

МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

DOI: 10.30695/zrmo/2019.1481.03

© Д. члены Я. А. МИРОШНИКОВА, А. В. ЧЕРНЯВСКИЙ, А. В. БАЗАЙ

**РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
УЧАСТКА ЮЖНОСОПЧИНСКИЙ-1 (МОНЧЕГОРСКИЙ
РУДНЫЙ РАЙОН, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)**

*Геологический институт Кольского научного центра РАН,
184209, Апатиты, ул. Ферсмана, 14;
e-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru*

В статье приведены новые данные о составе благороднометалльной минерализации участка Южносопчинский-1, находящегося в зоне сочленения двух крупных расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов — Мончегорского плутона и Мончетундровской интрузии. В пределах участка Южносопчинский-1 развиты мелко-среднезернистые метапироксениты и крупнозернистые метагаббронориты (предположительно относящиеся к двум разным магматическим фазам). В пироксенитах локализованы жильные тела крупнозернистых пород плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава, с которыми связана сульфидная, оксидная и платинометалльная минерализации. В жильных телах развита в основном борнит-халькопирит-миллеритовая минерализация, которая пространственно ассоциирует с магнетит-ильменитовой минерализацией. Среди минералов платиновых металлов преобладают арсениды, теллуриды и сульфиды Pd. Образование платинометалльной минерализации в позднемагматических жилах связано с постмагматическим метаморфо-метасоматическим преобразованием пород.

Ключевые слова: расслоенные интрузии, нориты, габбронориты, жильные тела, сульфидная и оксидная минерализация, минералы платиновых металлов.

*Ya. A. MIROSHNIKOVA, A. V. CHERNYAVSKY, A. V. BAZAY. PLATINUM-METAL
MINERALIZATION OF THE YUZHNSOPCHINSKY-1 LOCALITY (MONCHEGORSK
ORE DISTRICT, KOLA PENINSULA)*

*Geological Institute, Kola Science Centre RAS,
Apatity, Russia*

The article presents new data on composition of the platinum group metals (PGM) mineralization of the Yuzhnosopchinsky-1 locality, in the massif of the same name. In the central part of the Kola Region this area is located in the zone of contact between two large layered mafic-ultramafic intrusions: Monchegorsky pluton and Monchetundra intrusion. There is the contact between fine-medium-grained metapyroxenites and coarse-grained metagabbronorites. At some distance from the contact, coarse-grained bodies of plagioclase-pyroxene and plagioclase-amphibole composition contain sulfide, oxide and PGM mineralization. Ore minerals in these vein-shaped bodies are represented mainly by the bornite-chalcopyrite-millerite group, in close spatial association with the magnetite-ilmenite group. Arsenides, tellurides and sulfides of palladium predominate among the PGM minerals.

Key words: layered intrusions, norites, gabbronorites, vein bodies, sulfide and oxide mineralization, minerals of platinum group metals.

ВВЕДЕНИЕ

Участок Южносопчинский-1 находится в восточной части так называемого Южносопчинского массива основных-ультраосновных пород, в центре Кольского региона, в зоне сочленения двух крупных раннепротерозойских расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузивов — Мончеплутона и Мончетундровской интрузии (рис. 1, *врезка*). С юго-запада Южносопчинский массив граничит с образованиями раннепротерозойского комплекса г. Арваренч, с северо-востока контактирует с архейскими диорито-гнейсами вежетундровского комплекса, а с севера — с раннепротерозойскими породами Мончеплутона (рис. 1). Массив имеет мощность 550—600 м, вытянут на 10 км в северо-западном направлении и, по данным бурения, погружается на юго-запад под углом 60° (Гроховская и др., 2012; Мирошникова, 2014).

Южносопчинский массив был обнаружен в Мончегорском рудном районе в 1950-е годы, однако лишь в 90-е годы геологами ОАО «Центрально-Кольская экспедиция» в нем была выявлена платинометалльная минерализация, ассоциирующая с сульфидами. В геологическом строении этого массива выделяются две зоны. Нижняя (так называемая «расслоенная серия») представлена переслаивающимися метаноритами, метапироксенитами и метаперидотитами, верхняя сложена метагабброноритами и метагаббро (Чашин и др., 2016). К контакту пород «расслоенной серии» и метагабброноритов приурочена зона развития эруптивной брекчии с пегматоидными и жильными телами различного состава. В этой зоне отмечены ксенолиты метапироксенитов в метагабброноритах (Рундквист и др., 2011; Гроховская и др., 2012; Рундквист и др., 2012). Такой характер взаимоотношений пород позволил некоторым исследователям предположить, что породы «расслоенной серии» Южносопчинского массива представляют собой его более раннюю, а метагаббронориты — более позднюю магматическую фазы (Prirachkin et al., 2016).

По данным Т. Л. Гроховской и соавторов (2012), платинометалльная минерализация Южносопчинского массива связана с пегматоидными пироксенитами, которые образуют шпирь, обособления неправильной формы и жильные образования среди среднезернистых пироксенитов «расслоенной серии». Пегматоидные пироксениты содержат вкрапленность и шпирь борнит-халькопирит-миллеритового состава, а также пентландит-халькопирит-пирротиную вкрапленность. Оксидные выделения сложены ильменитом и магнетитом, образующими структуры распада. На контакте сульфидов и оксидов выделяются минералы платиновых металлов — висмутотеллуриды и арсениды Pd, сульфиды Pt и Pd, палластанид, изомертит, сперилит, холлингуортит, ирарсит, звягинцевит, лафламмит, торнрусит, нильсенит, электрум, самородное серебро и не имеющие названия фазы — Cu_3Pt , Pd_6AgTe_4 , Pd_6HgTe_4 , $(Pd,Ag)_2S$ (Гроховская и др., 2012). Ю. Н. Нерадовский отмечает широкое развитие в пределах Южносопчинского массива арсенидов и сульфоарсенидов благородных металлов (Расслоенные..., 2004).

Важно отметить, что по данным предыдущих исследователей (Рундквист и др., 2011, 2012; Prirachkin et al., 2016), сульфидное и ассоциирующее с ним платинометалльное оруденение «расслоенной зоны» Южносопчинского массива связано не с расслоенностью пород, а с многочисленными позднемагматическими жилами. Рудная минерализация этих жил изучена крайне слабо. С учетом перспективности на элементы платиновой группы именно этих образований, нами в пределах участка Южносопчинский-1 были детально изучены особенности строения и состава жильных тел и связанной с ними рудной минерализации.

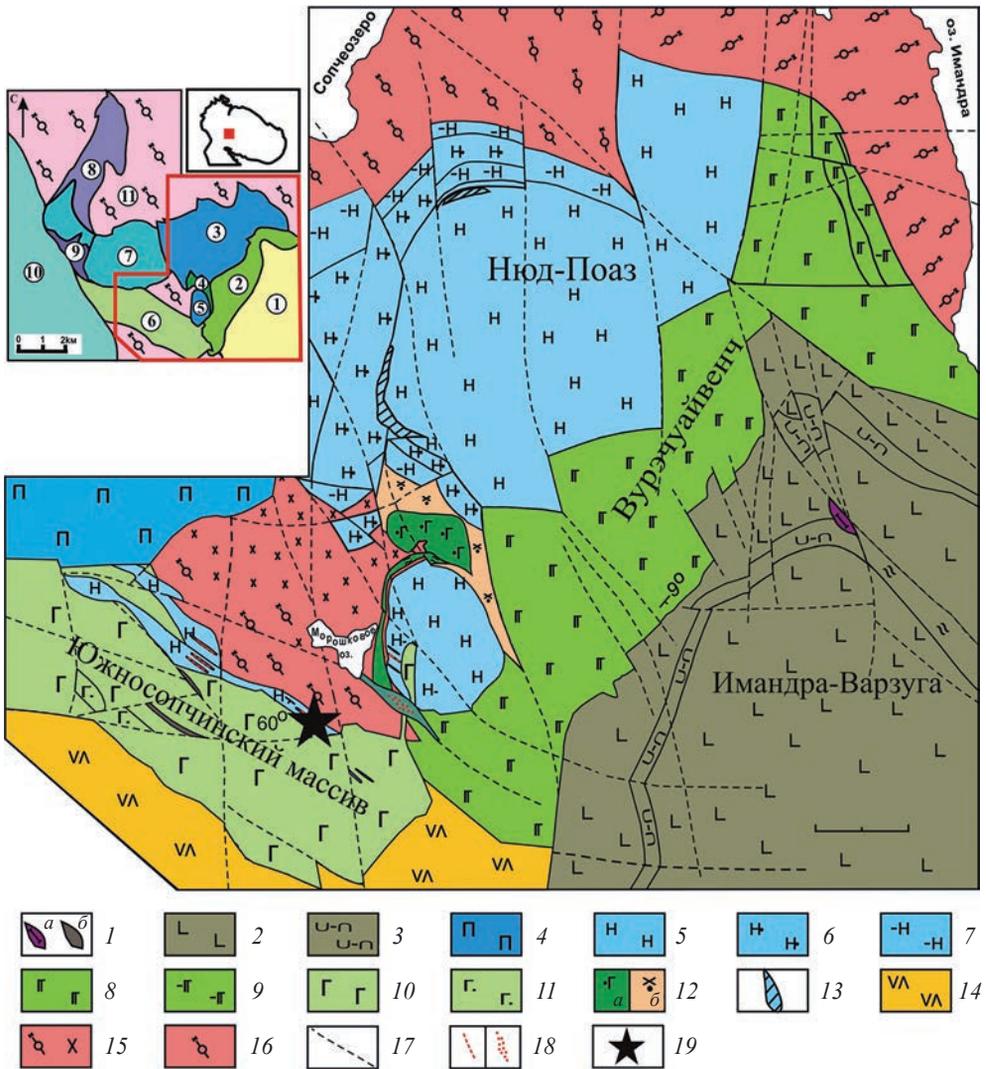


Рис. 1. Схема геологического строения восточной части Мончегорского плутона (по: Рундквист и др., 2009, с изменениями).

Породы дайкового комплекса: 1 — серпентинизированные перидотиты (а), метагаббродолериты (б). Вулканогенно-осадочные породы Имандра-Варзугской зоны карелид: 2 — метабазальты, эпидот-амфиболовые и амфибол-биотитовые сланцы; 3 — туфо-алевролиты с прослоями кварцитов. Породы Мончегорского интрузивного раннепротерозойского комплекса: 4 — пироксениты; 5 — нориты; 6 — оливиновые нориты; 7 — нориты пойкилитовые; 8 — габбронориты, лейкократовое габбро и анортзиты; 9 — габбронориты пойкилитовые; 10 — лейкократовое и мезократовое габбро; 11 — габбро амфиболизированные; 12 — кварцевые габбро (а), кварцевые диориты (б); 13 — гибридные породы «критического» горизонта Нюда, 14 — раннепротерозойские дациты и ридолиты арваренской свиты. Породы метасадочного архейского комплекса: 15 — диорито-гнейсы и метadiориты; 16 — гранат-биотитовые гнейсы; 17 — разрывные нарушения; 18 — зоны расланцевания пород различного генезиса; 19 — расположение участка Южносопчинский-1. На врезке в левом верхнем углу — схема Мончегорского рудного узла. Цифрами обозначены: 1 — вулканогенно-осадочные породы зоны Имандра-Варзуга; массивы и блоки Мончегорского комплекса; 2 — предгорий Вурэчуайенч, 3 — Нюд-Поаз; 4 — Габбро-10; 5 — Верхний Нюд; 6 — Южносопчинский; 7 — Сопча; 8 — Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ); 9 — Дунитовый блок; 10 — Мончетундровский массив; 11 — архейские гранат-биотитовые гнейсы. Красным прямоугольником в правом верхнем углу на врезке показано местоположение Мончегорского рудного узла на Кольском полуострове.

Fig. 1. Geological scheme of the eastern part of the Monchegorsk pluton (after Rundkvist et al., 2009, with simplifications).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ЖИЛ УЧАСТКА ЮЖНОСОПЧИНСКИЙ-1

Согласно нашим данным, на участке Южносопчинский-1 (рис. 1) распространены две характерные для Южносопчинского массива породные разновидности: средне-мелкозернистые пироксениты и средне-крупнозернистые габбронориты. Породы интенсивно амфиболизированы и рассланцованы. В пироксенитах присутствуют единичные выделения сульфидов. Контакт между пироксенитами и габброноритами резкий, линия контакта имеет сложную извилистую форму. Углы залегания плоскости контакта сильно варьируют, преобладают крутые падения — 70—90°. Среди габброноритов наблюдаются ксенолиты пироксенитов неправильной формы. Участки, сложенные габброноритами, также имеют неправильную форму, в ряде случаев — это тонкие апофизы, разделяющие блоки пироксенитов. Пироксениты вблизи контакта интенсивно рассланцованы, причем направление сланцеватости согласуется с плоскостью контакта. Более подробно характер контактовых взаимоотношений пород описан в работе Т. В. Рундквист и соавторов (2012).

На удалении от контакта с габброноритами в пироксенитах наблюдаются жильные образования плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава с сульфидной, оксидной и платинометалльной минерализацией (рис. 2).

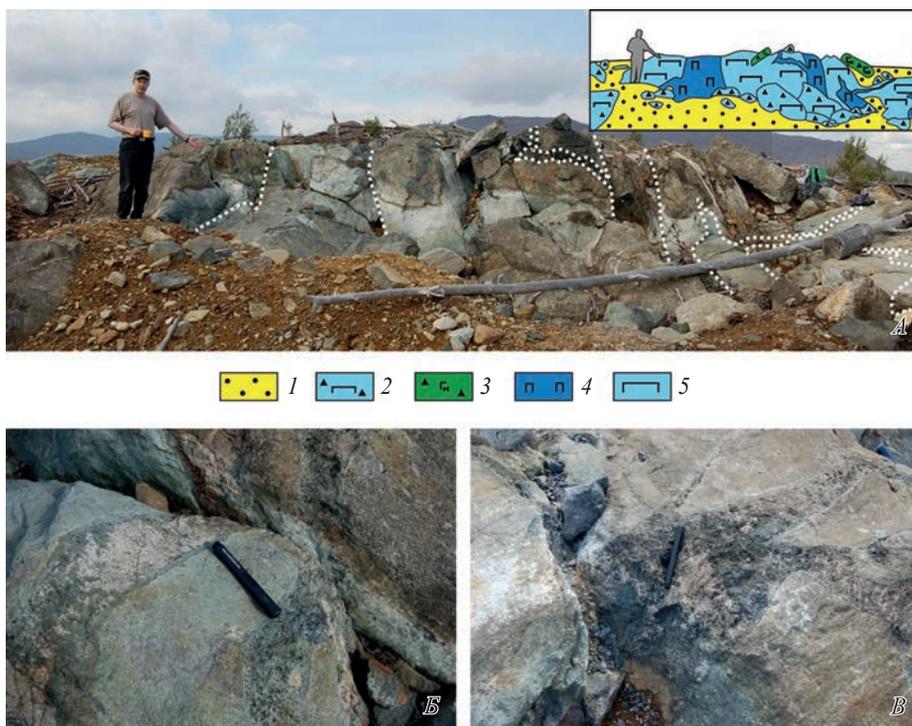


Рис. 2. А — Обнажение в центре участка Южносопчинский-1 (по: Рундквист и др., 2011, с изменениями). Контуры жильных тел выделены белым пунктиром. На врезке в правом верхнем углу: 1 — рыхлые отложения; 2 — глыбы пироксенитов; 3 — глыбы габброноритов; 4 — жильные тела; 5 — пироксениты. Б — две субпараллельные жилы плагиоклаз-амфиболового состава. В — сложная ветвящаяся форма плагиоклаз-пироксеновой жилы.

Fig. 2. А — Outcrop in the center of the Yuzhnosopchinsky-1 locality (after T. V. Rundkvist et al., 2011, with simplifications).

Мощность жильных тел достигает 2 м. Крупные жилы имеют северо-западное простирание и крутое падение — от 70° на северо-восток до субвертикального. По отношению к раслоенности пироксенитов жилы занимают в целом субсогласное положение. Многочисленные более мелкие апофизы, отходящие от мощных жил по всем направлениям, характеризуются сложной извилистой формой. В подавляющем большинстве случаев апофизы являются секущими по отношению к вмещающим пироксенитам.

По простиранию участки жил, сложенные ортопироксеном и плагиоклазом, переходят в участки амфибол-плагиоклазового состава. В обнажениях хорошо видны крупные кристаллы темно-зеленой роговой обманки и светлые участки, сложенные плагиоклазом. В сколе жилы сложены черной, с зеленоватым оттенком, крупнозернистой массивной породой, в которой развиты крупные выделения магнетита и мелкая сульфидная вкрапленность. Как уже отмечалось выше, с жилами связана не только оксидная и сульфидная, но и платинометаллическая минерализация (Рундквист и др., 2011).

Петрографические исследования показали, что минеральный состав жил меняется от преимущественно ортопироксенового и плагиоклаз-пироксенового до плагиоклаз-амфиболового.

Ортопироксен в породах представлен крупными зернами размером до 2 мм. Клинопироксен заполняет интерстиции между зернами ортопироксена и чаще всего образует крупные (размер зерен 3.5—6 мм) ойкокристаллы с включениями мелких зерен ортопироксена и плагиоклаза. Содержание пироксенов в жильных плагиоклаз-пироксеновых породах может достигать 70 %.

Плагиоклаз образует ксеноморфные, реже изометричные зерна размером от 1 до 6 мм. Содержание плагиоклаза колеблется от 15 (в жильных породах плагиоклаз-пироксенового состава) до 45 % (в жильных породах плагиоклаз-амфиболового состава).

По трещинам и краям зерен первичных минералов развиваются хлорит, клиноцоизит, амфиболы (роговая обманка и минералы тремолит-актинолитового ряда), иногда встречается биотит.

Содержание рудных минералов изменчиво — от единичных зерен до 3 % объема породы. Сульфиды и оксиды наблюдаются преимущественно в интеркумулясных скоплениях поздних силикатов, чаще всего амфиболов и хлоритов.

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЖИЛЬНЫХ ТЕЛ

Изучение рудных минералов проводилось на оптическом микроскопе AxioPlan в отраженном поляризованном свете с блоком видеорегистрации. Исследование морфологии, фазовой и внутрифазовой неоднородности минералов проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO-1450 с оценкой состава минеральных фаз посредством энергодисперсионного спектрометра (ЭДС) Bruker XFlash 5010 (ГИ КНЦ РАН). Химический анализ однородных зерен минералов размером более 20 мкм выполнен на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca MS-46 в Геологическом институте КНЦ РАН. Результаты исследования рудной минерализации в жильных телах плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава участка Южносопчинский-1 приведены в таблице.

Сульфиды в жилах обычно представлены борнитом, халькопиритом и миллеритом, реже встречаются пирротин, пирит и пентландит.

Рудные минералы в жильных телах участка Южносопчинский-1
Ore minerals in vein-shaped bodies of the Yuzhnosopchinsky-1 locality

Минерал	Формула	Встречаемость	Минерал	Формула	Встречаемость
<i>Элементы</i>			<i>Несгруппированные арсениды</i>		
Электрум	AuAg	X	Стиллуотерит	Pd ₈ As ₃	X
Медь	Cu	X	Винцентит	Pd ₃ As	XX
<i>Сульфиды и их аналоги, сульфосоли</i>			<i>Группа галенита</i>		
<i>Сплавы металлоидов с ЭПГ</i>			Галенит	PbS	XXX
Атенеит	Pd ₂ (As _{0.75} Hg _{0.25})	X	Клаусталит	PbSe	XX
Паларстанид	Pd ₃ (Sn,As) ₂	X	<i>Сульфиды сидерофильных элементов</i>		
<i>Группа никелина</i>			Пирротин	Fe _{1-x} S	XXX
Котульскит	PdTe	XX	Пентландит	(Fe,Ni) ₉ S ₈	XXX
Соболевскит	PdBi	X	Миллерит	NiS	XXXX
<i>Группа хриссталлейита</i>			<i>Группа сфалерита—халькопирита</i>		
Сопчеит	Ag ₄ Pd ₃ Te ₄	X	Халькопирит	CuFeS ₂	XXXX
<i>Группа куперита</i>			Сфалерит	ZnS	XXX
Брэггит	(Pt,Pd,Ni)S	X	<i>Группа халькозина</i>		
Высоцкит	(Pd,Ni)S	X	Халькозин	Cu ₂ S	XXX
<i>Группа пирита</i>			Джирит	Cu ₈ S ₅	XXX
Пирит	FeS ₂	XXX	Анилит	Cu ₇ S ₄	XXX
Сперрилит	PtAs ₂	XX	<i>Группа ковеллина</i>		
<i>Группа кобальтина</i>			Ковеллин	CuS	XXX
Герсдорфит	NiAsS	X	Борнит	Cu ₅ FeS ₄	XXXX
Холлингуортит	(Rh,Pt,Pd)AsS	X	<i>Оксиды</i>		
Падмаит	PdBiSe	X	Магнетит	Fe ₃ O ₄	XXXX
<i>Несгруппированные арсениды</i>			Ильменит	FeTiO ₃	XXXX
Палладоарсенид	Pd ₂ As	X			

Примечание. X — единичные находки, XX — редкий, XXX — часто встречающийся, XXXX — главный.

Халькопирит образует зерна неправильной формы размером от первых микрон до 1 мм, но чаще всего наблюдается в сростаниях с борнитом, миллеритом и пирротинном. Размеры таких агрегатов достигают 2—3 мм. Встречены также и более сложные сростания халькопирита с борнитом и магнетитом.

Борнит образует не только сростания с другими минералами, но и самостоятельные зерна, размер которых колеблется от первых микрон до 0.4 мм. Размер отдельных индивидов *миллерита* достигает 0.6 мм.

Пентландит образует сростания с халькопиритом и магнетитом. Размер отдельных индивидов достигает 0.1—0.4 мм.

Пирротин и *пирит* представлены мелкими неправильными зернами размером до 20 мкм.

Сфалерит присутствует в виде редких сростаний с борнитом и халькопиритом. По краям и трещинам в зернах главных сульфидных минералов развиваются ковеллин, халькозин, джирит и анилит.

Единичные зерна *галенита* размером до 10 мкм встречены в силикатной части породы и в виде включений в халькопирите.

Среди оксидных минералов главным является титаномагнетит, также встречаются магнетит и ильменит.

Титаномагнетит представлен крупными изометричными и ксеноморфными кристаллами размером 1—4 мм. В этих кристаллах наблюдаются структуры распада, так называемые «ильменитовые решетки».

Ильменит также присутствует в виде мелких выделений неправильной формы размером 5—20 мкм.

Магнетит образует сростки мелких зерен (размер индивидов 2 мкм—0.2 мм). В зернах магнетита наблюдаются включения миллерита, борнита и пентландита. Кроме того, он входит в состав агрегатов, сложенных халькопиритом и борнитом. Размер включений составляет 10—20 мкм. Встречен сложный сросток магнетита с миллеритом, герсдорфитом и пиритом, размер сростка — 20 мкм.

Минералы благородных металлов выделяются на границах главных сульфидных минералов или в виде включений в них, но обнаружены индивиды, которые находятся в скоплениях зерен амфибола и хлорита.

Электрум встречен в виде включений на периферии зерен борнита и халькопирита и в силикатной части породы. Размер индивидов 2—10 мкм, форма изометричная или неправильная. Химический состав (мас. %): Ag 34.64—47.06, Au 52.94—59.45. Присутствуют примеси Cu (6.12—7.13), Fe (1.36—2.35), Pt (до 1.47), Ni (до 0.12 мас. %). Электрум образует срастания с винцентитом и котульскитом (рис. 3, з). Размер агрегатов достигает 20 мкм. В ассоциации также наблюдается ковеллин.

Атенеит ($\text{Pd}_2\text{As}_{0.75}\text{Hg}_{0.25}$) — редкий минерал, который выделяется на границе зерен халькопирита и в силикатах. Размер индивидов 5—15 мкм, форма неправильная. Химический состав (мас. %): Pd 72.20—73.55, Hg 8.51—8.69, As 17.88—19.07. В составе присутствует примесь Ni (0.04—0.06 мас. %). В ассоциацию входит борнит.

Паларстанид $\text{Pd}_5(\text{Sn,As})_2$ — единичная находка. Встречен в виде срастания со сперрилитом и холлингуортитом. Размер сростка 5 мкм. Химический состав минерала (мас. %): Pd 76.41, Sn 3.85, As 18.30. В составе присутствует Fe (1.43 мас. %). В ассоциации присутствуют халькопирит, миллерит, борнит и ковеллин.

Котульскит (PdTe) — один из самых часто встречаемых минералов элементов платиновой группы. Размеры выделений от 1 до 20 мкм. Форма неправильная, округлая, каплевидная, реже — изометричная. Химический состав (мас. %): Pd 36.71—52.02, Te 22.96—45.71, Bi 11.04—35.52. В составе одного из индивидов присутствует примесь As (0.60 мас. %). Обнаружен в виде включений в халькопирите, но чаще всего находится в срастаниях с другими минералами элементов платиновой группы на периферии зерен борнита или халькопирита. Иногда наблюдается в зернах магнетита и в силикатной части породы. Отмечено сложное срастание с сопчеитом, палладоарсенидом, сперрилитом и борнитом (рис. 3, б). В ассоциации также отмечаются винцентит, высокоцит, холлингуортит, электрум, халькозин и ковеллин, иногда миллерит и ильменит.

Соболевскит (PdBi) отмечается довольно редко. Размер индивидов 1—5 мкм. Форма округлая, изометричная. Химический состав (мас. %): Pd 37.10—40.22, Bi 40.48—62.90, Te до 19.39. Присутствует примесь Ni (0.35—0.45 мас. %), в составе одного индивида отмечены примеси Ru (2.90 мас. %) и Ag (0.81 мас. %). Находится в виде включений в халькопирите, на периферии

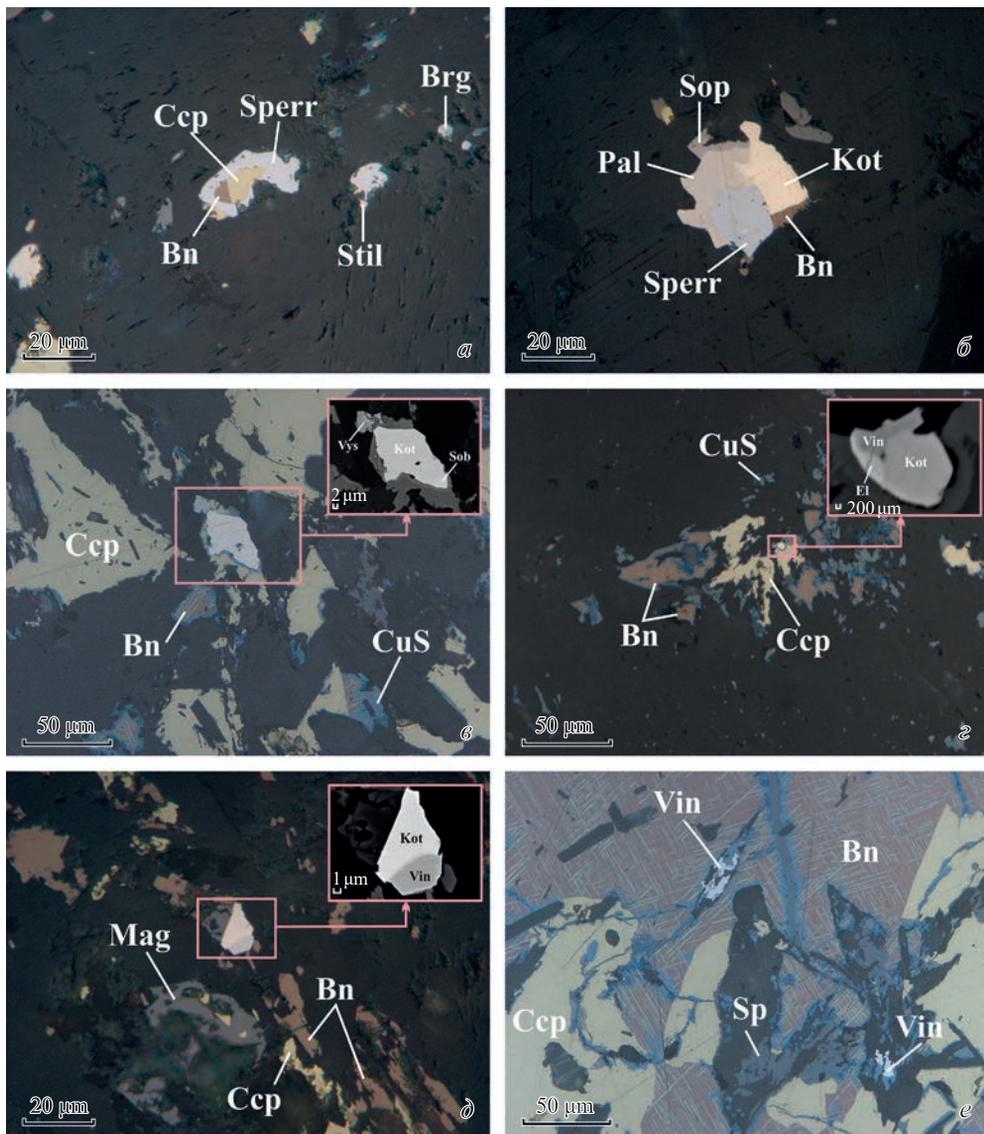


Рис. 3. Морфология рудных минералов в жильных телах участка Южносопчинский-1.

a — сложное срастание борнита (Bn), халькопирита (Ccp) и сперрилита (Sperr), выделения стиллуотерита (Stil) и брэггита (Brg); *б* — срастание борнита (Bn), котульскита (Kot), сперрилита (Sperr), сопчита (Sop) и палладодарсенита (Pal); *в* — включение висоцкита (Vys) на границе зерна халькопирита (Ccp), срастание котульскита (Kot) с соболевскитом (Sob); *г* — срастание винцентита (Vin), котульскита (Kot) и электрума (El) на границе зерна халькопирита (Ccp); *д* — срастание винцентита (Vin) и котульскита (Kot); *е* — срастание халькопирита (Ccp) с борнитом (Bn) и сфалеритом (Sp), включения винцентита (Vin). Основные (цветные) снимки — изображение в отраженном поляризованном свете, детальные (черно-белые) — в обратнорассеянных электронах.

Fig. 3. Morphology of ore minerals in the vein bodies of the Yuzhnosopchinsky-1 locality.

зерен борнита или халькопирита, а также на границе срастаний халькопирита с борнитом и с магнетитом. Обнаружено крупное зерно соболевскита размером 10 мкм с включением падмаита и срастание соболевскита с котульскитом размером 50 мкм (рис. 3, в). В ассоциации присутствуют висоцкит, клаусталит, миллерит, ковеллин.

Сопчеит ($\text{Ag}_4\text{Pd}_3\text{Te}_4$) — редкий минерал, встречается в составе сростания с котульскитом, палладоарсенидом, сперрилитом и борнитом. Размер индивида до 20 мкм, неправильной формы. Химический состав (мас. %): Ag 34.10, Pd 25.19, Te 40.71. В ассоциации с палладоарсенидом, сперрилитом, котульскитом, борнитом и магнетитом.

Брэггит ((Pt,Pd,Ni)S) — единичная находка. Зерно округлой формы размером 4 мкм. Химический состав (мас. %): Pt 84.80, Pd 1.99, Ni 1.04, S 12.17. Минерал обнаружен в силикатной части породы (рис. 3, а). В ассоциации присутствуют сперрилит, стиллуотерит, халькопирит и борнит.

Высоцкит (Pd,Ni)S — единичная находка. Размер индивида 10 мкм, форма неправильная. Химический состав (мас. %): Pd 50.27, Ni 9.01, S 21.17. В составе индивида отмечено присутствие Pt (19.55 мас. %). Минерал выделяется на границе зерна халькопирита (рис. 3, в). В ассоциации присутствуют котульскит, соболевскит, борнит и сульфиды меди.

Сперрилит (PtAs_2) — отмечен в нескольких различных сростаниях. Форма индивидов неправильная, угловатая и каплевидная. Размер зерен от 2 до 25 мкм. Химический состав (мас. %): Pt 48.75—56.05, As 42.29—45.10. Отмечены примеси Pd (0.31—6.71 мас. %) и Rh (2.25 мас. %). Сперрилит находится в ассоциации со стиллуотеритом, брэггитом, холлингуортитом, паларстанидом, сопчеитом, палладоарсенидом, котульскитом, халькопиритом и борнитом (рис. 3, а, б).

Холлингуортит ((Rh,Pt,Pd)AsS) — редкий минерал, встречается в виде отдельных зерен в силикатной части породы и простого сростания со сперрилитом на периферии зерен халькопирита, а также в составе сростания с паларстанидом и сперрилитом. Размер индивидов 4—6 мкм. Химический состав (мас. %): Rh 31.53—46.28, Pt 3.87—17.64, Pd 0—1.71, As 31.43—41.12, S 13.50—15.88. В составе некоторых индивидов отмечается примесь Ir (до 1.95 мас. %) и Ni (0.42 мас. %). Ассоциирует с халькопиритом, борнитом, ковеллином, магнетитом и ильменитом.

Падмаит (PdBiSe) — единичная находка. Образует изометричное включение размером 2 мкм в соболевските. Размер сростка падмаита и соболевскита 10 мкм. Химический состав (мас. %): Pd 39.30, Bi 46.99, Se 9.15. В составе присутствуют примеси Ni (0.46 мас. %) и S (4.10 мас. %).

Палладоарсенид (Pd_2As) — единичная находка, входит в состав сростания с сопчеитом, сперрилитом, котульскитом и борнитом в силикатной части породы, размер сростания 20 мкм. Форма выделения неправильная. Химический состав (мас. %): Pd 74.25, As 22.50. В составе индивида отмечена примесь Hg (3.25 мас. %).

Стиллуотерит (Pd_8As_3) — единичная находка (рис. 3, а). Форма индивида неправильная, размер до 5 мкм. Химический состав (мас. %): Pd 77.97, As 21.90. Также отмечается небольшая примесь Ni (0.13 мас. %). Минерал обнаружен в силикатной части породы в ассоциации со сперрилитом, брэггитом, халькопиритом и борнитом.

Винцентит (Pd_3As) — отмечен в нескольких случаях. Размер встреченных индивидов 1—15 мкм. Форма каплевидная или неправильная угловатая. Химический состав (мас. %): Pd 67.55—79.74, As 17.92—21.38. В составе некоторых индивидов отмечаются примеси Te (до 2.10), Sb (до 0.61), Fe (до 2.64), Ni (до 2.74) и Hg (до 5.62 мас. %). Встречается как в виде самостоятельных зерен в силикатной части породы и на периферии зерен миллерита и магнетита, так и в сростаниях на границах силикатной части с борнитом и халькопиритом.

том (рис. 3, е). Самые частые сростания наблюдаются с котульскитом и электрумом (рис. 3, з, д). В ассоциации также встречены холлингуортит, халькозин и ковеллин.

Клаусталит (PbSe) является еще одним из самых распространенных минералов наряду с котульскитом. Индивиды размером 1—10 мкм, округлой, неправильной, вытянутой и каплевидной формы. Химический состав (мас. %): Pb 78.67—79.42, Se 20.58—21.33. Встречается в силикатной части породы, в виде включения на границе борнита и халькопирита или в виде каплевидных рассеянных включений в субпериферийной части халькопирита. Ассоциирует с электрумом, миллеритом, ковеллином и джиритом.

ВЫВОДЫ

Жильные тела участка Южносопчинский-1 развиты в пироксенитах в зоне их контакта с габброноритами. Наблюдаемые в обнажениях особенности характера взаимоотношений пород позволяют предполагать следующую последовательность их образования: пироксениты (первая интрузивная фаза), габбронориты (вторая интрузивная фаза), позднемагматические плагиоклаз-пироксеновые и плагиоклаз-амфиболовые жилы.

В жильных телах развита в основном борнит-халькопирит-миллеритовая минерализация, которая пространственно ассоциирует с магнетит-ильменитовой минерализацией. На контактах сульфидов Cu, Fe и Ni с водосодержащими силикатами выделяются минералы благородных металлов (арсениды, теллуриды и сульфиды Pd).

Вероятно, на начальном этапе формирования жильных тел образовались титаномагнетит, халькопирит, пирротин и пентландит. Затем при метаморфо-метасоматическом преобразовании пород титаномагнетит был замещен вторичными магнетитом и ильменитом, произошла кристаллизация сульфидов борнит-халькопирит-миллеритовой ассоциации и минералов элементов платиновой группы, образование поздних пирита и сульфидов Cu. Возможно, образование минералов элементов платиновой группы обусловлено локальным обогащением флюида S, Se, As, Te, Hg. Наличие постоянной примеси Hg в винцентите и наличие Se (клаусталит) говорит о низкотемпературном типе минерализации.

Авторы выражают благодарность рецензенту статьи д. г.-м. н., проф. А. Г. Булаху за объективные замечания, позволившие сделать статью более понятной и гармоничной. Авторы признательны своим коллегам — к. г.-м. н. П. В. Припачкину и А. А. Компанченко за поддержку и ценные советы при написании статьи.

Список литературы

Гроховская Т. Л., Иванченко В. Н., Каримова О. В., Грибоедова И. Г., Самошникова Л. А. Геологическое строение, минералогия и генезис ЭПГ-минерализации массива Южная Сопча, Мончегорский комплекс, Россия // Геология рудн. месторожд. 2012. Т. 54. № 5. С. 416—440.

Мирошникова Я. А. Геологическое строение Южносопчинского массива (Мончегорский район): новые данные / Проблемы Арктического региона: Труды 14-й Междунар. научн. конф. студентов и аспирантов. Мурманск, май 2014 г. Мурманск, 2014. С. 41—46.

Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Часть 1 / Под ред. В. Ф. Смолькина, Ф. П. Митрофанова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. 177 с.

Рундквист Т. В., Припачкин П. В., Гребнев Р. А. К вопросу о геологическом строении и платиноносности восточной части Мончегорского комплекса (Кольский полуостров) на основе данных кумулюсной стратиграфии / Стратегические минеральные ресурсы Лапландии — основа устойчивого развития Севера. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. С. 51—64.

Рундквист Т. В., Припачкин П. В., Гребнев Р. А., Севостьянов А. Ю., Мирошникова Я. А. 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.

Чащин В. В., Баянова Т. Б., Митрофанов Ф. П., Серов П. А. Малосульфидные платино-металльные руды палеопротерозойского Мончегорского плутона и его южного обрамления (Кольский полуостров, Россия): геологическая характеристика и изотопно-геохронологические свидетельства полихронности рудно-магматических систем // Геология рудн. месторожд. 2016. Т. 58. № 1. С. 41—63.

References

Grohovskaya T. L., Ivanchenko V. N., Karimova O. V., Griboyedova I. G., Samoshnikova L. A. Geological structure, mineralization and genesis of PGE mineralization of the South Sopcha massif, Monchegorsk complex, Russia. *Geol. Ore Deposits*. 2012. Vol. 54. N 5. P. 416—440 (in Russian).

Layered intrusions of the Monchegorsk ore region: petrology, mineralization, isotopy, deep structure. Part 1. Ed. by F. P. Mitrofanov, V. F. Smolkin. Apatity: Kola Science Center RAS, 2004. 177 p. (in Russian).

Miroshnikova Ya. A. Geological structure of the South Sopcha massif (Monchegorsk area): new data. In: *Problems of the Arctic Region. Proc. 14th Int. Sci. Conf. of students and graduate students.* Murmansk, may 2014. Murmansk, 2014. P. 41—46 (in Russian).

Rundkvist T. V., Pripachkin P. V., Grebnev R. A. On the problem of the geological setting and distribution of the PGE-mineralization in the eastern part of the Monchegorsk complex (Kola Peninsula) — on the basis of cumulate stratigraphic data. In: *Strategic Mineral Resources of Lapland — Base for the Sustainable Development of the North.* Apatity: Kola Science Center RAS, 2009. P. 51—64 (in Russian).

Rundkvist T. V., Pripachkin P. V., Grebnev R. A., Sevostyanov A. Y., Miroshnikova Ya. A. 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*. 2011. N 5. P. 58—68 (in Russian).

Rundkvist T. V., Pripachkin P. V., Grebnev R. A. Features of the relationships between intrusive bodies in the contact zone of ultramafic-mafic complexes Monchegorsky and Main Ridge («Yuzhno-sopchinsky» area, Kola Peninsula). *Lithosphere*. 2012. N 3. P. 65—79 (in Russian).

Chashchin V. V., Bayanova T. B., Mitrofanov F. P., Serov P. A. Low-sulfide platinum-metal ores of the Paleoproterozoic Monchegorsk pluton and its southern framing (Kola Peninsula, Russia): geological characteristics and isotope-geochronological evidence of the ore-magmatic systems polychronicity. *Geol. Ore Deposits*. 2016. Vol. 58. N 1. P. 41—63 (in Russian).

Pripachkin P. V., Rundkvist T. V., Miroshnikova Ya. A., Chernyavsky A. V., Borisenko E. S. Geological structure and ore mineralization of the South Sopchinsky and Gabbro-10 massifs and the Morshkovoe Lake target, Monchegorsk area, Kola Peninsula, Russia. *Miner. Depos.* 2016. Vol. 51. N 8. P. 973—992.

Поступила в редакцию
14 мая 2018 г.