → chlorite + actinolite + epidote → chlorite + epidote was been established at the ore field. Based on the obtained research results, it is concluded that the poorly studied territories of the Polar Urals are promising.

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research project No. 18-05-70041 “Arctic Resources” and by the basic project of scientific program of IGEM RAS. We are grateful to I.V. Vikentyev for organizing field research and for useful discussion.

For citation

Ivanova ES, Ivanova JN. Mineralogical and petrographic characteristics of the host rocks of the Pervaya Rudnaya Gorka Fe-skarn ore occurrence. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(3):305–361. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-3-305-316>

Введение

Труднодоступные северные территории Урала остаются малоизученными, что обуславливает большое количество неочцененных золоторудных проявлений и единичных промышленных объектов [1]. На сегодняшний день на Полярном Урале известно всего два относительно крупных золоторудных месторождения: золото-железо-скарновое Новогоднее-Монто и золото-порфировое Петропавловское (Топугол-Ханмейшорский рудный район). Актуальность исследований обусловлена необходимостью изучения новых золоторудных месторождений для расширения минерально-сырьевой базы страны. В 30 км на юго-восток от

месторождений локализовано железо-скарновое рудопроявление Первая Рудная Горка, находящееся в Конгорском рудном районе. Рудный объект расположен в среднем течении р. Харматалоу и, по данным [2], является перспективным на выявление золотого оруденения.

В ходе полевых работ 2018 и 2019 гг. отобраны образцы вмещающих пород и метасоматитов с данного рудопроявления. Цели исследования – типизация метаморфических процессов и оценка характера метасоматического и метаморфического преобразования вулканогенных пород проявления Первая Рудная Горка для уточнения рудоформационной принадлежности объекта, а также прогноза подобных объектов в регионе.

1. Позиция и геологическая характеристика рудопроявления Первая Рудная Горка

Рудопроявление Первая Рудная Горка локализовано среди палеозойских островодужных образований (рис. 1) в северной части Войкарской зоны Полярного Урала. Эта зона простирается в северо-северо-восточном направлении более чем на 250 км в виде узкой полосы шириной 10–40 км. В ее северо-западной части присутствуют преимущественно позднеордовикские океанические образования (Войкарская офиолитовая ассоциация); в юго-восточной части – выделяется полоса, сложенная островодужными породами (Малоруальская вулканоплутоническая ассоциация).

Эти образования являются северным продолжением структур Тагильской зоны Среднего и Северного Урала. Рудопроявление Первая Рудная Горка расположено в зоне экзоконтакта ранне-среднедевонских островодужных монзонитоидов конгорского комплекса с верхнеордовикскими островодужными метабазами устьконгорской свиты [3–5]. Палеоокеанические образования Войкарской зоны на северо-западе по Главному Уральскому разлому граничат с палеозойскими и позднепротерозойскими палеоконтинентальными образованиями Западно-Уральской мегазоны, а с юго-востока они перекрыты мощным мезозойско-кайнозойским осадочным чехлом Западно-Сибирской плиты [6].

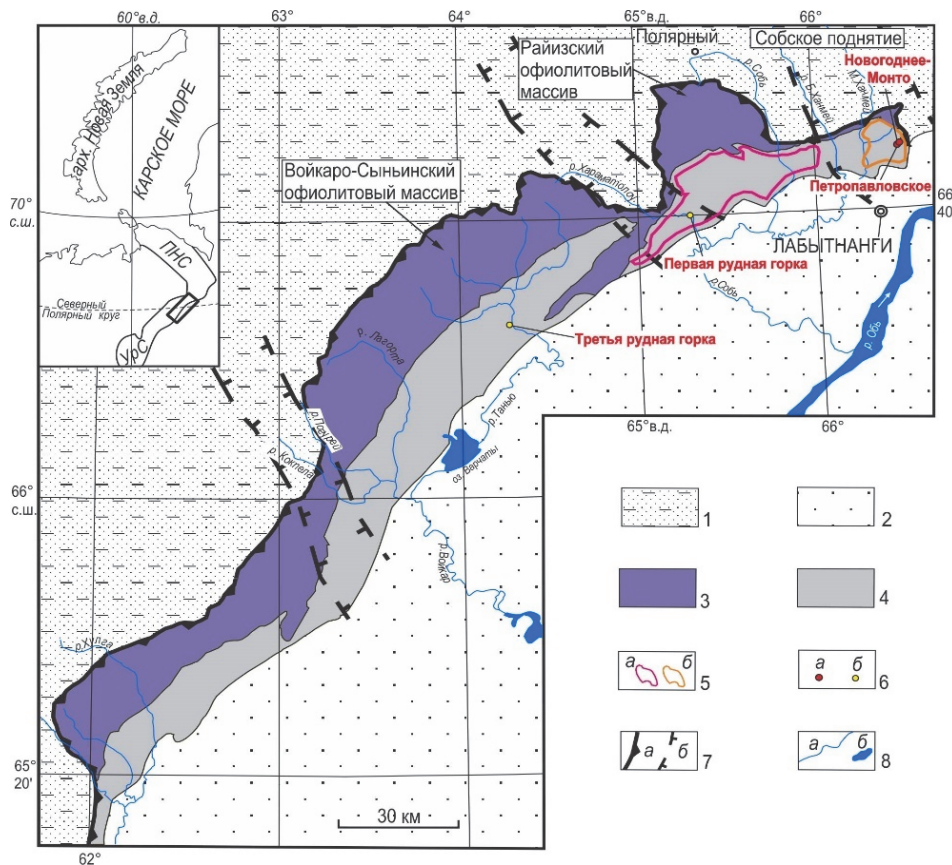


Рис. 1. Положение Конгорского и Топугол-Ханмейшорского рудных районов в структурах Полярного Урала.

Тектоническая основа по [7; 8] с изменениями:

на врезке: УрС – Уральское складчато-надвиговое сооружение, ПНС – Пайхойско-Новоземельское складчато-надвиговое сооружение, прямоугольником показано расположение Войкарской зоны; 1 – позднекембрийские и палеозойские образования Западно-Уральской мегазоны; 2 – мезо-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 3–4 – образования Войкарской зоны: 3 – преимущественно ордовикские метаморфизованные гипербазиты и габброиды, 4 – ордовикско-девонские магматические и осадочно-вулканогенные образования; 5 – месторождения (а), рудопроявления (б); 6 – разломы: а – Главный Уральский надвиг, б – северо-западные зоны нарушения; 7 – водоемы: а – реки, б – озера; 8 – рудные районы: а – Конгорский, б – Топугол-Ханмейшорский

Figure 1. The position of the Kongor and Toupugol-Khanmeishor ore districts in the structures of the Polar Urals.

Tectonic basis according to [7; 8] with changes:

on the inset: УрС – Ural folding-thrust structure, ПНС – Paykhoy-Novaya Zemlya folding-thrust structure; the rectangle shows the location of the Voikar zone; 1 – late Precambrian and Paleozoic series of the West-Ural megazone; 2 – Meso-Cenozoic cover of the West-Siberian Plate; 3–4 – complexes of the Voikar zone: 3 – mainly Ordovician metamorphosed hyperbasites and gabbroids, 4 – Ordovician-Devonian igneous and sedimentary-volcanic series; 5 – deposits (a), ore occurrences (b); 6 – faults: a – the Main Ural thrust, b – north-western fault zones; 7 – water reservoirs: a – rivers, b – lakes; 8 – ore districts: a – Kongor, b – Toupugol-Khanmeishor

Таблица 1

Сопоставление рудопроявления Первая Рудная Горка с месторождением Новогоднее-Монто

Признаки сравнения	Рудные объекты	
	Месторождение Новогоднее-Монто	Рудопроявление Первая Рудная Горка
Рудный район	Тоупугол-Ханмейшорский	Конгорский
Геодинамическая обстановка	Островодужная	Островодужная
Рудоконтролирующие структуры	Брахисинклиналь, осложненная северо-западными и восток-северо-восточными разломами	Складчато-разрывные нарушения северо-западной ориентировки
Тип месторождения (проявления)	Золото-железо-скарновый	Железо-скарновый
Рудоносные формации	Базальт-андезиобазальтовая	Базальт-плагиориолитовая; базальт-андезиобазальтовая
Вмещающие комплексы	Вулканогенные, карбонатные, вулканогенно-осадочные	Вулканогенные, карбонатные, вулканогенно-осадочные
Связь с магматизмом	Тесная: собский; конгорский; мусюрский комплексы	
Метаморфическая фация	Пренит-пумпеллитовая	Зеленосланцевая
Метасоматические преобразования	Скарнирование, пропилизация, березитизация	Скарнирование, хлоритизация, серицитизация
Рудная минерализация	Золото-сульфидно-магнетитовая, золото-сульфидно-кварцевая	Магнетитовая
Текстуры руд	Прожилково-вкрапленная, пятнисто-вкрапленная, полосчато-пятнистая, массивная	Вкрапленная
Главные минералы руд	Пирит, магнетит, галенит, халькопирит, кобальтин, пирротин	Магнетит, пирит, халькопирит

Table 1

Comparison of the Pervaya Rudnaya Gorka ore occurrence and the Novogodnee-Monto ore deposit

Signs of comparison	Ore objects	
	The Novogodnee-Monto ore deposit	The Pervaya Rudnaya Gorka ore occurrence
Regional position	Malouralsky VPB	
Ore district	Тоупугол-Ханмейшорский	Kongor
Geodynamic situation	Island arc	Island arc
Ore-control structures	Brachisyncline, complicated by north-west and east-north-east faults	Folding faults of north-west orientation
Type of deposit	Au-Fe-skarn	Fe-skarn
Ore-bearing formation	Basalt-andesibasalt	Basalt-plagiioriolit, basalt-andesibasalt
Enclose complexes	Volcanogenic, carbonate, volcanogenic-sedimentary	Volcanogenic, carbonate, volcanogenic-sedimentary
Connection with magmatism	Close: Sob ³ , Kongor, Musyur complexes	
Metamorphic facies	Prehnite-pumpellyite	Greenschist
Metasomatic alterations	Skarn, propylitization, beresitization	Skarn, chloritization, sericitization
Ore mineralization	Gold-sulfide-magnetite, gold sulfide-quartz	Magnetite
Structures of ores	Veinlet-disseminated, spotted, streaky-spotted, massive	Interspersed
Main minerals of ores	Pyrite, magnetite, galena, chalcopyrite, cobalte, pyrrhotite	Magnetite, pyrite, chalcopyrite

В результате анализа литературы [1; 2; 6; 9] можно констатировать следующее.

1. Контактново-метасоматическая минерализация в Войкарской СФЗ образуется при участии процессов скарнирования под влиянием тоналитов собского комплекса, специализированного на золото [2]. По мнению Е.В Черняева [9], соб-

ский комплекс имеет отношение исключительно с магнетитовыми известковыми скарнами. Тогда как золотое оруденение и пропилиты, содержащие высокопробное золото, с ним не связаны, а золото-сульфидно-кварцевая минерализация в кварц-серицитовых породах контролируется дайками мусюрского комплекса, широко развитыми за

пределами Тоупугол-Ханмейшорского рудного района, в том числе на территории рудопроявления Первая Рудная Горка [9]. В то же время, по нашим наблюдениям и данным [1], раннекаменноугольные образования мусюрского комплекса пересекают рудные тела без сопутствующих гидротермальных изменений, опровергая возможность синхронного им золотого оруденения. Таким образом, к образованию кварц-серицитовых метасоматитов, вмещающих на территории Новогодненского рудного поля прожилково-вкрапленное золото-сульфидно-кварцевое оруденение, привело внедрение малых интрузий конгорского комплекса, в том числе за счет перераспределения ранней сульфидной минерализации [1].

2. На примере западной части месторождения Новогоднее-Монто наблюдается связь золотого оруденения с тектоническими зонами субмеридиональной ориентировки. Золоторудная минерализованная зона месторождения Петропавловское локализована в основном над апикальной частью крупного диоритового массива собского комплекса, в то время как залежи рудопроявления Первая Рудная Горка – в самих диоритах его апикальной части. Зона минерализации месторождения представлена серией сближенных продольных кулис, имеющих субмеридиональное направление, причем большая часть руды приурочена к породам вулканогенно-осадочной толщи [6]. Рудоконтролирующие структуры рудопроявления Первая Рудная Горка представлены складчато-разрывными нарушениями субмеридионального северо-западного (СЗ) простирания. Обращает на себя внимание, что подобная же система разломов контролирует распространение продуктивных кварц-серицитовых образований на месторождениях Петропавловское и Новогоднее-Монто.

3. Породы вулканогенно-осадочной толщи рассматриваемых рудных объектов подвержены активному влиянию гидротермально-метасоматических процессов, среди которых особое распространение получили скарнирование, хлоритизация и березитизация. На рудопроявлении Первая Рудная Горка метасоматические образования представлены в основном пироксен-гранат-эпидотовыми скарнами, вмещающими вкрапленное магнетитовое оруденение. Образования этого объекта схожи по составу с известковыми скарнами месторождения Новогоднее-Монто, к которым приурочена вкрапленная золото-сульфидно-магнетитовая минерализация. Главные рудные минералы зо-

лото-сульфидно-магнетитового комплекса представлены магнетитом, пиритом и халькопиритом. При этом для выявления золотого оруденения особое внимание следует уделять выделениям пирита, с дефектами которого связано самородное золото, и халькопирита, цементирующего пирит.

4. Метаморфические преобразования зеленокаменного типа, встречающиеся исключительно на рудопроявлении Первая Рудная Горка, являются близкими по минеральному составу к пропилинтам с некоторыми исключениями. На месторождении Петропавловское хлоритовые образования характеризуются низкими содержаниями пирита и золота, однако присутствие альбита в метасоматитах прямо связано с их повышенной золотосодержимостью. В настоящий момент вопрос разделения пропицитов и зеленокаменных пород требует более подробного изучения.

5. Кварц-серицитовые изменения на месторождениях связаны с золото-малосульфидно-кварцевой стадией рудообразования и характеризуются высокими средними содержаниями золота, за счет наложения на более ранние малопродуктивные образования [1]. Такие образования приурочены к ослабленным зонам смятия и кулиснообразным разломам. В то же время на рудопроявлении Первая Рудная Горка серицитизация имеет ограниченное распространение по зонам трещиноватости в породах вулканогенно-осадочной толщи.

Таким образом, сравнительный геологический анализ рудных объектов показал, что рудопроявление Первая Рудная Горка имеет схожее строение с месторождением Новогоднее-Монто по следующим признакам: 1) связь с конгорским комплексом, контролирующим золото-сульфидно-кварцевое оруденение; 2) подобная рудоконтролирующая система разломов северо-западного простирания; 3) близкий минеральный состав скарнов; 4) схожее расположение кварц-серицитовых образований в пространстве. Рудопроявление обладает благоприятными условиями для обнаружения золотого оруденения.

2. Минералого-петрографическая характеристика вмещающих пород проявления Первая Рудная Горка

К формированию метаморфических образований за счет перекристаллизации первичных горных пород приводит изменение термодинамических условий. По геологическому масшта-

бу проявлений наибольшие территории охватывает региональный тип преобразований, являющийся результатом одновременного воздействия температуры, литостатического давления и стресса. На площади рудопоявления Первая Рудная Горка выявлена низкая степень регионального метаморфизма, особое распространение получили зеленокаменные породы. Выделено несколько типов пород со следующими характерными ведущими минеральными ассоциациями: хлорит + актинолит + эпидот, хлорит + эпидот, актинолит + эпидот.

Наибольшее распространение получили породы с *хлорит-актинолит-эпидотовым* парагенезисом вторичных минералов. Под воздействием низких температур они сохраняют реликты первичного строения горных пород, тем самым отражая их историю происхождения. Структура пород выделенной группы, вероятно, является реликтовой структурой вулканогенно-осадочных пород. Преобладает мелкозернистая лепидогранобластовая структура (рис. 2, а), представленная новообразованными изометричными зернами кварца и эпидота, а также развитием хаотично ориентированных чешуек хлорита. В некоторых случаях отмечается бластопорфировая структура, где в качестве реликтовых отмечены вкрапленники плагиоклаза, слагающего в метавулканитах крупные таблитчатые кристаллы. Текстура в основном массивная, реже наблюдается сланцеватая, встречается волнисто-слоистая с элементами полосчатой (рис. 2, б), обусловленная чередованием ярко окрашенных зеленых удлиненных однонаправленных скоплений актинолита, хлорита и эпидота с кварц-карбонатными полосами. Минеральный состав определяется преобладающим развитием новообразованных минералов – эпидота (30 об. %), хлорита (20 об. %), кварца (15 об. %), актинолита (10 об. %), кальцита (10 об. %), стильномелана (5 об. %) и лейкоксена (менее 1 об. %), реликтовые минералы встречаются редко – кварц (5 об. %) и плагиоклаз (5 об. %).

По всей площади шлифов встречается желтовато-зеленый эпидот в виде рассеянных мелких зерен, более крупные индивиды редко образуют скопления и прожилки мощностью до 0,2 мм. Мелкие изометричные кристаллы формируют мелкопрожилковую сеть.

Хлорит представлен хаотично ориентированными чешуйчатыми индивидами, формирующими лусчатые скопления, слагает хлорит-актинолитовые

прожилки и окаймляет эпидотовые прожилки (мощность каймы до 0,05 мм) (рис. 2, в). Буровато-зеленый хлорит замещает первичные темноцветные минералы вулканитов.

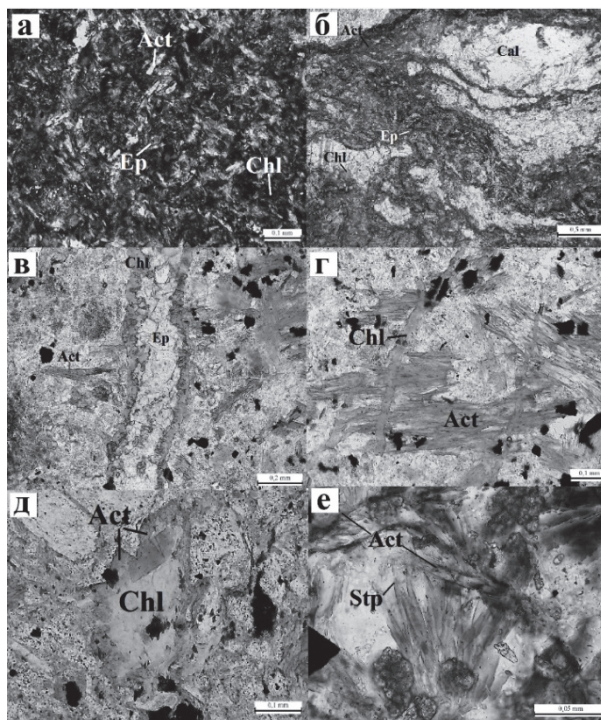


Рис. 2. Петрографические особенности хлорит-актинолит-эпидотовых пород:

с анализатором: а – лепидогранобластовая структура; без анализатора: б – волнисто-слоистая текстура с элементами полосчатой, в – хлорит в зальбандах эпидотового прожилка, г – волокнистый агрегат актинолита, д – псевдоморфное замещение актинолита тонкочешуйчатым агрегатом хлорита, е – радиально-лучистый агрегат стильномелана; Act – актинолит; Cal – кальцит; Chl – хлорит; Ep – эпидот; Stp – стильномелан
Figure 2. Petrographic features of chlorite-actinolite-epidote rocks: with an analyzer: a – lepidogranoblast structure; without analyzer: б – wavy-layered texture with strip elements, в – chlorite in the selvage of the epidote vein, г – fibrous actinolite aggregate, д – pseudomorphic substitution of actinolite with a thin-skinned chlorite aggregate, е – radial stilpnomelane aggregate; Act – actinolite; Cal – calcite; Chl – chlorite; Ep – epidote; Stp – stilpnomelane

Актинолит распространен в виде крупных «обломков», реже наблюдаются деформированные изогнутые зерна, подверженные замещению хлоритом, а также представлен мелкими игольчатыми нитевидными ориентированными выделениями (рис. 2, г). Совместно с хлоритом образует псевдоморфозы по темноцветным минералам, иногда отмечается замещение актинолита тонкочешуйчатым агрегатом хлорита (рис. 2, д). Часто в подчиненном количестве входит в состав хлорит-актинолитовых прожилков.

Стильномелан представлен удлиненными листоватыми индивидами с интенсивной бурой

окраской и высокими цветами интерференции. Биотитоподобный минерал образует беспорядочно ориентированные чешуйки по всей площади породы, средний размер которых составляет 0,05×0,1 мм, часто слагает радиально-лучистые агрегаты (рис. 2, е).

Плагиоклаз (андезин) слагает крупные таблитчатые, реже удлиненно-призматические кристаллы, представляя собой реликты порфировых вкрапленников. Мелкие лейсты плагиоклаза редко отмечаются в составе основной массы, поскольку большая часть зерен подвержена зеленокаменным изменениям.

Кварц распространен в виде мелких идиоморфных зерен совместно с кальцитом, нередко чередуется с зонами распространения минеральной массы хлорит-актинолит-эпидотового состава. Наряду с новообразованными зеленокаменными минералами слагает общую ткань породы.

Кальцит отмечается довольно редко, развивается совместно с кварцем в виде линзовидных образований.

Лейкоксен – вторичный минерал, представленный тонкими желтовато-рыжими выделениями вблизи рудных минералов, реже образует собственные выделения до 0,01×0,03 мм.

Несколько реже встречаются породы *хлорит-эпидотового* состава. В отличие от хлорит-актинолит-эпидотовых разностей, метаморфизм слабее затронул рассматриваемые породы. Структура пород лепидогранобластовая, реже бластопорфировая (рис. 3, а), обусловленная распространением линзовидных существенно кварцевых образований. Текстура массивная, реже сланцеватая с элементами полосчатой (рис. 3, б), где поочередно сменяются слабоокрашенные прослои карбонатного состава и зеленоватые – эпидотового (кварц и хлорит встречаются в каждом слое в различных пропорциях), в единичных случаях – флюидальная. Породы слагают новообразованные минералы – хлорит (30 об. %), эпидот (25 об. %), кварц (25 об. %), кальцит (10 об. %) и лейкоксен (менее 1 об. %), реже встречаются реликтовые минералы, в основном представленные плагиоклазом (менее 1 об. %).

Хлорит, со слабым плеохроизмом от бледно-зеленого до желтовато-зеленого цвета, распространен в виде тонкочешуйчатых скоплений неправильной формы, средний размер которых составляет 0,5×0,8 мм. В мелкозернистой кварцевой массе встречаются его однонаправленно ориен-

тированные выделения совместно с эпидотом. В некоторых случаях хлорит связан с рудными образованиями, вокруг которых минерал формирует каемки с аномальной фиолетово-коричневой интерференционной окраской, больше характерной для железистых разностей. Редко хлорит распространен в виде радиально-лучистых игольчатых, зачастую изогнутых индивидов (рис. 3, в), отмечается также в виде мелких кристаллов таблитчатого габитуса, размер которых варьирует от 0,005×0,02 мм, преобладает до 0,06×0,1 мм. Более крупные индивиды тяготеют к прожилкам кварц-эпидотового состава, реже к скоплениям рудного минерала.

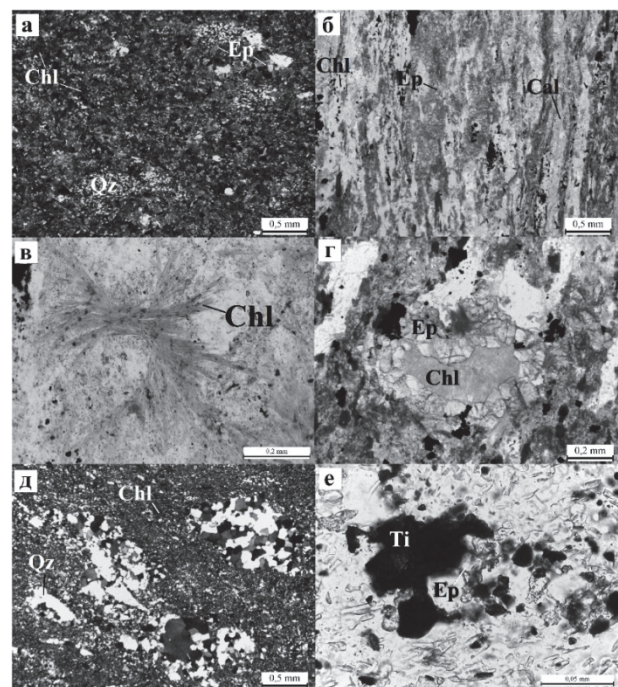


Рис. 3. Петрографические особенности пород хлорит-эпидотового состава: с анализатором: а – бластопорфировая структура, д – линзовидные скопления перекристаллизованного кварца; без анализатора: б – полосчатая текстура, в – радиально-лучистые изогнутые индивиды хлорита, г – реликтовая миндалекаменная текстура: центральную часть миндалины выполняет хлорит, а краевую – идиоморфные кристаллики эпидота; е – выделения лейкоксена неправильной формы; Qz – кварц; Ti – лейкоксен

Figure 3. Petrographic features of the chlorite-epidote rocks: with an analyzer: а – blastoporphoric structure, д – lenticular clusters of recrystallized quartz; without analyzer: б – banded texture, в – radial curved individuals of chlorite, г – relict almond-stone texture: the central part of the amygdala is performed by chlorite, and the marginal – idiomorphic epidote crystals; е – irregular form of leucoxene; Qz – quartz; Ti – leucoxene

Эпидот представлен короткопризматическими кристаллами, размер которых достигает 0,1×0,2 мм, реже индивидами удлиненно-призматического габитуса (до 0,25×1,1мм), иногда образует каемки

вокруг выделений хлорита неправильной формы (до 0,2 мм), выполняя совместно с ним мелкие миндалины (рис. 3, *з*). Преимущественно распространен в виде мономинеральных эпидотовых прожилков (до 0,3 мм), реже входит в состав кварц-эпидотовых прожилков.

Кварц встречается как в основной массе в виде мелких зерен неправильной формы, так в качестве более крупных «вкрапленников». «Вкрапленники» ориентированы, имеют вытянутую линзовидную форму и сложены мелкозернистыми кристаллами кварца (рис. 3, *д*). Происхождение образований такого рода является дискуссионным, предположительно они образованы в результате рекристаллизации (грануляции) бывших фенокристаллов. Породу пересекают прожилки кварцевого и кварц-эпидотового (до 0,4 мм) состава.

Плагиоклаз является довольно редким минералом – иногда наблюдается в основной массе в виде единичных мелких зерен неправильной формы (до 0,05×0,15 мм), в единичном случае отмечается удлиненное зерно в качестве вкрапленника.

Лейкоксен представлен рыжеватыми выделениями (рис. 3, *е*), приуроченными к скоплениям рудных минералов, редко наблюдается связь с образованиями эпидота, в единичных случаях слагает тонкие прожилки мощностью до 0,01 мм.

Актинолит-эпидотовые метаморфиты характеризуются лепидогранобластовой структурой (рис. 4, *а*), редко отмечается бластопорфировая. Текстура массивная. Данный тип метаморфических образований наиболее широко проявлен среди выделенных групп. Состав пород представлен новообразованными минералами – актинолитом (40 об. %), эпидотом (30 об. %), кварцем (15 об. %), пумпеллиитом (5 об. %), кальцитом (5 об. %) и лейкоксеном (менее 1 об. %).

Почти бесцветный актинолит отличается слабым плеохроизмом до бледно-зеленого цвета и представлен удлиненно-призматическими кристаллами. Часто актинолит формирует зоны беспорядочно ориентированных игольчатых кристаллов мощностью до 2,25 мм, в ряду случаев радиально-лучистые сноповидные выделения (рис. 4, *б*), плеохроирующие от яркого желтовато-зеленого до насыщенного сине-зеленого цвета. Средний размер зерен в составе скоплений составляет 0,04×0,22 мм.

Эпидот получил особое распространение вблизи трещин. Размер кристаллов коротко-призматического габитуса достигает 0,04×0,08 мм. Плеохроизм наблюдается от бесцветного до желтоватого. Входит в состав кварц-эпидотовых прожилков. Вблизи некоторых скоплений рудного минерала отмечаются рыжеватые каемки, обусловленные развитием лейкоксена (рис. 4, *з*), к ним также приурочены выделения эпидота.

ческого габитуса достигает 0,04×0,08 мм. Плеохроизм наблюдается от бесцветного до желтоватого. Входит в состав кварц-эпидотовых прожилков. Вблизи некоторых скоплений рудного минерала отмечаются рыжеватые каемки, обусловленные развитием лейкоксена (рис. 4, *з*), к ним также приурочены выделения эпидота.

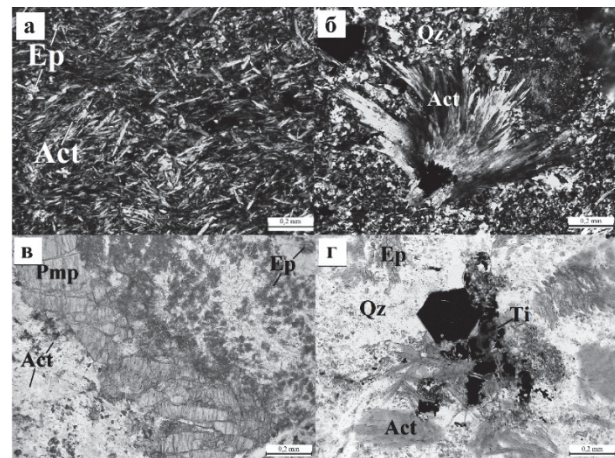


Рис. 4. Петрографические особенности актинолит-эпидотовых метаморфитов: с анализатором: *а* – лепидогранобластовая структура, *б* – сноповидные выделения игольчатого актинолита; без анализатора: *в* – трещиноватое зерно пумпеллиита неправильной формы, *г* – выделения лейкоксена неправильной формы, приуроченные к рудным образованиям; *Pmp* – пумпеллиит
Figure 4. Petrographic features of actinolite-epidote rocks: with an analyzer: *a* – lepidogranoblast structure, *b* – sheaf needle actinolite isolation; without analyzer: *в* – fractured grain of pumpellyite, *г* – irregular form of leukocene related with ore; *Pmp* – pumpellyite

Пумпеллиит встречается редко в виде крупных трещиноватых зерен неправильной формы (рис. 4, *в*), в единичных случаях наблюдаются кристаллы таблитчатого габитуса (до 1,25×2,1 мм). Отмечается слабый плеохроизм от желтоватого до зеленоватого оттенка, а также аномальные синие цвета интерференции.

Кварц составляет кварц-эпидотовые (до 0,05 мм) и кварцевые (до 0,25 мм) прожилки. В бластопорфировой структуре имеет место в качестве вкрапленников неправильной формы, а также в основной массе.

Кальцит формирует собственные прожилки и образует вытянутые линзы, размер которых достигает 0,5×2,75 мм.

Плагиоклаз отмечается в единичных случаях, в качестве вкрапленников удлиненно-призматического габитуса.

3. Интерпретация результатов

Низкотемпературные метаморфические образования зеленосланцевой фации близки по минеральному составу к пропилитам [6; 10; 11]. Зеленокаменные породы отличаются по составу более разнообразными минеральными ассоциациями, структурно-текстурными особенностями, в первую очередь чаще развитой сланцеватой

текстурой, а также обширной распространенностью этого типа изменений. Зеленокаменные преобразования имеют площадной характер, который находится в малой зависимости от развития тектонических нарушений и субвулканических образований. Однако до сих пор проведение четкой границы разделения пропилитов и зеленокаменных пород является дискуссионным [8; 12; 13].

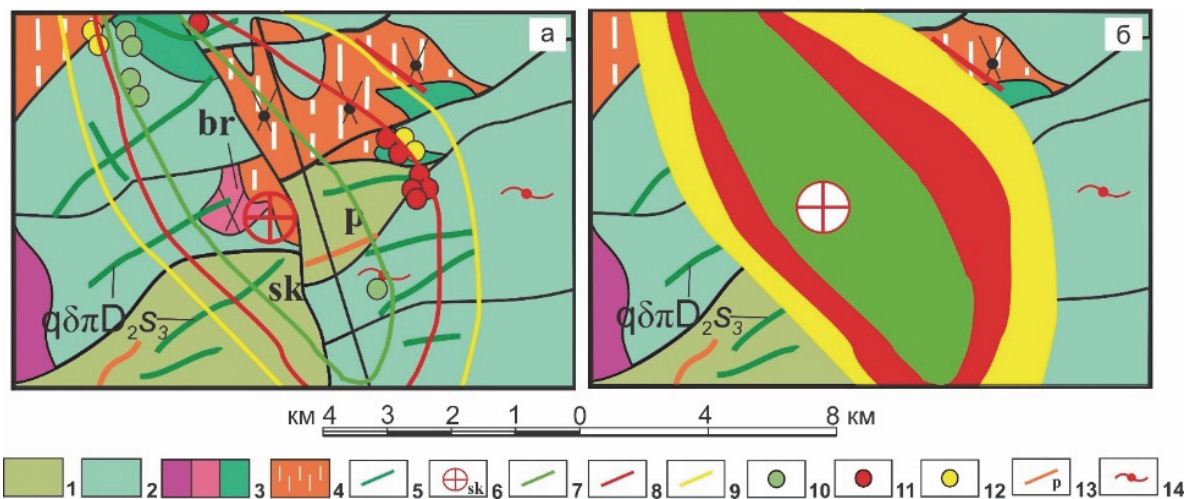


Рис. 5. Схема зональности развития ассоциаций вторичных минералов проявления Первая Рудная Горка.

Геологическая основа [2] с изменениями:

а – схема в линиях; б – схема с заливками: 1 – лавы и кластолавы базальтов и андезибазальтов, 2 – базальты, 3 – собский комплекс, 4 – конгорский комплекс, 5 – мусюрский комплекс, 6 – позиция проявления Первая Рудная Горка, 7–9 – границы предполагаемой зональности минеральных ассоциаций: 7 – актинолит + эпидот, 8 – хлорит + актинолит + эпидот, 9 – хлорит + эпидот; точки отбора проб по минеральному составу: 10–12 – области преобладающего развития (по точкам отбора изученных шлифов): 10 – актинолит-эпидотовых пород, 11 – хлорит-актинолит-эпидотовых пород, 12 – хлорит-эпидотовых пород; 13 – линейные зоны метасоматически измененных пород: пропилиты, березиты (br); 14 – зеленосланцевая фация

Figure 5. The zoning scheme for the development of associations of secondary minerals the Pervaya Rudnaya Gorka ore occurrence.

Geological basis [2] with changes:

а – scheme in lines; б – scheme with fills: 1 – lavas and clastolaves of basalts and andesibasalts, 2 – basalts, 3 – Sobsky complex, 4 – Kongorsky complex, 5 – Musyursky complex, 6 – position of the Pervaya Rudnaya Gorka ore occurrence, 7–9 – the borders of supposed zonality of mineral associations: 7 – actinolite + epidote, 8 – chlorite + actinolite + epidote, 9 – chlorite + epidote; sampling points for mineral composition: 10–12 – areas of predominant development (by points of sampling of studied thin section): 10 – actinolite-epidote rocks, 11 – chlorite-actinolite-epidote rocks, 12 – chlorite-epidote rocks; 13 – linear zone of metasomatic rocks: propyl, beresotes (br); 14 – green shale facies

На рудопроявлении Первая Рудная Горка распространены несколько минеральных типов пород: хлорит-актинолит-эпидотовые, хлорит-эпидотовые и актинолит-эпидотовые. Породы объединяет во многом схожее строение: новообразованная лепидогранобластовая структура, реже встречается первичная бластопорфировая, а также характерные текстуры – массивная, волнисто-слоистая с элементами полосчатой, вызванная неравномерным распределением окрашенных минералов, реже флюидалная. Минеральный состав зеленокаменных пород схож с пропилитами, за исключением преобладающего развития кварца в метаморфитах, обусловленного обычно существенно более кислым составом протолита, сравнительно широкого развития лейкоксена, образованного в резуль-

тате изменения титаномагнетита, а также ограниченным распространением стилипномелана и пумпеллиита. В свою очередь пумпеллиит, отмечающийся в актинолит-эпидотовой разности пород, говорит о повышенном давлении, которое не достигалось в пропилитах. Однако возможна синвулканическая пропилитизация вулканитов, обусловленная повышенной фугитивностью CO₂ гидротермальных флюидов [11]. В то же время сланцеватость в зеленокаменных породах не всегда служит признаком метаморфизма, поскольку отчасти является реликтовой текстурой, унаследованной от слоистости вулканогенно-осадочных пород [14].

Важно отметить, что одним из характерных признаков пропилитов является зональность. В свою

очередь, на рудопроявлении Первая Рудная Горка прослеживается латеральная зональность, вероятно, обусловленная снижением температуры. Это подтверждает предположение о гидротермально-метасоматической природе образований. Данная территория была затронута процессом пропилитизации, и развитие получила следующая зональность: актинолит + эпидот → хлорит + актинолит + эпидот → хлорит + эпидот (рис. 5).

Заключение

Метаморфические образования на рудопроявлении Первая Рудная Горка представлены следующими типами: хлорит-актинолит-эпидотовыми, хлорит-эпидотовыми и актинолит-эпидотовыми породами, характеризующимися лепидогранобластовой структурой, реже – реликтовой бластопорфировой, а также массивной, волнисто-слоистой с элементами полосчатой текстурой. Минеральный состав пород определяется преобладающим развитием новообразованных минералов: эпидота (до 30 об. %), хлорита (до 20 об. %), актинолита (до 10 об. %), кварца (10 об. %), кальцита (10 об. %), стильпномелана (до 5 об. %), пумпеллиита (до 5 об. %) и лейкоксена (менее 1 об. %), реликтовые минералы встречаются редко – кварц (5 об. %) и плагиоклаз (5 об. %).

На рудопроявлении установлено площадное развитие процесса пропилитизации, представленного латеральной зональностью, обусловленной понижением температуры воздействующих на породы растворов. Метасоматическая колонка представляет следующую последовательность изменений минеральных парагенезисов (от внутренней зоны к наружной): актинолит + эпидот → хлорит + актинолит + эпидот → хлорит + эпидот. Отличия минерального состава выделенных пропилитов говорят о фациальном разнообразии региона. Гидротермально-метасоматические изменения пропилитовой формации являются одним из важнейших региональных признаков рудоносности, свидетельствующих о масштабном предрудном метасоматозе.

По результатам комплексных минералого-петрографических и геологических исследований выявлены схожие минеральный состав, структурно-текстурные особенности и геологическое строение проявления Первая Рудная Горка и месторождения Новогоднее-Монто. Схожее строение объектов обусловлено как близким составом исходных вмещающих вулканогенно-осадочных

пород, так и скарновых образований. Они связаны с одинаковыми интрузивными комплексами и разломами северо-западного направления, а также характеризуются близкой позицией кварц-серицитовых образований в пространстве. Все это делает исследуемый объект перспективным на обнаружение золотой минерализации. Следовательно, железорудное проявление Первая Рудная Горка целесообразно рассматривать как перспективный объект для поисков золотого оруденения.

Полученные результаты исследований можно использовать как дополнительный критерий для прогнозирования золоторудной минерализации на прилегающих территориях.

Список литературы

1. Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Соболев И.Д., Абрамова В.Д., Выхристенко Р.И., Хубанов В.Б., Трофимов А.П., Грознова Е.О., Двуреченская С.С., Кряжев С.Г. Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541. <http://doi.org/10.7868/S001677701706003X>
2. Кучерина П.М., Попов И.И., Прямоносов А.П., Крашенинников А.Л., Крашенинникова Л.И., Перминов И.Г., Цвигун Л.Н., Гаптулкадыров М.М., Мустакимова Е.А. Геологическое строение и полезные ископаемые северо-западной части Войкарского синклинория, площади массива Рай-Из и его обрамления 1:50000: информационный отчет: в 2 т. Пос. Полярный: ПУГРЭ, 1991. Т. 1. 431 с.
3. Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Бороздина Г.Н. Стратотип устьконгорской свиты Войкарской СФЗ (Восточный склон Полярного Урала) // Уральский геологический журнал. 2010. № 3 (75). С. 11–14.
4. Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоратина О.В., Канева Т.А., Куликова К.В., Викентьев И.В., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Хоуриган Дж.К. Первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из палеозойских островодужных обломочных пород Полярного Урала // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2017. Т. 92. Вып. 4. С. 3–26.
5. Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоратина О.В., Варламов Д.А., Хоуриган Дж.К., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Соболева Д.А. Девонский островодужный магматизм Войкарской зоны Полярного Урала // Геотектоника. 2018. № 5. С. 39–74.
6. Волчков А.Г., Гирфанов М.М., Кряжев С.Г., Андреев А.В., Черемсин А.А., Мансуров Р.Х., Двуреченская С.В., Зеликсон Б.С., Сапожников В.Г. Положение проявлений золоторудной минерализации Тоупул-Ханмейшорского рудного узла в рудовмещающих

комплексах, их минералого-геохимическая характеристика и сопоставление с эталонными объектами Новогодненского рудного поля // Отчет по договору № 94д. М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2008.

7. Шишкин М.А., Астапов А.П., Кабатов Н.В., Казак А.П., Колесник Л.С., Котельников В.Г., Кудрин Е.Н., Лихотин В.Г., Митюшева В.С., Молчанова Е.В., Попов М.Я., Попов П.Е., Пухонто С.К., Ремизов Д.Н., Савенкова Г.Б., Файбусович Я.Э., Черкашин А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (3-е поколение) // Сер. Уральская. Лист Q-41 (Воркута). Об. зап. / под ред. В.П. Водолазкой. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.

8. Зылева Л.И., Коновалов А.Л., Казак А.П., Жданов А.В., Коркунов К.В., Денисов В.А., Новикова Л.П., Румянцева Н.А., Черепанов Ю.П., Черкашин А.В., Хрякова Л.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (3-е поколение) // Сер. Зап.-Сибирская. Лист Q-42 (Салехард). Об. зап. / под ред. А.В. Жданова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.

9. Черняев Е.В., Черняева Е.И., Седельников А.Ю. Геология золото-скарнового месторождения Новогоднее-Монто (Полярный Урал) // Скарны, их генезис и рудоносность (Fe, Cu, Au, W, Sn): XI Чтения А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2005. С. 131–137.

10. Русинов В.Л. Геологические и физико-химические закономерности пропилитизации. М.: Наука, 1972. 204 с.

11. Русинов В.Л. Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука, 1989. 213 с.

12. Метасоматизм и метасоматические породы / под ред. В.А. Жарикова, В.Л. Русинова. М.: Научный мир, 1998. 492 с.

13. Марин Ю.Б. Петрография. СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. 408 с.

14. Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S. Geology, mineralization, stable isotope geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit, Polar Ural, Russia // Mineralium Deposita. 2013. Vol. 48. No 5. Pp. 603–627.

References

1. Vikentyev IV, Mansurov RKh, Ivanova YuN, Tukova EE, Sobolev ID, Abramova VD, Vykhristenko RI, Trofimov AP, Khubanov VB, Groznova EO, Dvurechenskaya SS, Kryazhev SG. Porphyry-style Petropavlovskoe Gold deposit, the Polar Urals: geological position, mineralogy, and formation conditions. *Geology of Ore Deposits*. 2017;59(6):501–541. (In Russ.) <http://doi.org/10.7868/S001677701706003X>

2. Kucherina PM, Popov II, Pryamonosov AP, Krashennikov AL, Krashennikova LI, Perminov IG, Tsvigun LN, Gaptulkadyrov MM, Mustakimova EA. *Geological structure and minerals of the north-west part of the Voikar synclinorium, the area of the Rai-Iz massif and its framing 1:50000: information report* (vol. 1). Polyarnyi: PUGEE Publ.; 1991. (In Russ.)

3. Pryamonosov AP, Stepanov AE, Borozhdina GN. Stratotype of the Ust'kongorskaya Formation of the Voikarskaya SFZ (Eastern Slope of the Polar Urals). *Ural Geol. Journal*. 2010;(3(75)):11–14.

4. Sobolev ID, Soboleva AA, Udoratina OV, Kaneva TA, Kulikova KV, Vikentiev IV, Khubanov VB, Buyantuev MD, Hourigan JK. First results of U–Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from Paleozoic island arc clastic rocks of the Polar Urals. *Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytatelei Pri-Rody. Otdel Geologicheskii* 2017;92(4):3–26.

5. Sobolev ID, Soboleva AA, Udoratina OV, Varlamov DA, Hourigan JK, Khubanov VB, Buyantuev MD, Soboleva DA. Devonian island-arc magmatism of the Voikar zone in the Polar Urals. *Geotectonics*. 2018;52(5):531–563.

6. Volchkov AG, Girfanov MM, Kryazhev SG, Andreev AV, Cheremsin AA, Mansurov RH, Dvurechenskaya SV, Zelikson BS, Sapozhnikov VG. The position of gold mineralization of the Toupugol-Khanmeishorsky ore area in ore-containing complexes, their mineral and geochemical characteristics and comparison with the reference objects of the Novogodnee-Monto mineralized area. *Report No. 94d*. Moscow: FGUP TsNIGRI; 2008. (In Russ.)

7. Shishkin MA, Astapov AP, Kabatov NV, Kazak AP, Kolesnik LS, Kotelnikov VG, Kudrin EN, Likhotin VG, Mityusheva VS, Molchanova EV, Popov MYa, Popov PE, Puhonto SK, Remizov DN, Savenkova GB, Faibusovich YaE, Cherkashin AV. *The 1:1000000 State Geological Map of the Russian Federation (3rd ed.)*. Series Ural. Sheet No. Q-41 (Vorkuta). Explanatory note (V.P. Vodolazskaya, ed.). Saint Petersburg: VSEGEI Publ.; 2007.

8. Zyleva LI, Konvalov AL, Kazak AP, Zhdanov AV, Korkunov KV, Denisov VA, Novikova LP, Rumyantseva NA, Cherepanov YuP, Cherkashin AV, Khryakova LA. *State 1:1000000 Geological Map of the Russian Federation (3rd ed.)*. Series Western Siberian. Sheet No. Q-42 (Salekhard). Explanatory note (A.V. Zhdanov, ed.). Saint Petersburg: VSEGEI Publ.; 2014.

9. Chernyaev EV, Chernyaeva EI, Sedelnikov AYU. Geology of Novogodnee-Monto Au-skarn deposit (Polar Urals). *The Skarns, Their Genesis and Ore Mineralization (Fe, Cu, Au, W, Sn): Proceedings of the XI A.N. Zavaritsky Readings*. Ekaterinburg; 2005. p. 131–137. (In Russ.)

10. Rusinov VL. *Geological, physic and chemical laws of propylitization*. Moscow: Nauka Publ.; 1972. (In Russ.)

11. Rusinov VL. *Metasomatic processes in volcanic strata*. Moscow: Nauka Publ.; 1989. (In Russ.)

12. Zharikov VA, Rusinov VL. (eds.) *Metasomatism and metasomatic rocks*. Moscow: Nauchny Mir Publ.; 1998. (In Russ.)

13. Marin YuB. *Petrography*. Saint Petersburg: Mining University Publ.; 2015. (In Russ.)

14. Soloviev SG, Kryazhev SG, Dvurechenskaya SS. Geology, mineralization, stable isotope geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit, Polar Ural, Russia. *Mineralium Deposita*. 2013;48(5):603–627.

Сведения об авторах

Иванова Екатерина Сергеевна, инженер лаборатории металлогении и рудогенеза, Институт геологии и геохронологии докембрия, Российская академия наук, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 2. ORCID: 0000-0002-5446-2484, eLIBRARY SPIN-код: 4223-0342. E-mail: ekate.s.ivanova@gmail.com

Иванова Юлия Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, Российская академия наук, Российская Федерация, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 35; доцент департамента недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-9742-9791, eLIBRARY SPIN-код: 1692-3336. E-mail: jnivanova@yandex.ru

About the authors

Ekaterina S. Ivanova, engineer in the Laboratory of Metallogeny and Ore Genesis, Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Science, 2 Naberezhnaya Makarova, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5446-2484, eLIBRARY SPIN-code: 4223-0342. E-mail: ekate.s.ivanova@gmail.com

Julia N. Ivanova, PhD, researcher in the Laboratory of Geology of Ore Deposits, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetnyi Pereulok, Moscow, 119017, Russian Federation; Associate Professor, Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9742-9791, eLIBRARY SPIN-code: 1692-3336. E-mail: jnivanova@yandex.ru