

УДК 552.321.5+553.491

Жильные образования в зоне сочленения Мончегорского плутона и Мончетундровской интрузии (Кольский полуостров, Россия)

Я. А. Мирошникова

*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Мурманская обл., Россия;
e-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru*

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
17.01.2022;

получена
после доработки
17.02.2022

Ключевые слова:

жильные тела,
сульфидная
и платинометаллическая
минерализация,
расслоенные
основные-
ультраосновные
интрузии

Мончегорский район (Кольский полуостров) отличается платинометаллической специализацией и представляет перспективный объект для поиска и разведки ценных, стратегически важных металлов платиновой группы. В процессе исследования охарактеризованы петрографические, петрохимические и геохимические особенности жильных тел в зоне сочленения крупных раннепротерозойских расслоенных интрузий (Мончегорского плутона и Мончетундровской интрузии). Жильные тела наблюдаются в пределах Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро. Жилы залегают вблизи контакта мелко- и среднезернистых метапироксенитов (метаноритов) и крупнозернистых габброноритов. Выделены два главных типа жил: 1) жилы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава; 2) жилы кварц-полевошпатового и амфибол-плагиоклазового состава. Анализ содержания халькофильных элементов в породах на данной территории показал, что повышенные содержания элементов платиновой группы связаны с первым типом жильных образований. Жильные породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава (тип 1) содержат в среднем Cu – 0,22 %, Ni – 0,11 %, ΣЭПГ – 1 г/т, Au – 0,042 ppm. Жильные породы кварц-полевошпатового и амфибол-плагиоклазового состава (тип 2) содержат в среднем Cu – 0,04 %, Ni – 0,01 %, ΣЭПГ – 0,05 ppm, Au – 0,012 ppm. Спектры распределения редкоземельных и редких элементов в жильных породах Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро показывают как общность всех типов жил, так и закономерный характер различий в составе жил.

Для цитирования

Мирошникова Я. А. Жильные образования в зоне сочленения Мончегорского плутона и Мончетундровской интрузии (Кольский полуостров, Россия). Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 1. С. 27–37. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-27-37>.

Vein formation of the Monchepluton and the Monchetundra intrusion contact zone

Yana A. Miroshnikova

*Geological Institute KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;
e-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru*

Article info

Received
17.01.2022;

received
in revised form
17.02.2022

Key words:

vein bodies,
sulfide
and platinum-metal
mineralization,
layered
basic-ultrabasic
intrusions

Abstract

The Monchegorsk region (Kola Peninsula) is distinguished by its platinum metal specialization and is a promising target for prospecting and exploration of valuable, strategically important platinum group metals. In the course of the study, the petrographic, petrochemical, and geochemical features of the vein bodies in the junction zone of large Early Proterozoic layered intrusions (the Monchegorsk pluton and the Monchetundra intrusion) have been characterized. Vein bodies are observed within the South Sopchinsky massif and the Moroshkovoe Lake massif. The veins are located near the contact of fine-medium-grained metapyroxenites (metanorites) and coarse-grained gabbro-norites. Two main types of veins are identified: 1) veins of plagioclase-pyroxene and plagioclase-amphibole composition and 2) veins of quartz-feldspar and amphibole-plagioclase composition. Analysis of the content of chalcophilic elements in this area rocks has shown that the increased content of platinum group elements is associated with the first type of vein formations. Vein rocks of plagioclase-pyroxene and plagioclase-amphibole composition (type 1) contain on average Cu – 0.22 %, Ni – 0.11 %, ΣPGE – 1 g/t, Au – 0.042 ppm. Vein rocks of quartz-feldspar and amphibole-plagioclase composition (type 2) contain on average Cu – 0.04 %, Ni – 0.01 %, ΣPGE – 0.05 ppm, Au – 0.012 ppm. The distribution spectra of rare-earth and rare elements in the vein rocks of the South Sopchinsky massif and the Moroshkovoe Lake massif show both the commonality of all types of veins and the regular nature of differences in the composition of the veins.

For citation

Miroshnikova, Y. A. 2022. Vein formation of the Monchepluton and the Monchetundra intrusion contact zone. *Vestnik of MSTU*, 25(1), pp. 27–37. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-27-37>.

Введение

Южносопчинский массив и массив Морошковое озеро расположены в Мончегорском районе (в центре Кольского полуострова) в зоне сочленения двух крупных раннепротерозойских основных-ультраосновных расслоенных интрузий: Мончегорского плутона (Мончеплутон) и Мончетундровской интрузии (рис. 1). Обе интрузии имеют схожий состав, близкие возрасты и характеризуются многофазовым строением.



Рис. 1. Схема геологического строения Мончегорского рудного района: 1 – metabasalts, epidote-amphibole and amphibole-biotite schists, tuff-siltstones with quartzite interbeds; 2 – dunites; 3 – orthopyroxenites and harzburgites; 4 – pyroxenites; 5 – norites; 6 – gabbronorites, leucocratic gabbro and anorthosites; 7 – leucocratic and mesocratic gabbronorites; 8 – quartz gabbro; 9 – leucocratic gabbro, gabbronorites and anorthosites; 10 – diorite-gneisses, metadiorites, and garnet-biotite gneisses. Цифрами обозначены: 1 – массив Морошковое озеро; 2 – массив Габбро-10; 3 – Дунитовый блок

Fig. 1. The geological structure scheme of the Monchegorsky ore district: 1 – metabasalts, epidote-amphibole and amphibole-biotite schists, tuff-siltstones with quartzite interbeds; 2 – dunites; 3 – orthopyroxenites and harzburgites; 4 – pyroxenites; 5 – norites; 6 – gabbronorites, leucocratic gabbro and anorthosites; 7 – leucocratic and mesocratic gabbronorites; 8 – quartz gabbro; 9 – leucocratic gabbro, gabbronorites and anorthosites; 10 – diorite-gneisses, metadiorites, and garnet-biotite gneisses. Numbers indicate: 1 – Moroshkovoe lake massif; 2 – Gabbro-10 massif; 3 – Dunite block

В разрезе Мончетундровской интрузии выделяются нижняя норит-ортопироксенитовая и верхняя габбро-габброноритовая зоны. В основании нижней зоны залегают ортопироксениты и плагиоортопироксениты мощностью до 200 м, которые выше по разрезу сменяются мезо-меланократовыми норитами мощностью 50–70 м (Чащин и др., 2018). В юго-западном крыле мульды мощность нижней зоны постепенно уменьшается до 50 м и менее и срезается разломом (Чащин и др., 2020). Верхняя зона имеет вертикальную мощность от 500 до 1 500 м и сложена мезократовыми средне- и крупнозернистыми, интенсивно амфиболизированными, лейкократовыми габброноритами и крупнозернистыми лейкогаббро. Местами, преимущественно в верхней части разреза, встречаются анортозиты (Чащин и др., 2018; 2020). Восточная часть Мончетундровской интрузии получила название Южносопчинского массива. В плане этот массив представляет собой крупное магматическое тело длиной около шести километров и шириной около двух километров, протягивающееся с северо-запада на юго-восток (Рундквист и др., 2016).

В строении Мончеплутона выделяются перидотитовая (300–400 м), пироксенитовая (бронзититовая) (200–700 м), норитовая (280 м) и краевая (донная) (100–120 м в центральных и до 10–15 м в краевых частях) зоны (*Шарков и др., 2014*). В основании перидотитовой зоны прослеживается мощный (100–120 м) горизонт дунитов и пойкилитовых гарцбургитов, которые сменяются ритмичным переслаиванием пойкилитовых гарцбургитов и бронзититов (мощность ритмов от первых десятков сантиметров до первых метров). В средних и верхних частях зоны распространены гранулярные гарцбургиты и перидотиты, постепенно сменяющиеся оливиновыми норитами. Пироксенитовая (бронзититовая) зона сложена в основном ортопироксенитами. Норитовая зона состоит из среднезернистых мезократовых норитов и габброноритов. Краевая (донная) зона сложена (сверху вниз): дунитами, гарцбургитами, бронзититами, норитами и габброноритами (*Шарков и др., 2014*).

Зона сочленения Мончегорского плутона и Мончетундровской интрузии имеет сложное геологическое строение. В пределах Южносопчинского массива наблюдается извилистый контакт мелко-среднезернистых метапироксенитов и крупнозернистых мезократовых габброноритов. Контакт представлен зоной брекчирования, в которой обломки сложены метаноритами-метапироксенитами, а матрица – габброноритами (*Рундквист и др., 2017*). На отдельных участках в зоне контакта отмечены поздние хлорит-эпидиотовые оторочки, непосредственно маркирующие границы двух типов пород (*Рундквист и др., 2012*). Кроме того, встречаются участки, где среднезернистые разности габброноритов сцементированы жильным материалом.

Преобладающими породами в нижней части разреза Южносопчинского массива являются мелко-среднезернистые метапироксениты, среди которых выделяются оливин-содержащие разности. В верхней части разреза Южносопчинского массива преобладают лейко-мезократовые крупнозернистые габбронориты и габбро.

К северо-востоку от Южносопчинского массива располагается небольшое овальное интрузивное тело – массив Морошковое озеро (рис. 1). В пределах массива Морошковое озеро развиты разнозернистые (преимущественно мелко- и среднезернистые) меланократовые метанориты, среди которых наблюдаются апофизы крупнозернистых габброноритов.

В непосредственной близости от зоны контакта с крупнозернистыми габброноритами мелко- и среднезернистые метапироксениты и метанориты Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро прорываются жильными телами сложной морфологии. Мощность тел варьирует от 5 см до 2 м в раздувах. Контакты жильных образований с вмещающими породами четкие, в некоторых обнажениях можно наблюдать, что жильные породы занимают секущее положение по отношению к расслоенности во вмещающих метапироксенитах. Жильные тела сложены массивными крупнозернистыми породами, состав которых варьирует от преимущественно плагиоклаз-пироксенового до кварц-полевошпатового. В жильных породах плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава встречена сульфидная, оксидная и платинометаллическая минерализация (*Рундквист и др., 2011*). Содержание рудных минералов обычно составляет 3–5 об.% (*Pripachkin et al., 2016*), тогда как содержание ЭПГ (элементов платиновой группы) + Au не превышает 1–2 г/т (*Рундквист и др., 2012*). Главные сульфидные минералы представлены пентландитом, халькопиритом, пирротинитом, борнитом и миллеритом. В тесной ассоциации с этими минералами находятся магнетит и ильменит. Среди минералов платиновых металлов преобладают арсениды, висмутиды, теллуриды и висмутотеллуриды Pt и Pd, такие как сперрилит, меренскит, котульскит, маякит, соболевскит и др. (*Мирошникова и др., 2015; 2019; Miroshnikova et al., 2020*).

Вопрос классификации жильных образований Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро в настоящее время остается открытым. В данной статье приведены результаты исследования петрохимического и геохимического состава жильных пород, что в совокупности с известными ранее данными позволило выделить конкретные типы жил.

Материалы и методы

В ходе полевых сезонов 2010–2014 гг. были отобраны образцы разновидностей пород, слагающих Южносопчинский массив и массив Морошковое озеро. В прозрачных шлифах с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 был изучен петрографический состав жильных и вмещающих пород Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро. Фотодокументация участков шлифов выполнена на электронном микроскопе Axioplan.

Полный химический анализ образцов исследуемых пород получен в химико-аналитической лаборатории Геологического института КНЦ РАН (ГИ КНЦ РАН). Содержания породообразующих элементов определены с использованием таких методов, как атомно-абсорбционный пламенный (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Mn, Cu, Ni, Cr, V, Ba), эмиссионный пламенный (K, Na, Li, Rb, Cs, Sr), колориметрический (Ti, P, Si), полярографический (S, Se, Te, Sb, As), ионометрический (F, Cl, NO₃, S), весовой (H₂O⁺; H₂O⁻, S) и объемный (CO₂, FeO). Содержания Cu, Ni, Pt, Pd, Au в породах получены из штучных проб в лаборатории анализа благородных металлов ГИ КНЦ РАН, оснащенной атомно-абсорбционными приборами фирмы Perkin-Elmer.

Спектры распределения редких и редкоземельных элементов были установлены в Институте геологии и геохимии УрО РАН (ИГГ УрО РАН) в штучных пробах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Результаты и обсуждение

Детальное петрографическое исследование жильных пород позволило выявить несколько разновидностей пород, слагающих жильные тела: 1) крупнозернистые меланократовые породы плагиоклаз-пироксенового состава слабоизмененные; 2) крупнозернистые мезократовые породы плагиоклаз-амфиболового состава; 3) крупнозернистые породы амфибол-плагиоклазового состава; 4) мелко-среднезернистые породы кварц-полевошпатового состава.

Жильные породы плагиоклаз-пироксенового состава (рис. 2, А и 3, А) на 35–50 об.% состоят из клинопироксена, который образует крупные ксеноморфные зерна размером до 3,5 мм. В ойкокристаллах клинопироксена наблюдаются включения зерен ортопироксена и плагиоклаза, которые замещаются минералами группы эпидота и амфиболом. Содержание ортопироксена варьирует от 15 до 20 об.%. Ортопироксен встречается в виде крупных (до 2 мм) зерен неправильной формы или в виде реликтовых зерен размером 0,15 мм. Содержание плагиоклаза в этой породе меняется от 10 до 15 об.%. Плагиоклаз представлен реликтовыми ксеноморфными зернами размером 0,1–0,6 мм или вместе с кварцем образует гранофиры. Кварц также встречается в виде мелких (0,1–0,6 мм) единичных зерен и составляет 5 % от породы. По первичным минералам развиваются постмагматические, такие как амфибол, клиноцоизит, хлорит, биотит и карбонат. Содержание амфибола колеблется от 10 до 15 об.%. По оптическим свойствам амфибол представлен минералами тремолит-актинолитового ряда и роговой обманкой.

Жильные породы плагиоклаз-амфиболового состава (рис. 2, Б и 3, Б) представляют собой более измененные разности жильных пород плагиоклаз-пироксенового состава. В этих породах орто- и клинопироксен практически полностью изменены: встречаются лишь фрагменты зерен размером 0,1–1,4 мм. Общее содержание этих минералов не превышает 2–5 об.%. Содержание плагиоклаза в этой породе варьирует от 45 до 50 об.%. Плагиоклаз образует крупные, преимущественно ксеноморфные, реже длиннопризматические и таблитчатые зерна размером 3–9 мм и представлен тремя морфологическими разновидностями. Первая разновидность представлена сохранившимся магматическим плагиоклазом, соответствующим лабрадору № 53–63 (по оптическим свойствам). Вторая разновидность представлена более кислым плагиоклазом, который по оптическим свойствам соответствует андезину № 33–45. В некоторых зернах даже можно наблюдать процесс замещения плагиоклаза первой разновидности плагиоклазом второй разновидности. Третья разновидность вместе с кварцем входит в состав гранофиров с графической структурой, где частично замещается соссуритом. Кроме этого, кварц образует единичные зерна неправильной формы размером 0,05–0,6 мм. Его содержание достигает 2 об.%. По первичным минералам развиваются амфибол, хлорит и минералы группы эпидота. Содержание амфибола колеблется от 32 до 51 об.%. Можно встретить зерна, где амфибол уже полностью заместил зерна плагиоклаза или пироксена. По оптическим свойствам выделяются три разновидности амфибола: 1) минералы тремолит-актинолитового ряда; 2) антофиллит; 3) роговая обманка. Содержание остальных вторичных минералов не превышает 5 об.%.

Жильные породы амфибол-плагиоклазового состава (рис. 2, В и 3, В) практически полностью состоят из плагиоклаза и амфибола. Содержание плагиоклаза колеблется от 36 до 58 об.%. Плагиоклаз представлен тремя морфологическими разновидностями. Первая разновидность представлена магматогенным плагиоклазом, который образует крупные идиоморфные зерна размером 2,2–8,2 мм. Вторая разновидность соответствует андезину № 36–45 (по оптическим свойствам), который образует ксеноморфные зерна размером 0,2–2,2 мм. Третья разновидность вместе с кварцем входит в состав гранофиров с графической структурой, где он частично замещается соссуритовым агрегатом. Содержание амфибола составляет 33–50 об.%. Амфибол представлен тремя морфологическими разновидностями: первые две по оптическим свойствам принадлежат к тремолит-актинолитовому ряду, а третья относится к роговой обманке. Содержание кварца достигает 2 об.%. Помимо гранофиров он образует ксеноморфные зерна размером 0,4–1 мм. В породе также присутствуют вторичные минералы, такие как биотит, эпидот, хлорит и карбонаты. Содержание каждого из этих минералов по отдельности не более 4 об.%. Акцессорные минералы представлены апатитом, содержание которого достигает 2 об.%.

Жильные породы кварц-полевошпатового состава (рис. 2, Г и 3, Г) на 35–50 об.% состоят из плагиоклаза. Плагиоклаз образует преимущественно короткопризматические, таблитчатые и ксеноморфные зерна с преобладающим размером 1 мм. По оптическим свойствам выделяются несколько разновидностей плагиоклаза. Первая разновидность соответствует андезину № 45, вторая (более кислый плагиоклаз) – олигоклазу № 25, а третья – это полевой шпат, образующий вместе с кварцем графические структуры. Эти породы содержат значительное количество кварца: его содержание варьирует от 30 до 40 об.%. Помимо мирмекитовых агрегатов кварц наблюдается в виде самостоятельных зерен неправильной формы размером 0,05–0,6 мм. Содержание амфибола колеблется от 10 до 20 об.%. Минерал развивается по зернам плагиоклаза и по оптическим свойствам представлен роговой обманкой или относится к тремолит-актинолитовому ряду. Содержание других вторичных минералов, таких как эпидот и биотит, составляет 1–5 об.%. Содержание карбоната может достигать 5–10 об.%. В некоторых шлифах встречается гранат. Среди акцессорных минералов встречается апатит.

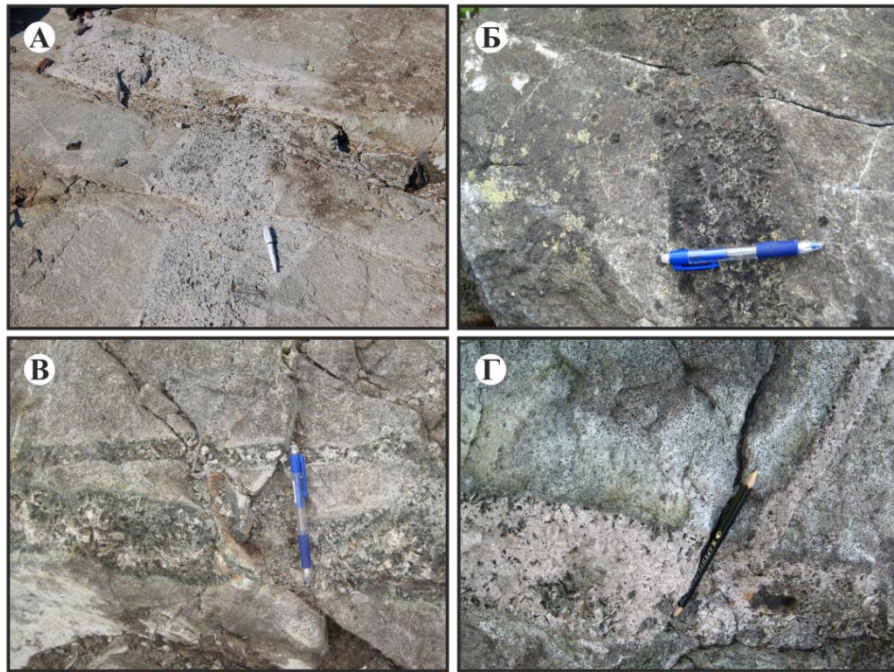


Рис. 2. Жильные образования Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро:
 А – жилы плагиоклаз-пироксенового состава; Б – жилы плагиоклаз-амфиболового состава;
 В – жилы амфибол-плагиоклазового состава; Г – кварц-полевошпатовые жилы
 Fig. 2. Vein formations of the South Sopchinsky massif and the Moroshkovoe Lake massif:
 А – veins of plagioclase-pyroxene composition; Б – veins of plagioclase-amphibole composition;
 В – veins of amphibole-plagioclase composition; Г – quartz-feldspar veins

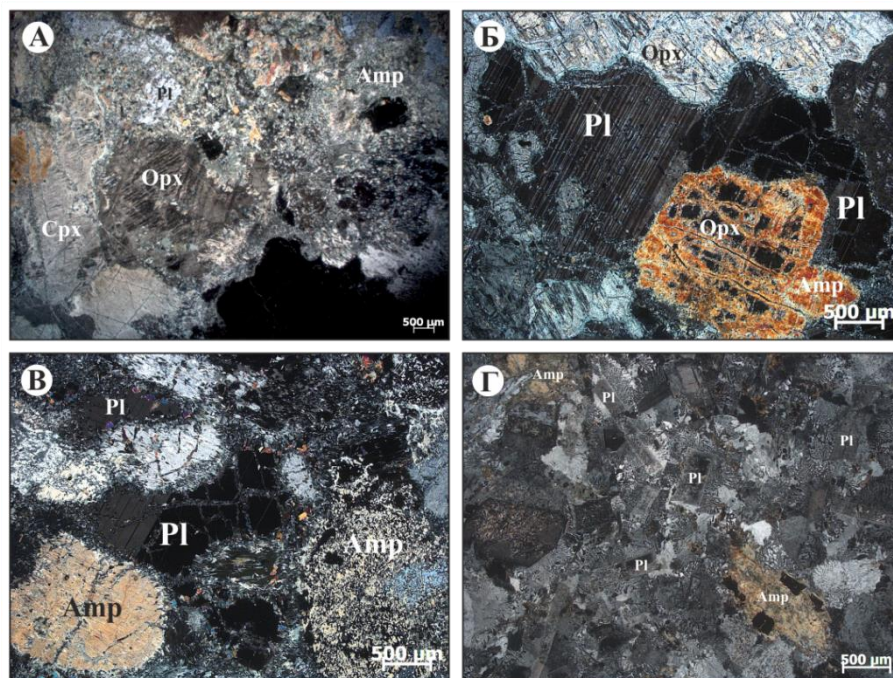


Рис. 3. Морфология породообразующих минералов в жильных породах
 (фото шлифов в скрещенных николях):
 А – жильная плагиоклаз-пироксеновая порода (фото шлифа s2-1); Б – жильная плагиоклаз-амфиболовая порода (фото шлифа Я-20а-14); В – жильная амфибол-плагиоклазовая порода (шлиф Я-51а-14);
 Г – жильная кварц-полевошпатовая порода (шлиф Я-27-14)
 Fig. 3. Morphology of rock-forming minerals in vein rocks (photo of the thin sections in crossed nichols):
 А – vein plagioclase-pyroxene rock (s2-1); Б – vein plagioclase-amphibole rock (Ya-20a-14);
 В – vein amphibole-plagioclase rock (Ya-51a-14); Г – vein quartz-feldspar breed (Ya-27-14)

Вмещающие жильные тела породы представлены мелко-среднезернистыми мезо-меланократовыми норитами и метаноритами, которые в пределах Южносопчинского массива сменяются мелко- и среднезернистыми пироксенитами и метапироксенитами. В одном шлифе встречен мелкозернистый слабоизмененный оливниновый пироксенит. Эти породы контактируют с крупнозернистыми габброноритами, среди которых встречаются сильно измененные разности (метагаббронориты).

Фигуративные точки химического состава пород Южносопчинского массива и Морошкового озера были нанесены на вариационные диаграммы А. Харкера (сумма оксидов SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , K_2O и Na_2O приведена к 100 %) (*Интерпретация геохимических...*, 2001). Как видно на рис. 4, фигуративные точки химических составов жильных пород образуют две самостоятельные группы. Первую группу образуют породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава, вторую – кварц-полевошпатового и амфибол-плагиоклазового состава. Первая группа более магниезильная и хромистая, чем вторая. Содержание SiO_2 и Al_2O_3 в жильных телах первой группы ниже, чем в породах второй группы. По содержанию K_2O жильные породы обеих групп практически не отличаются друг от друга, тогда как содержание Na_2O в породах первой группы ниже, чем во второй. Содержание FeO в жильных породах первой группы выше, чем в породах второй.

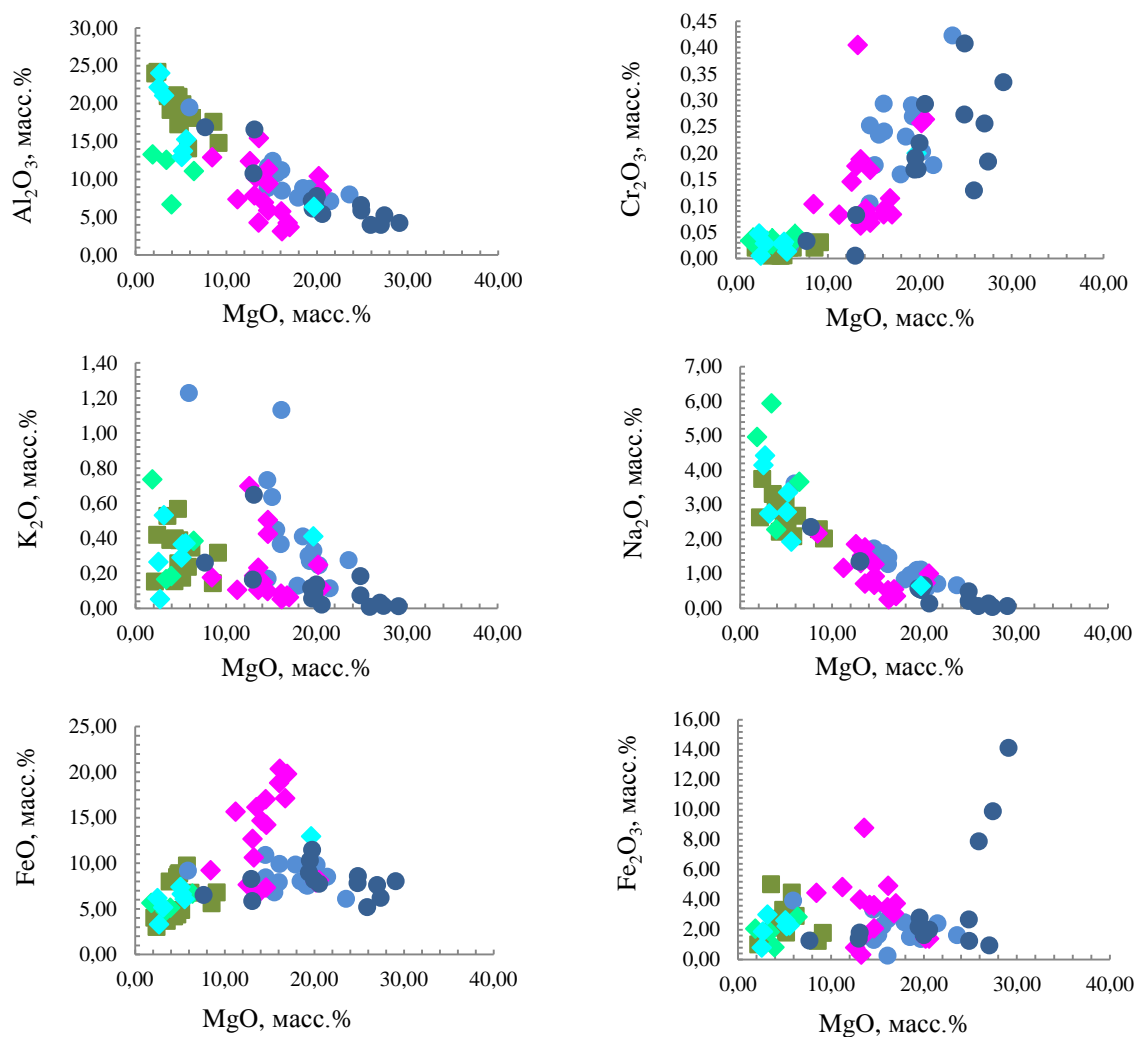


Рис. 4. Бинарные вариационные диаграммы для пород Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро:

- 1 – нориты и метанориты массива Морошковое озеро; 2 – пироксениты и метапироксениты Южносопчинского массива; 3 – метагаббронориты; 4 – жильные породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава; 5 – жильные породы кварц-полевошпатового состава; 6 – жильные амфибол-плагиоклазовые породы

Fig. 4. Binary variation diagrams for the South Sopchinsky massif and the Moroshkovoe Lake massif rocks: 1 – norites and metanorites of the Moroshkovoe Lake massif; 2 – pyroxenites and metapyroxenites of the South Sopchinsky massif; 3 – metagabbro-norites; 4 – vein rocks of plagioclase-pyroxene and plagioclase-amphibole composition; 5 – vein rocks of quartz-feldspar composition; 6 – vein amphibole-plagioclase rocks

На эти же диаграммы были нанесены химические составы пород, вмещающих жильные тела. Фигуративные точки норитов и метаноритов массива Морошковое озеро вместе с фигуративными точками пироксенитов и метапироксенитов Южносопчинского массива образуют общую группу, тогда как габбронориты и метагаббронориты значительно отличаются от них по содержанию MgO , Si_2O_3 , Al_2O_3 и Na_2O .

Анализ содержания халькофильных элементов также позволил разделить все жильные тела на два типа (рис. 5). Жильные породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава характеризуются более высокими содержаниями ЭПГ, Cu , Ni и Au (среднее содержание $Cu - 0,22\%$, $Ni - 0,11\%$, $\Sigma ЭПГ - 1$ г/т, $Au - 0,042$ ppm), чем жильные породы кварц-полевошпатового и амфибол-плагиоклазового состава (среднее содержание $Cu - 0,04\%$, $Ni - 0,01\%$, $\Sigma ЭПГ - 0,05$ ppm, $Au - 0,012$ ppm). Вмещающие жильные тела породы характеризуются меньшими содержаниями этих компонентов, чем жильные тела первого типа. Габбронориты и метагаббронориты значительно обеднены ЭПГ, Cu , Ni и Au по сравнению с норитами (метаноритами) и пироксенитами (метапироксенитами).

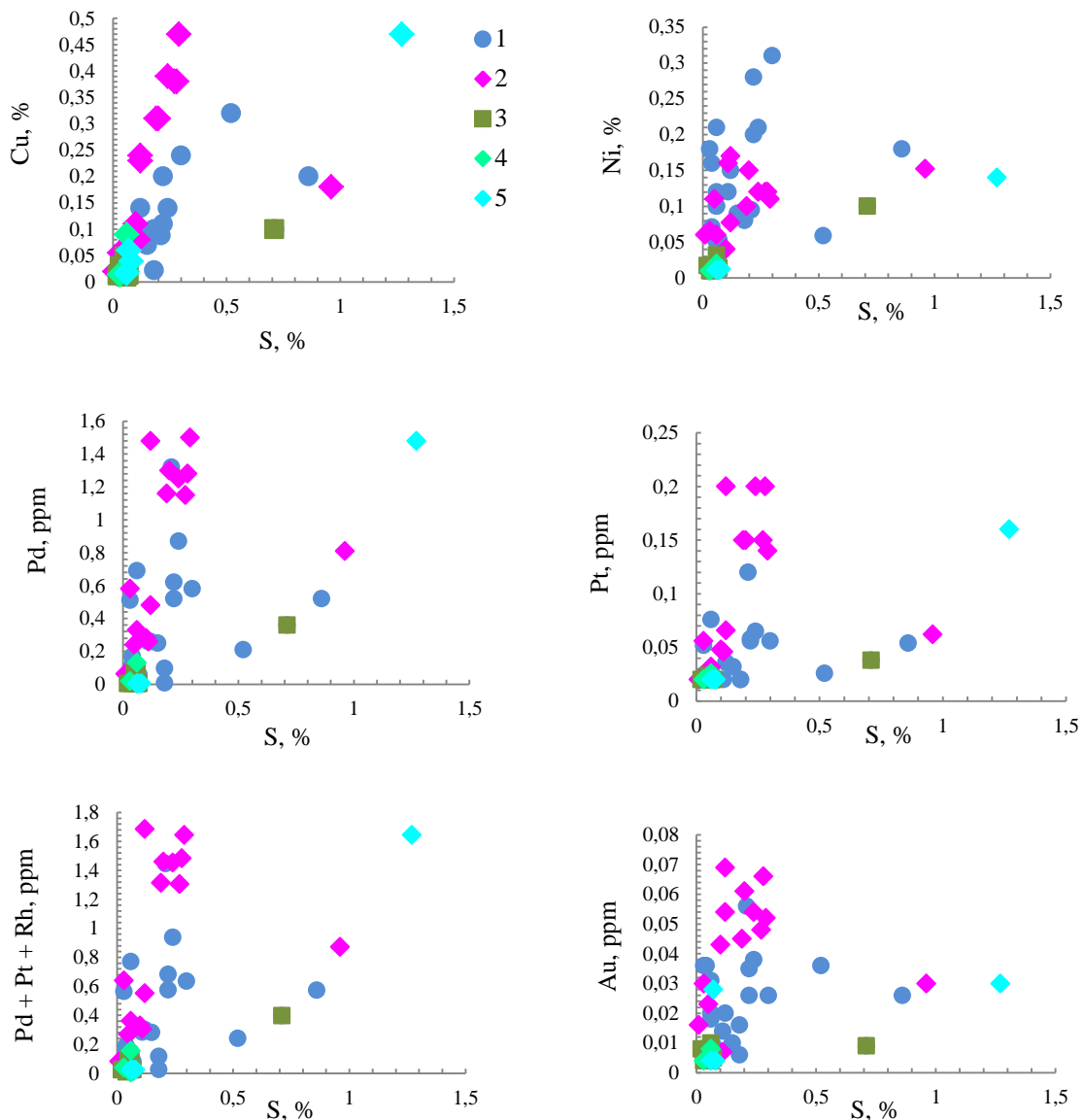


Рис. 5. Бинарные вариационные диаграммы для пород Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро (Miroshnikova et al., 2020): 1 – пироксениты (метапироксениты) и нориты (метанориты); 2 – жильные породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава; 3 – метагаббронориты; 4 – жильные породы кварц-полевошпатового состава; 5 – жильные амфибол-плагиоклазовые породы

Fig. 5. Binary variation diagrams for the South Sopchinsky massif and the Moroshkovoe Lake massif rocks (Miroshnikova et al., 2020): 1 – pyroxenites (metapyroxenites) and norites (metanorites); 2 – plagioclase-pyroxene vein; 3 – metagabbro-norites; 4 – quartz-feldspar vein; 5 – amphibole-plagioclase vein

Для жильных пород были получены данные по содержанию редкоземельных и редких элементов (РЗЭ и РЭ). При построении спектров распределения РЗЭ составы пород нормировались на состав хондрита С1 (McDonough et al., 1995), при построении спектров распределения РЭ – на состав примитивной мантии (Sun et al., 1989).

Спектры распределения РЗЭ для всех жильных пород имеют пологий наклон (породы более обогащены легкими РЗЭ, чем тяжелыми) и слабовыраженные как положительные, так и отрицательные Eu аномалии (рис. 6). Отношение $(La/Yb)_{ch}$ варьирует от 2,31 до 9,91. Жильные кварц-полевошпатовые породы характеризуются более высокими содержаниями всех РЗЭ, чем другие разновидности жильных пород, однако общий рисунок спектра сохраняется, что указывает на общность происхождения этих жил. Нетипичные для основных пород кварц-полевошпатовые жилы сохраняют геохимическую специфику, характерную для плагиоклаз-пироксеновых и плагиоклаз-амфиболовых жил. В целом (за исключением двух проб) жильные породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава более обеднены РЗЭ, чем жильные породы амфибол-плагиоклазового и кварц-полевошпатового состава.

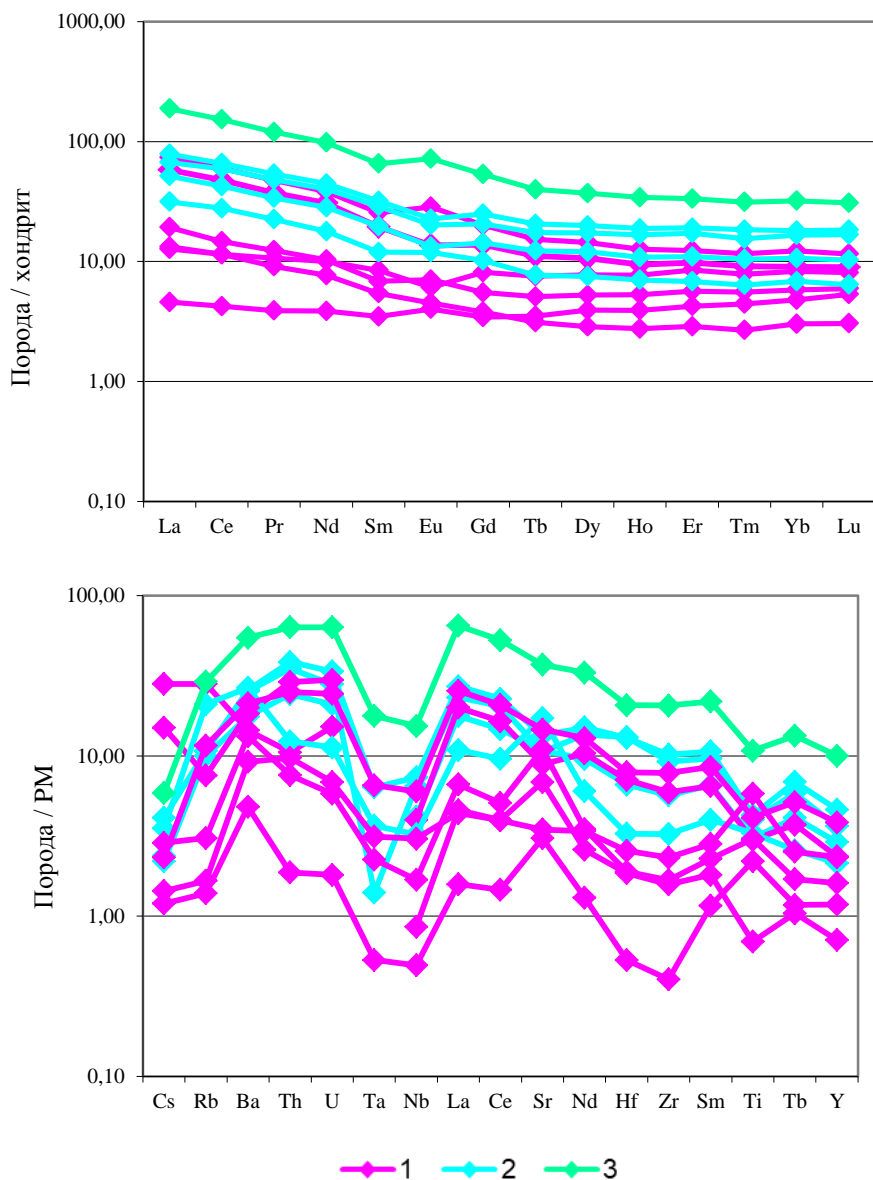


Рис. 6. Графики распределения содержаний редкоземельных элементов (слева) и редких элементов (справа) в жильных породах: 1 – жильные плагиоклаз-пироксеновые и плагиоклаз-амфиболовые породы; 2 – жильные амфибол-плагиоклазовые породы; 3 – жильные породы кварц-полевошпатового состава

Fig. 6. Diagrams of the distribution of the contents of rare earth elements (left) and rare elements (right) in vein rocks: 1 – vein plagioclase-pyroxene and plagioclase-amphibole rocks; 2 – vein amphibole-plagioclase rocks; 3 – vein quartz-feldspar rocks

Спектры распределения РЭ для жильных пород имеют отрицательную Ta-Nb и отрицательную Cs аномалии (рис. 6). Спектры распределения РЭ для жильных пород плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава имеют более выраженные отрицательные Hf и Zr аномалии, чем спектры для жильных амфибол-плагиоклазовых пород, тогда как в спектре для кварц-полевошпатовой породы этой аномалии не наблюдается. Большинство спектров жильных плагиоклаз-пироксеновых и плагиоклаз-амфиболовых пород имеют слабовыраженную положительную Ti аномалию, тогда как для жильных пород амфибол-плагиоклазового и кварц-полевошпатового состава наблюдается отрицательная Ti аномалия. В целом по содержанию РЭ в жильных породах наблюдается та же тенденция, что и по содержаниям РЗЭ: жильные породы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава обеднены РЭ по сравнению с жильными породами амфибол-плагиоклазового и кварц-полевошпатового состава. Спектры распределения редкоземельных и редких элементов в жильных породах Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро показывают как общность всех типов жил, так и закономерный характер различий в составе жил. Исследование содержания РЭ и РЗЭ в составе жильных тел различных типов подтвердило их различия, выявленные при изучении их вещественного и петрохимического состава и рудной специфики.

Заключение

Вблизи зоны контакта мелко- и среднезернистых метапироксенитов и крупнозернистых габброноритов в пределах Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро были обнаружены жильные тела сложной морфологии и переменного минерального состава. По петрографическим данным выделены жилы, сложенные: 1) крупнозернистыми породами плагиоклаз-пироксенового состава; 2) крупнозернистыми породами плагиоклаз-амфиболового состава; 3) крупнозернистыми породами амфибол-плагиоклазового состава; 4) мелко- и среднезернистыми породами кварц-полевошпатового состава. Однако исследования химического состава жильных пород показали, что по содержанию петрогенных компонентов жилы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава можно объединить в один тип жильных образований, а жилы кварц-полевошпатового и амфибол-плагиоклазового состава – во второй тип. Спектры распределения РЗЭ и РЭ в жильных породах Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро показывают как общность всех типов жил, так и закономерный характер различий в составе жил.

Изучение графиков распределения халькофильных элементов показало, что с жильными породами первого типа связаны повышенные содержания Cu, Ni, ЭПГ и S, тогда как жильные породы второго типа характеризуются низкими содержаниями этих элементов. Это согласуется с проведенными ранее исследованиями рудной минерализации жильных тел, в результате которых установлено, что с жилами первого типа связана гнездово-вкрапленная сульфидная, оксидная и платинометалльная минерализация (Мирошникова и др., 2019), тогда как в жилах второго типа обнаружена бедная вкрапленная сульфидная и оксидная минерализация (Miroshnikova et al., 2020).

Жильные и дайковые тела довольно часто присутствуют в краевых сериях расслоенных основных-ультраосновных интрузий. Данные участки интрузий характеризуются наличием магматических брекчий, такситовых (разнозернистых) пород и сопровождаются неравномерным сульфидным платинометалльным оруденением "контактного типа". Так, в маргинальной серии интрузии Ист Булл Лейк (Онтарио, Канада) в пределах краевой зоны мощностью несколько десятков метров ксенолиты фундамента сцементированы габброидными и анортозитовыми жилами в различном соотношении. Зона анортозитов нижней серии интрузии Ист Булл Лэйк состоит из монотонных крупнозернистых анортозитов и лейкогабброноритов, которые локально брекчированы сквозными сетями габбровых жил (Easton et al., 2010). На месторождениях Контиярви и Ахмаваара (комплекс Портимо, Финляндия) субпараллельные базальному контакту краевых серий основные-ультраосновные дайки, сопровождающие мощную зону брекчии, играют существенную роль в соотношении сульфидов цветных металлов (Iljina et al., 1992; Alapieti et al., 2002). В массиве Федоровой тундры (Россия) краевая серия представляет собой эруптивную брекчию с обломками ультрамафитов расслоенной серии и матрицей рудоносных такситовых габброноритов, среди которых встречаются и пегматоидные разности. Повышенные содержания ЭПГ в этой серии связаны с сульфидной вкрапленностью (Грошев, 2010).

По аналогии с указанными объектами можно предполагать, что контактовая зона сочленения Мончеплутона и Мончетундровской интрузии, для которой характерно брекчирование и развитие жильных образований, может свидетельствовать о том, что рудная минерализация Южносопчинского массива и массива Морошковое озеро представляет собой перспективное рудопроявление платиновых металлов контактового типа. Существенную роль с точки зрения концентрации рудного вещества в этом объекте сыграли жильные образования первого типа – жильные тела плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР Ги КНЦ РАН № АААА-А19-119100290147-7. Автор выражает благодарность Т. В. Рундквист за помощь в подготовке рукописи статьи.

Библиографический список

- Грошев Н. Ю. Двухфазный платиноносный массив Федоровой тундры (Кольский полуостров): геология и типы малосульфидного ЭПГ-оруденения : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Апатиты, 2010. 24 с.
- Интерпретация геохимических данных / под ред. Е. В. Склярова. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Мирошникова Я. А., Пахомовский Я. А. Жильные тела участка Морошковое озеро (Мончегорский район) и связанное с ними оруденение // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 280–286.
- Мирошникова Я. А., Чернявский А. В., Базай А. В. Рудная минерализация участка Южносопчинский-1 (Мончегорский рудный район, Кольский полуостров) // Записки Российского минералогического общества. Т. 148, № 1. 2019. С. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1481.03>.
- Рундквист Т. В., Припачкин П. В., Гребнев Р. А., Севостьянов А. Ю. [и др.]. Геологическое строение и особенности локализации платинометалльного оруденения в восточной части Южносопчинского мафит-ультрамафитового массива, Кольский полуостров // Руды и металлы. 2011. № 5. С. 58–68.
- Рундквист Т. В., Припачкин П. В., Гребнев Р. А. Особенности взаимоотношений интрузивных тел в зоне контакта ультрамафит-мафитовых комплексов Мончегорский и Главного хребта (участок "Южносопчинский", Кольский полуостров) // Литосфера. 2012. № 3. С. 65–79.
- Рундквист Т. В., Припачкин П. В., Грошев Н. Ю., Мирошникова Я. А. Магматическая мегабрекчия в раннепротерозойском мафит-ультрамафитовом Мончегорском комплексе (Кольский регион) // Геодинамика раннего докембрия: сходство и различие с фанерозоем. Материалы науч. конф. и путеводитель научных экскурсий. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2017. С. 200–203.
- Рундквист Т. В., Припачкин П. В., Мирошникова Я. А., Базай А. В. Новые данные о геологическом строении и благороднометалльной минерализации Южносопчинского массива (раннепротерозойский Мончегорский комплекс, Кольский регион) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3(26). С. 44–52.
- Чашин В. В., Баянова Т. Б., Савченко Е. Э., Киселева Д. В. [и др.]. Петрогенезис и возраст пород нижней платиноносной зоны Мончетундровского базитового массива, Кольский полуостров // Петрология. 2020. Т. 28, № 2. С. 150–183. DOI: <https://doi.org/10.31857/s0869590320020028>.
- Чашин В. В., Петров С. В., Дрогобужская С. В. Малосульфидное платино-палладиевое месторождение Лойпишнюн Мончетундровского базитового массива (Кольский полуостров, Россия) // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60, № 5. С. 472–503. DOI: [10.1134/S0016777018050027](https://doi.org/10.1134/S0016777018050027).
- Шарков Е. Н., Чистяков А. В. Геолого-петрологические аспекты ЭПГ-Cu-Ni оруденения в палеопротерозойском Мончегорском расслоенном мафит-ультрамафитовом комплексе (Кольский полуостров) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56, № 3. С. 171–194. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0016777014030046>.
- Alapieti T. T., Lahtinen J. J. Platinum-group element mineralization in layered intrusions of northern Finland and the Kola Peninsula, Russia // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements / ed.: L. J. Cabri. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. Special Vol. 54. P. 507–546.
- Easton R. M., James R. S., Jobin-Bevans L. S. Geological guidebook to the Paleoproterozoic East Bull Lake intrusive suite plutons at East Bull Lake, Agnew Lake and River Valley: A field trip for the 11th International Platinum Symposium; Ontario Geological Survey, 2010. Open File Report 6253, 108 p.
- Ijina M. J., Alapieti T. T., Mc Elduff B. M. Platinum-group element mineralization in the Suhanko-Konttijärvi intrusion, Finland // Australian Journal of Earth Sciences. 1992. Vol. 39, Iss. 3. P. 303–313. DOI: <https://doi.org/10.1080/08120099208728025>.
- McDonough W. F., Sun S.-s. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120, Iss. 3–4. P. 223–253. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).
- Miroshnikova Ya. A., Martynov E. V. Factors affecting distribution of precious metals in rocks of the South Sopchinsky massif and the 'Moroshkovoe Lake' target (southern framing of the Monchegorsk pluton, Kola Peninsula): Experience of applying statistical methods // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 539, Iss. 1. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/539/1/012155>.
- Pripachkin P. V., Rundkvist T. V., Miroshnikova Y. A., Chernyavsky A. V. [et al.]. Geological structure and ore mineralization of the South-sopchinsky and Gabbro-10 massifs and the Moroshkovoe Lake target, Monchegorsk area, Kola Peninsula, Russia // Mineralium Deposita. 2016. Vol. 51, Iss. 8. P. 973–992. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0605-0>.
- Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / eds.: Saunders A. D., Narry M. J. Geological Society Special Publication, 1989. № 42. P. 313–345.

References

- Groshev, N. Yu. 2010. Two-phase platinum-bearing massif of the Fedorov Tundra (Kola Peninsula): geology and types of low-sulfide EPG mineralization. Abstract of the Ph.D. dissertation. Apatity. (In Russ.) Interpretation of geochemical data. 2001. Ed. E. V. Sklyarov. Moscow. (In Russ.)
- Miroshnikova, Ya. A., Pakhomovsky, Ya. A. 2015. Vein bodies in the "Moroshkovoe Lake" target (Monchegorsk area) and related mineralization. *Vestnik of the MSTU*, 18(2), pp. 280–286. (In Russ.)
- Miroshnikova, Ya. A., Chernyavsky, A. V., Bazay, A. V. 2019. Platinum-metal mineralization of the Yuzhnosopchinsky-1 locality (Monchegorsk ore district, Kola Peninsula). *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 148(1), pp. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1481.03>. (In Russ.)
- Rundkvist, T. V., Pripachkin, P. V., Grebnev, R. A., Sevostyanov, A. Y. et al. 2011. Geological structure and features of localization of PGE mineralization in the eastern part of the South Sopchinsky mafic-ultramafic massif (Kola Peninsula). *Ores and Metals*, 5, pp. 58–68. (In Russ.)
- Rundkvist, T. V., Pripachkin, P. V., Grebnev, R. A. 2012. Features of the relationships between intrusive bodies in the contact zone of ultramafic-mafic complexes Monchegorsk and Main Ridge (Yuzhnosopchinsky area, Kola Peninsula). *Lithosphere*, 3, pp. 65–79. (In Russ.)
- Rundkvist, T. V., Pripachkin, P. V., Groshev, N. Yu., Miroshnikova, Ya. A. 2017. Magmatic megabreccia in the Early Proterozoic mafic-ultramafic Monchegorsk complex (Kola region). Materials of the scientific conference *Geodynamics of the Early Precambrian: similarities and differences with Phanerozoic*. Petrozavodsk, pp. 200–203. (In Russ.)
- Rundkvist, T. V., Pripachkin, P. V., Miroshnikova, Ya. A., Bazay, A. V. 2016. New data on geological structure and noble metals mineralization in Yuzhnosopchinsky massif (Early Proterozoic Complex in Monchegorsk Area, Kola Region). *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*, 3(26), pp. 44–52. (In Russ.)
- Chashchin, V. V., Bayanova, T. B., Savchenko, Y. E., Serov, P. A. et al. 2020. Petrogenesis and age of rocks from the lower zone of the platinum-bearing Monchetundra mafic massif, Kola Peninsula. *Petrology*, 28(2), pp. 150–183. DOI: <https://doi.org/10.31857/s0869590320020028>. (In Russ.)
- Chashchin, V. V., Petrov, S. V., Drogobuzhskaya, S. V. 2018. Loybishnyun low-sulfide Pt-Pd deposit of the Monchetundra basic massif, Kola Peninsula, Russia. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, 60(5), pp. 472–503. DOI: 10.1134/S0016777018050027. (In Russ.)
- Sharkov, E. V., Chistyakov, A. V. 2014. Geological and petrological aspects of EPG-Cu-Ni mineralization in the Early Paleoproterozoic Monchegorsk layered mafic-ultramafic complex (Kola Peninsula). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, 56(3), pp. 171–194. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0016777014030046>. (In Russ.)
- Alapieti, T. T., Lahtinen, J. J. 2002. Platinum-group element mineralization in layered intrusions of northern Finland and the Kola Peninsula, Russia. In *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements*. Ed. L. J. Cabri. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Special Vol. 54, pp. 507–546.
- Easton, R. M., James, R. S., Jobin-Bevans, L. S. 2010. Geological guidebook to the Paleoproterozoic East Bull Lake intrusive suite plutons at East Bull Lake, Agnew Lake and River Valley: A field trip for the 11th International Platinum Symposium. Ontario Geological Survey, Open File Report 6253, 108 p.
- Pijina, M. J., Alapieti, T. T., McElduff, B. M. 1992. Platinum-group element mineralization in the Suhanko-Konttijärvi intrusion, Finland. *Australian Journal of Earth Sciences*, 39(3), pp. 303–313. DOI: <https://doi.org/10.1080/08120099208728025>.
- McDonough, W. F., Sun, S.-s. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3–4), pp. 223–253. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).
- Miroshnikova, Ya. A., Martynov, E. V. 2020. Factors affecting distribution of precious metals in rocks of the South Sopchinsky massif and the 'Moroshkovoe Lake' target (southern framing of the Monchegorsk pluton, Kola Peninsula): Experience of applying statistical methods. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 539(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/539/1/012155>.
- Pripachkin, P. V., Rundkvist, T. V., Miroshnikova, Y. A., Chernyavsky, A. V. et al. 2016. Geological structure and ore mineralization of the South Sopchinsky and Gabbro-10 massifs and the Moroshkovoe Lake target, Monchegorsk area, Kola Peninsula, Russia. *Mineralium Deposita*, 51(8), pp. 973–992. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0605-0>.
- Sun, S.-S., McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In *Magmatism in the Ocean Basins*. Eds.: Saunders A. D., Narry M. J. Geological Society Special Publication, 42, pp. 313–345.

Сведения об авторе

Мирошникова Яна Андреевна – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; e-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru

Yana A. Miroshnikova – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk Region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Junior Researcher; e-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru