

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228-2018-10-1-50-62

УДК 552.321.5: 549.5(470.21)

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ХРОМШПИНЕЛИДОВ В ПОРОДАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКОГО МОНЧЕГОРСКОГО КОМПЛЕКСА (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН)\*

Т. В. Рундквист<sup>1</sup>, А. В. Мокрушин<sup>1</sup>, М. Хубер<sup>2</sup>,  
П. В. Припачкин<sup>1</sup>, А. В. Базай<sup>1</sup>, Я. А. Мирошникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН

<sup>2</sup>Университет Марии Кюри-Склодовской, Люблин (Польша)

### Аннотация

Жильные и акцессорные хромшпинелиды изучены в основных породах юго-восточной части Мончегорского раннепротерозойского расслоенного комплекса (массивы Морошковое озеро и Южносопчинский). Хромшпинелиды из пироксенитовых жил на участке Морошковое озеро характеризуются высоким содержанием железа и титана, внутреннее строение зерен представляет собой структуру распада твердого раствора с образованием ильменита, хроммагнетита и ульвошпинели. В жилах обнаружены единичные выделения ирарсита и сперрилита размером несколько микрон. Акцессорные хромшпинелиды из норита и гарцбургита Южносопчинского массива также отличаются повышенной железистостью по сравнению с хромшпинелидами Сопчеозерского месторождения Мончеплутона, рудными и акцессорными хромшпинелидами других расслоенных интрузий Балтийского щита. Как жильные, так и акцессорные хромшпинелиды характеризуются высокой железистостью и низкой глиноземистостью, что выделяет их на фоне развитых в других интрузиях Кольского региона.

### Ключевые слова:

*хромшпинелиды, мафиты, ультрамафиты, расслоенные интрузии, мончегорский комплекс, Кольский регион.*

## NEW DATA ON THE COMPOSITION OF CHROME-SPINELLIDES IN THE ROCKS OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE EARLY PROTEROZOIC MONCHEGORSK COMPLEX (KOLA REGION)

Tatiana V. Rundqvist<sup>1</sup>, Artem V. Mokrushin<sup>1</sup>, Milosz Huber<sup>2</sup>,  
Pavel V. Pripachkin<sup>1</sup>, Aya V. Bazai<sup>1</sup>, Yana A. Miroshnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geological Institute of the KSC of the RAS

<sup>2</sup>Marie Curie-Skłodowska University in Lublin (Poland)

### Abstract

Vein and accessory chrome-spinellides are studied in the main rocks of the South-eastern part of the Monchegorsk Early Proterozoic layered complex (Moroshkovoe Lake and South Sopchinsky massifs). Chrome-spinellides from pyroxenite veins in the Moroshkovoye Lake target are characterized by a high content of iron and titanium, the internal structure of their grains is characterized by the structure of decomposition of the solid solution with the formation of ilmenite, chromium magnetite and ulvospinel. In the veins, single grains of irarsite and sperrylite with a size of several microns were found. The accessory chrome-spinellides from norite and harzburgite of the South Sopchinsky massif are also distinguished by increased iron content in comparison with the chrome-spinellides of the Sopcheozero deposit of Monchepluton, ore and accessory chrome-spinellides of other layered intrusions of the Baltic Shield. Both vein and accessory chrome-spinellides are characterized by high iron content and low alumina content, which distinguishes them from chrome-spinellides in other intrusions of the Kola region.

### Keywords:

*chrome-spinellides, mafites, ultramafites, layered intrusions, Monchegorsk complex, Kola region.*

### Введение

Хромшпинелиды — минералы группы шпинели, содержащие более 5 мас. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, постоянно присутствуют в магматических ультраосновных и основных породах в качестве

\* Работа выполнена в рамках темы НИР № 0231–2015–0002.

аксессуарных минералов. Химический состав минералов группы шпинели изменяется в широких пределах. Шпинелиды представляют собой твердые растворы оксидов двух- и трехвалентных металлов с общей формулой  $AB_2O_4$  или  $A(A, B)O_4$ , где  $A$  — Mg, Zn, Mn,  $Fe^{2+}$ , Co, Ni;  $B$  — Al,  $Fe^{3+}$ , Cr, Mn,  $Ti^{4+}$ ,  $V^{3+}$ . Высокотемпературные минералы группы шпинели демонстрируют практически полную смесимость и непрерывные ряды твердых растворов между минеральными видами. В группе шпинели выделяют несколько серий: шпинели, хромита, магнетита, ульвошпинели и некоторые другие.

Возможности широкого спектра изоморфных замещений в группе шпинели определили интерес к шпинелидам как к типоморфным минералам, в частности, в мафит-ультрамафитовых расслоенных интрузиях [1]. Во многих таких массивах хромшпинелиды находятся не только в аксессуарном виде, но и образуют промышленные скопления. В пределах Фенноскандинавского щита в настоящее время известно несколько месторождений хромита, связанных с раннепротерозойскими расслоенными интрузиями. Так, в Финляндии разрабатывается крупнейшее в Европе хромитовое месторождение Кеми, в Карелии разведано Аганозерское месторождение в составе бураковского комплекса, в Кольском регионе находится Сопчеозерское месторождение, связанное с Мончеплутоном, и месторождение Большая Варака — в составе имандровского интрузивного расслоенного комплекса.

Следует отметить, что на сегодняшний день состав аксессуарных хромшпинелидов в ультрамафитах и мафитах Мончеплутона, а также хромшпинелидов из рудных пластов Сопчеозерского месторождения, расположенного в пределах Дунитового блока, достаточно полно изучен [2, 3]. Что касается хромитов из мелких жильных тел и аксессуарных хромитов в массивах мончегорского комплекса, то они до настоящего времени были изучены крайне слабо. В данной статье рассмотрены результаты исследования хромшпинелидов из жильных тел массива Морошковое озеро и аксессуарных хромшпинелидов в норитах и гарцбургитах массива Южносопчинский.

### **Геологическое строение массивов Морошковое озеро и Южносопчинский**

Раннепротерозойский расслоенный мафит-ультрамафитовый мончегорский комплекс (МК) в западной части Кольского п-ова представлен двумя крупными интрузивными образованиями — массивом габбро-анортозитов Главного хребта и мафит-ультрамафитовым Мончеплутоном. В юго-восточной части МК находятся массивы основных пород: Морошковое озеро, Южносопчинский (рис. 1). Овальный по форме массив Морошковое озеро, сложенный норитами и пироксенитами, по-видимому, представляет собой крупный тектонический блок массива Нюд-Поаз, породы которого здесь представлены средне-, мелко- и неравномернозернистыми мезократовыми и меланократовыми норитами, переходящими в ортопироксениты и метаморфизованные разновидности этих пород. Данные породы пересечены пироксеновыми, плагиоклаз-пироксеновыми и плагиоклаз-амфиболовыми жилами. Видимая мощность наиболее крупных жил достигает 2 м, мощность большинства жил не превышает 1 м. Многочисленные апофизы, отходящие от мощных жил во всех направлениях, имеют сложную, извилистую форму. Общим для всех типов жил является присутствие оксидной и сульфидной вкрапленности и платинометалльной минерализации [4]. В двух амфиболовых жилах были ранее обнаружены шлировидные скопления густовкрапленных хромититов [5].

Южносопчинский массив (ЮОСМ) в плане представляет собой крупное магматическое тело длиной около 6 км и шириной около 2 км, протягивающееся с северо-запада на юго-восток (рис. 1). С запада ЮОСМ примыкает к Мончетундровскому массиву комплекса Главного хребта. По данным ряда авторов [6, 7], ЮОСМ является частью Мончетундровского массива. По геологическому строению ЮОСМ разделяется на две зоны (нижнюю и верхнюю): нижняя имеет мощность 250–300 м и сложена переслаивающимися метаноритами, метапироксенитами и метаперидотитами; верхняя представлена лейко-мезократовыми метагабброноритами и метагаббро. Породы вблизи контакта

между этими зонами интенсивно рассланцованы. Кроме того, в зоне контакта проявлены магматические брекчии, пегматоидные и жильные тела, содержится платинометалльная минерализация [8].



Рис. 1. Схема геологического строения Мончегорского комплекса.

Цифрами обозначены: 1 — участок Морошковое озеро; 2 — массив «Габбро десятой аномалии» (Габбро-10); 3 — выходы пород критического горизонта Ньюда (КГН); 4 — Дунитовый блок (включает Сопчеозерское месторождение хромита). Звездочкой показано положение пироксенитовых жил с хромшпинелидами на участке Морошковое озеро

Fig. 1. Scheme of the geological setting of the Monchegorsk complex.

The numbers indicate: 1 — the Moroshkovoe Lake target; 2 — massif of the "Gabbro of the tenth anomaly" (Gabbro-10 massif); 3 — outcrops of the critical horizon of the Nyud massif; 4 — Dunite block (includes Sopcheozerskoe chromite deposit). The asterisk shows the position of pyroxenite veins with chrome spinels in the Moroshkovoe Lake target

### Фактический материал и методы исследования

Хромшпинелиды из шпировидных скоплений в амфиболовых жилах отобраны из коренного обнажения (обр. 1/16.06.11) и близкоренной глыбы (обр. 2а/16.06.11) массива Морошковое озеро. Образцы исследованы в полированных аншлифах на электронном микроскопе Hitachi SU6600 с аналитической приставкой EDS на кафедре геологии и защиты литосферы факультета наук о Земле Университета Марии Кюри-Склодовской в г. Люблине (Польша).

Акцессорные хромшпинелиды из норита и гарцбургита ЮСМ исследованы в образцах из керна скважины 1826, пробуренной ОАО «Центрально-Кольская экспедиция» в ходе поисково-разведочных работ на платинометалльное оруденение в восточной части Мончегорского комплекса [9] и расположенной в центральной части ЮСМ (рис. 1). Скважина пересекла зону контакта крупнозернистых габброноритов с серией пород, включающей пироксениты, нориты, оливиновые пироксениты и гарцбургиты. Анализ минералов выполнен на волнодисперсном электронно-зондовом микроанализаторе MS-46 Cameca и на сканирующем электронном микроскопе LEO1450 с помощью энергодисперсионного анализатора Quantax200.

### Хромшпинелиды в жильных телах массива Морошковое озеро

Хромшпинелид в жильных телах слагает шпировидные выделения. Силикатная часть жильной массы представлена амфиболами, хлоритом и минералами группы эпидота. Хромшпинелид представлен овальными зернами без четких кристаллографических очертаний, края зерен резорбированы. Характерный размер зерен от 100 до 400 мкм, по своему внутреннему строению зерна являются продуктом распада твердых растворов. В их составе присутствуют: ильменит, магнетит, хроммагнетит, субальмохроммагнетит и ульвошпинель (рис. 2, табл. 1). Для классификации хромшпинелидов применялась диаграмма Н. В. Павлова [10]. Ильменит представлен пластинчатыми, округлыми или неправильной формы выделениями, различного размера и ориентировки (рис. 2, б). Основную массу зерен слагают тонкие закономерные сростания хроммагнетита и ульвошпинели (рис. 2, б и в). В образце также присутствуют скелетные кристаллы магнетита с содержанием Cr до 0,6 мас. % (рис. 2, а, табл. 1). Редкие сульфидные зерна в породе представлены преимущественно халькопиритом (рис. 2, а).

В силикатах в непосредственной близости от зерен хромшпинелидов обнаружены выделения минералов платиноидов — сперрилита и ирарсита (рис. 2, д, е; табл. 2). Размер выделений минералов платиноидов не превышает первых микрон. Морфология выделения сперрилита — в виде цепочки зерен в трещинках хромшпинелида и силикатов — указывает на его более позднее образование по отношению к минералам матрицы.

Таблица 1

Table 1

Результаты анализа оксидных минералов из хромитовых жил массива Морошковое озеро, мас. %

The results of analysis of oxide minerals from chromite veins of the southeastern part of the Monchegorsk complex (mass %)

№ п/п	O	Mg	Al	Si	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	S	Сумма Sum
1	19,67	3,26	1,30	6,92	–	–	0,60		65,57	1,75	0,93	100,00
2	19,55	3,42	1,32	6,90	–	–	0,47		65,79	1,71	0,84	100,00
3	19,58	3,17	1,28	6,97	–	–	0,37		66,26	1,58	0,80	100,01
4	32,33	2,70	1,45	5,29	34,13	–	2,87	0,20	20,95	–	0,09	100,01
5	25,89	2,64	1,31	5,07	22,92	–	3,10	0,86	38,11	–	0,12	100,02
6	25,63	2,60	1,26	4,89	23,70	–	3,01	0,84	37,98	–	0,10	100,01
7	27,39	2,46	1,23	4,69	22,61	–	3,15	0,72	37,70	–	0,05	100,00
8	26,26	3,04	1,39	5,35	23,21	–	2,51	0,89	37,23	–	0,12	100,00
9	30,51	2,68	1,62	6,26	25,36	–	3,01	0,35	30,16	–	0,06	100,01
10	25,54	2,34	1,30	4,79	22,35	–	3,56	0,53	39,53	–	0,07	100,01
11	25,86	2,24	1,44	4,75	18,23	–	5,26	0,83	41,30	–	0,09	100,00
12	23,66	2,32	1,31	4,85	18,13	–	4,39	–	45,35	–	–	100,01
13	19,66	2,59	1,85	5,27	1,81	0,67	9,25	–	58,91	–	–	100,01
14	18,87	2,49	1,92	5,38	2,04	0,62	9,14	–	59,54	–	–	100,00
15	19,79	2,59	1,88	5,37	1,89	0,52	8,90	–	59,05	–	–	99,99
16	19,24	2,69	2,05	5,31	1,93	0,71	11,85	–	56,23	–	–	100,01
17	20,54	1,67	2,39	2,50	5,08	0,67	10,79	–	56,36	–	–	100,00
18	18,79	1,81	2,21	1,94	3,24	0,73	10,75	–	60,07	–	0,46	100,00
19	24,39	1,45	6,01	1,23	8,43	0,84	13,35	0,63	43,66	–	–	99,99

*Примечание.* Состав определен на сканирующем электронном микроскопе Hitachi SU6600 с аналитической приставкой EDS. Обр. 1/16.06.11 (№ 1–18); обр. 2а/16.06.11 (№ 19). 1–3 — магнетит (анализы 1–3 соответствуют точкам 1–3 на рис. 2, а); 4–10 — ильменит (анализы 4–9 соответствуют точкам 1–6 на рис. 2, б; анализ 10 — точка 1 на рис. 2, в); 11, 12 — ульвошпинель (соответствуют точкам 2 и 4 на рис. 2, в); 13–16 — хроммагнетит (анализы 13–16 соответствуют точкам 3, 5–7 на рис. 2, в); анализы 17, 18 — субальмохроммагнетит, нет

фото; анализ 19 — поле 1 на рис. 2, з, сканирование поверхности площадью 35×20 мкм. Содержание Si, Cu, S — за счет примеси силикатных и сульфидных минералов.

Notes. The composition is determined by Hitachi SU6600 scanning electron microscope with an EDS analyzer. Sample 1/16.06.11 (Nos. 1 to 18); sample 2a/16.06.11 (No. 19). 1–3 — magnetite (correspond to points 1–3 in Figure 2A); 4–10 — ilmenite (analysis 4–9 correspond to points 1–6 in Figure 2Б, analysis 10 — point 1 in Figure 2B); 11, 12 — Ulvospinel (correspond to points 2 and 4 in Figure 2B); 13–19 — chrommagnetite (analysis 13–16 correspond to points 3, 5, 6 and 7 in Figure 2B, analysis 17, 18 — no photos, analysis 19 — point 1 in Figure 2Г, analysis 19 performed on an area of 35×20 μm). The content of Si, Cu, S — due to the impurity of silicate and sulphide minerals.

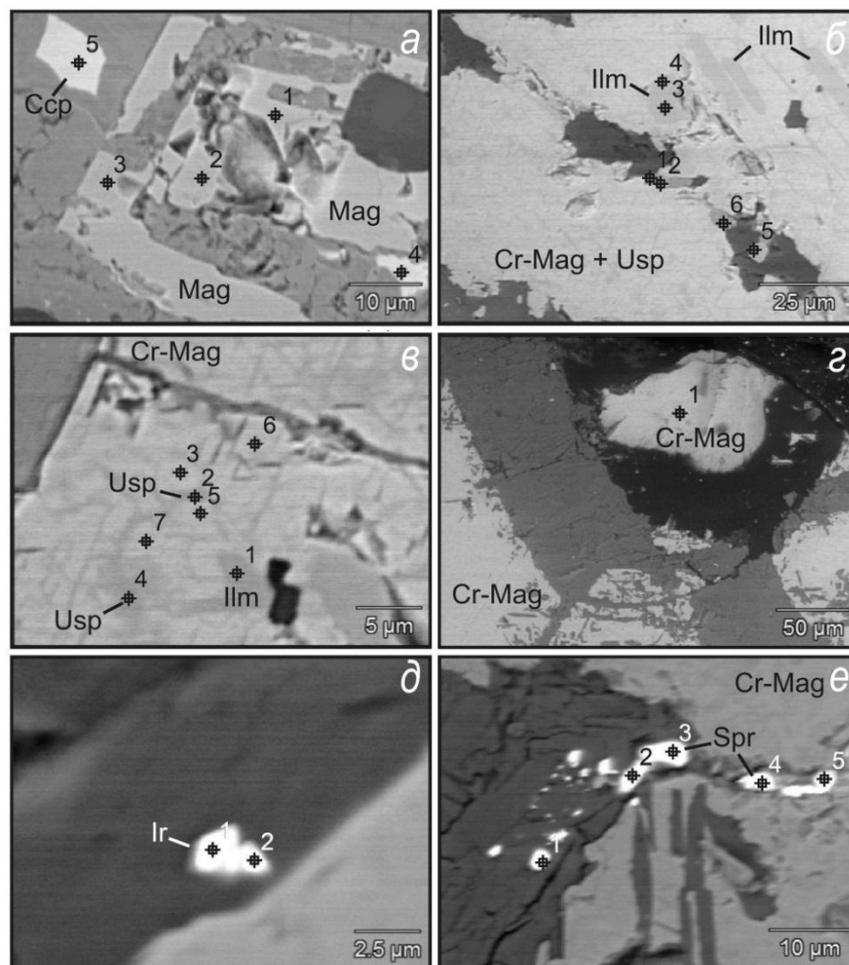


Рис. 2. Минералы хромитовых жил массива Морошковое озеро:

*а* — скелетный кристалл магнетита (табл. 1, № 1–3) и зерна халькопирита (табл. 2, № 8, 9); *б* — удлиненные и изометричные выделения ильменита (табл. 1, № 4–9) в зерне, сложенном срастанием хроммагнетита и ульвошпинели; *в* — вростки ильменита (табл. 1, № 10) и ульвошпинели (табл. 1, № 11, 12) в хроммагнетите (табл. 1, № 13–16); *г* — зерна хроммагнетита с вростками ульвошпинели и ильменита (табл. 1, № 19); *д* — зерна ирарсита в силикатном минерале (табл. 2, № 6, 7); *е* — зерна сперрилита в прожилке в хроммагнетите и в силикатном минерале (табл. 2, № 1–5). Изображение в обратно-рассеянных электронах. Точками обозначены места микроанализа на сканирующем электронном микроскопе Hitachi SU6600 с аналитической приставкой EDS

Fig. 2. Minerals from chromite veins of the Moroshkovoe Lake massif:

*a* — a skeletal magnetite crystal (Table 1, No. 1–3) and chalcopyrite grains (Table 2, No. 8, 9); *b* — elongated and isometric ilmenite grains (Table 1, No. 4–9) in a grain composed of intergrowth of chromium magnetite and and ulvospinel; *в* — ilmenite (Table 1, No. 10) and ulvospinel ingrowths (Table 1, No. 11, 12) in chromium-magnetite (Table 1, No. 13–16); *г* — grains of chrommagnetite with ingrowths of ulvospinel and ilmenite (Table 1, No. 19); *д* — grains of irarsite in a silicate mineral (Table 2, No. 6, 7); *е* — grains of sperrylite in a veinlet in chromium magnetite and in a silicate mineral (Table 2, No. 1–5). Image in back-scattered electrons. The dots denote the locations of the microanalysis by the Hitachi SU6600 scanning electron microscope with the EDS analyzer

Анализ показал, что хромшпинелиды в жилах содержат высокие концентрации Fe, Ti, а содержания Mg, Al и Cr — низкие (табл. 1). Вростки ильменита в зернах хромшпинелида в целом отвечают стехиометрическому составу и содержат незначительное количество примесей. В магнетите, слагающем скелетные кристаллы, не обнаружена примесь титана, содержатся механические примеси халькопирита и силикатов. Мелкие, тонкие вростки в хроммагнетите определенно диагностируются как ульвошпинель. Анализ 19 в табл. 1 выполнен сканированием поверхности площадью 35×20 мкм и дает усредненный состав твердого раствора хроммагнетита с вростками ульвошпинели, который соответствует ферриалюмохромиру на классификационной диаграмме Н. В. Павлова.

Эти данные совокупно с данными предыдущих исследований [5] показали, что хромшпинелиды в составе жильных тел данного массива отличаются высокой железистостью и титанистостью.

Таблица 2

Table 2

Результаты анализа минералов из хромитовых жил массива Морошковое озеро, мас. %

Results of the analysis of minerals from chromite veins of the southeastern part of the Monchegorsk complex (mass %)

№ п/п	O	Mg	Al	Si	S	Ti	Cr	Fe	Cu	As	Rh	Ir	Pt	Сумма Sum
1	16,29		5,16	3,72	0,54	1,18	4,29	11,37		28,48	0,30		28,66	99,99
2	11,77		3,46	2,01	0,29	1,23	4,73	11,33		31,23	0,39		33,55	99,99
3	10,66		3,05	1,67	0,33	1,22	4,50	10,54		32,41	0,40		35,20	99,98
4	11,16		2,88	1,51	0,64	1,46	5,62	11,89		30,29	0,36		34,20	100,01
5	11,81		2,55	1,28	0,83	1,41	6,31	10,89		30,55	1,09		33,28	100,00
6	20,75	2,66	3,60	3,79	9,93	0,57	2,17	10,69		13,37		32,48		100,01
7	22,11	5,68	4,22	4,42	8,41	0,58	2,58	9,28		10,30		32,41		99,99
8	12,38	2,65	1,13	6,16	23,51		0,41	31,08	22,69					100,01
9	12,32	2,40	1,03	5,52	24,23		0,24	31,45	22,82					100,01

*Примечание.* Состав определен на сканирующем электронном микроскопе Hitachi SU6600 с аналитической приставкой EDS. Обр. 1/16.06.11 (№№ 1–7); обр. 2а/16.06.11 (№№ 8, 9). 1–5 — сперрилит (соответствуют точкам 1–5 на рис. 2, Е); 6–7 — ирарсит (соответствуют точкам 1 и 2 на рис. 2, Д); 8–9 — халькопирит (соответствуют точкам 4, 5 на рис. 2, А). Содержание О, Mg, Al, Si, Ti, Cr, Fe — за счет примеси силикатных и оксидных минералов.

*Notes.* The composition is determined by Hitachi SU6600 scanning electron microscope with an EDS analyzer. Sample 1/16.06.11 (Nos. 1 to 7); sample 2, a/16.06.11 (Nos. 8, 9). 1–5 — sperrylite (correspond to points 1–5 in Figure 2, E); 6–7 — irarsite (correspond to points 1 and 2 in Fig. 2, Д); 8–9 — chalcopyrite (correspond to points 4, 5 in Fig. 2, A). The content of O, Mg, Al, Si, Ti, Cr, Fe — due to the impurity of silicate and oxide minerals.

### Акцессорные хромшпинелиды

#### в норитах и гарцбургитах Южносопчинского массива

При изучении пород и рудной минерализации ЮСМ в двух полированных аншлифах из пород керна скважины 1826 обнаружены зерна хромшпинелидов, заключенные внутри кристаллов магматических минералов, — оливина и ортопироксена. Положение зерен хромита внутри зерен высокотемпературных магматических минералов позволяет считать данный хромит первичным магматическим минералом, возникшим во время кристаллизации породы из магматического расплава.

В обр. 1826/21,1 представлен гарцбургит, сложенный оливином и ортопироксеном (оливин интенсивно серпентинизирован, амфиболизирован, ортопироксен амфиболизирован по трещинам спайности и по краям зерен). Оливин в обр. 1826/21,1 был проанализирован на микроанализаторе MS-46 Cameca (аналитик А. В. Базай). Оливин содержит, мас. %:  $\text{SiO}_2$  — 38,46;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 21,38;  $\text{MnO}$  — 0,28;  $\text{MgO}$  — 40,39;  $\text{NiO}$  — 0,29;  $\text{Fo}$  — 77.

Хромшпинелид образует зерна размером от 50 до 200 мкм (рис. 3, *a–z*). Зерна изометричные или неправильной формы. Отчетливо проявлена зональность. Центральная часть (ан. 1 и 5 в табл. 3, ферриалюмохромит) сложена разновидностью с наиболее высоким содержанием хрома, а также с самой высокой примесью ганитового минала. При сильном увеличении в центральной части зерна видны тонкие структуры распада твердого раствора (рис. 3, *в*), удлиненные игольчатые кристаллы представлены, по-видимому, ульвошпинелью (ан. 4 в табл. 3). Широкая кайма вокруг центральной части зерна сложена феррихромитом с немного более высокой железистостью и пониженной хромистостью и магнезиальностью (ан. 2 в табл. 3). Тонкая кайма на границе с оливином — хроммагнетит (ан. 3 в табл. 3). По краям зерен хромшпинелида иногда заметны небольшие выделения ильменита (ан. 7 в табл. 3). Описанная зональность зерен хромшпинелида имеет метаморфический генезис. Зоны вокруг ядра образовались при метаморфическом преобразовании породы.

В образце 1826/144,9 также были обнаружены выделения хромшпинелида, в данном случае порода представлена норитом, а хромшпинелид заключен в зерно ортопироксена (рис. 3, *д, e*). Ортопироксен в обр. 1826/144,9 был проанализирован на микроанализаторе MS-46 Cameca (аналитик А. В. Базай). Ортопироксен представлен энстатитом и содержит (мас. %):  $\text{SiO}_2$  — 55,11;  $\text{TiO}_2$  — 0,16;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 0,80;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 0,16;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 15,53;  $\text{MnO}$  — 0,32;  $\text{MgO}$  — 26,26;  $\text{CaO}$  — 2,02;  $\text{NiO}$  — 0,06. Хромшпинелид в данном образце однороден, анализ выполнен в центральной части зерна (ан. 6 в табл. 3). По составу он представлен ферриалюмохромитом, близким по составу к центральным зонам хромшпинелида в образце 1826/21,1.

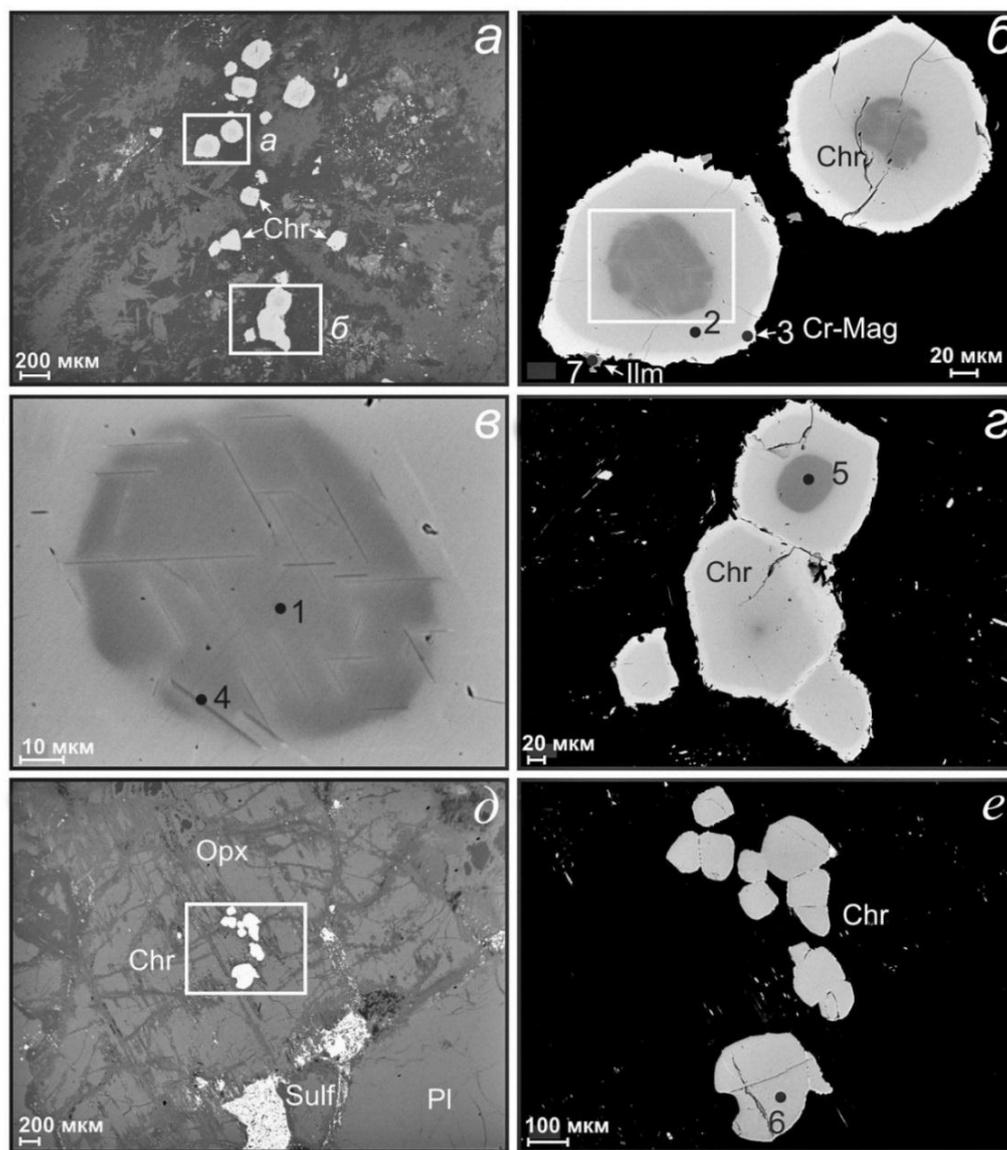


Рис. 3. Хромшпинелиды в породах Южносопчинского массива:

*a* — кристаллы хромшпинелида в серпентинизированном и амфиболизованном оливине, обр. 1826/21,2, (выделенные фрагменты *a* и *б* представлены на рис. *б* и *з* соответственно); *б* — зональные кристаллы хромшпинелида с мелкими выделениями ильменита по краям, выделенный фрагмент представлен на рис. 3, *в*; *в* — ядерная часть зонального кристалла хромшпинелида с решетчатой структурой распада твердого раствора; *з* — зональные кристаллы хромшпинелида; *д* — кристаллы ферриалюмохромита в амфиболизованном энстатите, обр. 1826/144,9 (выделенный фрагмент представлен на рис. *е*); *е* — кристаллы ферриалюмохромита. Изображение в обратно-рассеянных электронах. Точками обозначены места электронно-зондового анализа на MS-46 Cameca и LEO1450, номера соответствуют номерам анализов в табл. 3

Fig. 3. Chrome spinellids in the rocks of the South-Sopchinsky Massif:

*a* — crystals of chromospinelide in serpentinized and amphibolized olivine, sample 1826/21.2, (the selected fragments *a* and *б* are shown in Figures *б* and *з*, respectively); *б* — zonal crystals of chrome spinellide with fine grains of ilmenite at the edges, the fragment is shown in Fig. 3, *в*;  
*в* — the nuclear part of the zonal crystal of chrome spinellide with a lattice structure of solid solution decomposition;  
*з* — zonal crystals of chrome spinellide; *д* — crystals of ferrialumochromite in amphibolized enstatite, sample 1826/144.9 (the fragment is shown in Fig. *е*); *е* — crystals of ferrialumochromite. Image in back-scattered electrons. The dots indicate the locations of electron-probe analysis by the MS-46 Cameca and LEO1450, the numbers correspond to the numbers of analysis in Table 3

Таблица 3

Table 3

Состав хромшпинелидов и ильменита из пород Южносопчинского массива, мас. %  
Composition of chrome spinellides and ilmenite from the rocks of the South-Sopchinsky Massif

	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	0,220	0,12	0,08	0,07	0,149	0,225	0,20
TiO <sub>2</sub>	0,790	2,00	0,34	18,05	1,691	0,600	49,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,079	1,34	0,11	6,92	11,557	10,828	0,08
FeO <sub>общ</sub> total	43,584	58,19	86,93	45,46	43,650	47,104	45,09
MnO	0,528	н.о.	н.о.	0,68	0,548	0,387	4,02
MgO	2,027	0,65	0,12	2,49	2,207	1,406	0,10
CaO	0	н.о.	н.о.	0,06	0	0	0,09
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,246	0,45	0,41	0,25	0,284	0,194	0,28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,416	36,37	11,68	26,02	38,802	38,651	0,44
NiO	0,085	н.о.	0,12	н.о.	0,195	0,145	н.о.
ZnO	2,017	0,87	0,21	н.о.	1,738	0,568	н.о.
Сумма Sum	99,992	100,00	100,00	100,00	100,821	100,108	100,00
Количество единиц в формуле в пересчете на 4 атома кислорода для хромшпинелидов и 3 атома кислорода для ильменита The number of units in the formula in terms of 4 oxygen atoms for chrome spinellides and 3 oxygen atoms for ilmenite							
Si	0,008	0,004	0,003		0,005	0,008	0,005
Al	0,449	0,056	0,005	0,268	0,462	0,440	0,002
Cr	1,071	1,031	0,331	0,675	1,042	1,054	0,009
Fe <sup>3+</sup>	0,446	0,843	1,642	0,614	0,441	0,477	
Ti	0,020	0,054	0,009	0,445	0,043	0,016	0,954
V	0,006	0,011	0,010	0,006	0,007	0,005	0,006
Ca							0,002
Mg	0,104	0,035	0,006	0,122	0,112	0,072	0,004
Fe <sup>2+</sup>	0,808	0,902	0,969	0,633	0,799	0,882	0,963
Mn	0,015				0,016	0,011	0,087
Ni	0,002		0,003		0,005	0,004	
Zn	0,051	0,023	0,006		0,044	0,015	

*Примечание.* 1 — хромит (рис. 3В, точка 1); 2 — хромит (рис. 3Б, точка 2); 3 — хроммагнетит (рис. 3, Б, точка 3); 4 — хромит (рис. 3В, точка 4); 5 — хромит (рис. 3Г, точка 5); 6 — хромит (рис. 3Е, точка 6); 7 — ильменит (рис. 3Б, точка 7). 1 — 5, 7 — обр. 1826/21,2, гарцбургит; 6 — обр. 1826/144,9, норит. Анализ минералов 1, 5, 6 выполнен на волнодисперсном электронно-зондовом микроанализаторе MS-46 Cameca, оценка химического состава минералов 2 — 4 и 7 выполнена на сканирующем электронном микроскопе LEO1450 с помощью энергодисперсионного анализатора Quantax200, результаты, полученные с помощью Quantax200, приведены к 100%-ной сумме. Аналитик А. В. Базай.

*Notes.* 1 — chromite (Figure 3В, point 1); 2 — chromite (Figure 3Б, point 2); 3 — chrommagnetite (Figure 3Б, point 3); 4 — chromite (Figure 3В, point 4); 5 — chromite (Figure 3, Г, point 5); 6 — chromite (Figure 3Е, point 6);

7 — ilmenite (Figure 3, Б, point 7). 1 — 5, 7 — sample 1826/21.2, harzburgite; 6 — sample 1826/144.9, norite. Analysis of minerals 1, 5, 6 is made by a wave-dispersed electron probe microanalyzer MS-46 Cameca, the chemical composition of minerals 2–4 and 7 is made by a scanning electron microscope LEO1450 using an energy dispersive analyzer Quantax200, the results obtained with Quantax200 are given in 100 % of the total. Analyst A.V. Bazai.

Эти данные позволяют предположить, что для пород нижней части Южносопчинского массива характерным является акцессорный ферриалюмохромит с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \sim 39$  мас. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 11$  мас. %;  $\text{MgO} \sim 1\text{--}2$  мас. %;  $\text{FeO}_{\text{общ}} \sim 43\text{--}47$  мас. %.

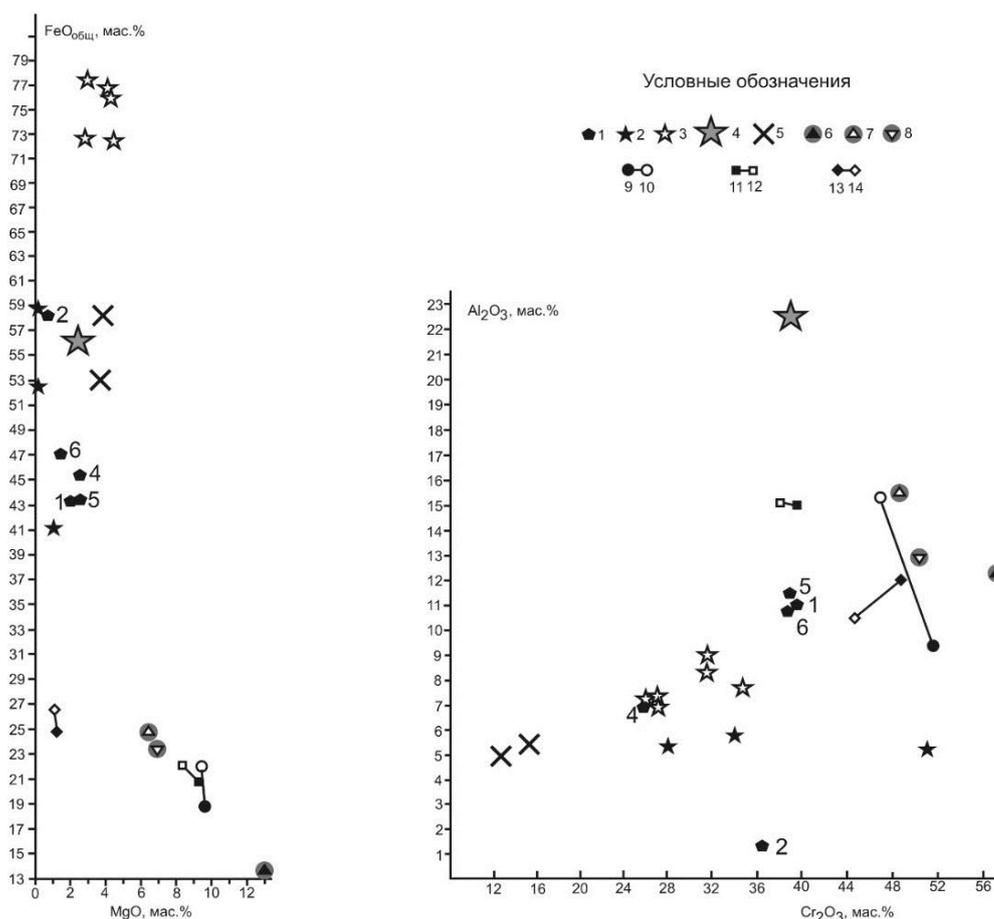


Рис. 4. Содержание главных двух- и трехвалентных оксидов в хромшпинелидах юго-восточной части Мончегорского комплекса и средние содержания главных двух- и трехвалентных оксидов в рудных и акцессорных хромитах расслоенных интрузий Балтийского щита.

Условные обозначения: 1 — акцессорные хромшпинелиды из пород массива Южносопчинский (данные настоящего исследования, номера около значков соответствуют номерам анализов в табл. 3); 2 — хромшпинелиды из жильных тел на участке Морозковое озеро (по [5]); 3 — хроммагнетиты и субальюмохроммагнетиты (данные настоящего исследования, ан. 13–18 в табл. 1); 4 — твердый раствор хроммагнетита и ульвошпинели (данные настоящего исследования, анализ поля, ан. 19 в табл. 1); 5 — ульвошпинель (данные настоящего исследования, ан. 11, 12 в табл. 1); 6–8 — хромшпинелиды Сопчеозерского месторождения (Мончеплутон): хромититы (6), надрудные (7) и подрудные дуниты (8); 9, 10 — хромшпинелиды из хромититов (9) и перидотитов (10) Аганозерского месторождения (Бураковский плутон); 11, 12 — хромшпинелиды из хромититов (11) и вебстеритов (12) блока Сомпуярви интрузии Пеникат; 13, 14 — хромшпинелиды из хромититов (13) и норитов (14) месторождения Большая Варака (Умбареченско-Имандровский комплекс) (по [2])

Fig. 4. Content of the main bivalent and trivalent oxides in chrome spinellides of the southeastern part of the Monchegorsk complex and the average contents of the main bivalent and trivalent oxides in ore and accessory chromites of the layered intrusions of the Baltic Shield.

Legend: 1 — accessory chrome spinellides from the rocks of the South-Sopchinsky Massif (data of the present study, the numbers near the signs in the diagram correspond to the numbers of analysis in Table 3); 2 — chrome spinellides from veins on the Moroshkovoe Lake target (according to [5]); 3 — chromromagnetite and subalumochromagnetite (data of the present study, analysis 13–18 in Table 1); 4 — solid solution of chromium magnetite and ulvospinel (data of the present study, analysis 19 in Table 1); 5 — ulvospinel (data from the present study, analysis 11, 12 in Table 1); 6–8 — chrome spinellides of the Sopcheozero deposit (Monchepluton): chromite (6), dunitites lying upper ore horizon (7) and dunitites lying lower ore horizon (8); 9, 10 — chrome spinellides from chromites (9) and peridotites (10) of the Aganozero deposit (Burakovsky pluton); 11, 12 — chrome spinellides from chromites (11) and websterites (12) of the Sompuarvi block of the Penicat intrusion; 13, 14 — chrome spinellides from chromites (13) and norites (14) of the Bolshaya Varaka deposit (Umbarechensky-Imandrovsky complex) (according to [2])

## Заключение

Результаты исследований показали достаточно интересную специфику состава хромшпинелидов из исследуемых массивов. Как жильные, так и акцессорные хромиты в них характеризуются высокими содержаниями железа, титана и низкими — глинозема. Это в целом достаточно контрастно отличает их от хромитов других известных расслоенных интрузий (рис. 4). Однако необходимо отметить, что хромшпинелиды подобного состава отмечались ранее в некоторых участках Мончеплутона. В. С. Докучаева и Л. И. Полежаева [11] указывали, что в оливиновых норитах Ньюда, содержащих бедное сульфидное медно-никелевое оруденение, встречены акцессорные хромшпинелиды, состав которых изменяется в пределах серии субалюмоферрихромит-хроммагнетит. Нередко внутри зерен хромшпинелидов наблюдались пластинчатые вроски высокотитанистой фазы, а в некоторых случаях подобная фаза наблюдалась в виде тонкой оторочки по краям зерен. Приведенные в работе [11] результаты анализа данных хромшпинелидов показывают следующее содержание оксидов, мас. %:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 24,9–36,2;  $\text{TiO}$  — 0,38–1,13;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 59,7–66,9;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1,54–7,35;  $\text{MgO}$  — 0,49–0,99. В ассоциации с данной серией хромшпинелидов встречен магнетит с повышенным содержанием хрома (до 6,56 мас. %) [11].

Среди оливиновых пироксенитов и гарцбургитов «Сопчинского пласта 330» сходные по составу с изученными нами акцессорные хромшпинелиды были обнаружены Д. А. Орсовым [12]. Автор выделяет две разновидности хромшпинелидов:

1) зональные идиоморфные зерна в виде включений в оливине и ортопироксене, ядра кристаллов отвечают субферриалюмохромиту, а оторочки соответствуют феррихромиту с пониженным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ;

2) зональные по химическому составу зерна в ассоциации с сульфидами, внутренние зоны кристаллов соответствуют феррихромиту, внешние — хроммагнетиту.

Содержание оксидов в ядрах кристаллов хромшпинелидов первой разновидности, мас. %:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 39,5–42,1;  $\text{TiO}$  — 0,36–0,52;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 34,2–35,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 17,9–18,3;  $\text{MgO}$  — 3,2–4,0.

Состав оторочек зональных кристаллов первой разновидности, мас. %:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 36,0–38,2;  $\text{TiO}$  — 0,21–1,17;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 56,5–60,1;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1,4–3,4;  $\text{MgO}$  — 0,68–1,18.

Результаты анализа одного зерна второй разновидности хромшпинелидов показали, что ядерная часть содержит, мас. %:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 34,5;  $\text{TiO}$  — 1,48;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 58,2;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1,49;  $\text{MgO}$  — 0,99, а периферическая часть имеет следующий состав, мас. %:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 28,4;  $\text{TiO}$  — 1,49;  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  — 64,9;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1,65;  $\text{MgO}$  — 1,01.

Автор высказывает предположение о магматической природе зональности описанных им хромшпинелидов, обусловленной изменением физико-химических условий в процессе кристаллизации магмы [12].

Таким образом, высокотитанистые и железистые хромшпинелиды встречены в различных локальных участках Мончеплутона. Судя по приведенным данным, их состав сильно варьирует. И если для жильных хромшпинелидов наличие высокотитанистых и железистых разновидностей в целом понятно и укладывается в общую схему эволюции шпинелидов в расслоенных интрузиях, то акцессорные хромшпинелиды массивов Морошковое озеро и Южносопчинский

являются аномально железистыми и низкомагнезиальными, хотя и сосуществуют с энстатитом и форстеритом. Этот факт требует дальнейших детальных и систематических исследований и сравнительного анализа с другими расслоенными массивами Кольского региона и мира, поскольку шпинелиды давно используются как «петрогенетические индикаторы» [13] и могут помочь при уточнении специфики эволюции мультифазного МК.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плаксенко А. Н. Типоморфизм аксессуарных хромшпинелидов ультрамафит-мафитовых магматических формаций. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 224 с.
2. Мокрушин А. В. Типы, состав и условия образования хромитового оруденения расслоенных раннепротерозойских интрузий Балтийского щита: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Мурманск, 2005. 13 с.
3. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение: в 2 ч. / под ред. Ф. П. Митрофанова и В. Ф. Смолькина. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. 344 с.
4. Мирошникова Я. А., Пахомовский Я. А. Жильные тела участка «Морошковое озеро» (Мончегорский район) и связанное с ними оруденение // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, вып. 2. С. 280–286.
5. Мокрушин А. В., Мирошникова Я. А., Савченко Е. Э. Ассоциация Cr-Fe-Ti-минералов в плагиоклаз-амфиболовых жилах участка «Морошковое озеро» (Мончегорский плутон) // Геология и геоэкология: исследования молодых: материалы XXII конф. молодых ученых, посвященной памяти чл.-корр. К. О. Кратца (8–10 ноября 2011 г.). Апатиты, 2011. С. 134–136.
6. Геологическое строение, минералогия и генезис ЭПГ-минерализации массива Южная Сопча, Мончегорский комплекс, Россия / Т. Л. Гроховская [и др.] // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54, № 5. С. 416–440.
7. Малосульфидные платинометалльные руды палеопротерозойского Мончегорского плутона и его южного обрамления (Кольский полуостров, Россия): геологическая характеристика и изотопно-геохронологические свидетельства полихронности рудно-магматических систем / В. В. Чащин [и др.] // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, № 1. С. 41–63.
8. Черняевский А. В., Мирошникова Я. А. Геологическое строение и оруденение восточной части Южносопчинского массива: новые данные // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северо-Запада России: тр. XXIV Молодежной науч. конф., посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца (Апатиты, 7–10 октября 2013 г.) / ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты, 2013. С. 31–34.
9. Информационный отчет о результатах поисковых работ на металлы платиновой группы в Мончегорском районе (Мончегорский и Мончетундровский массивы) в 1999–2002 гг. / В. С. Войтехович [и др.] // Фонды ОАО «ЦКЭ». Мончегорск, 2002. Кн. 1. 236 с.
10. Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Геол. ин-та АН СССР. 1949. Вып. 103. 91 с.
11. Докучаева В. С., Полежаева Л. И. Хромшпинелиды расслоенных интрузивов Мончегорского района (Кольский полуостров) // Новое в минералогии Карело-Кольского региона. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1990. С. 5–24.
12. Орсов Д. А. Хромшпинелиды из сульфидных вкрапленных руд расслоенных массивов // ЗВМО. 1988. Ч. CXVII, вып. 2. С. 175–181.
13. Irvine T. N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part I. Theory // Canadian J. Earth Sci. 1965. No. 2. P. 648–672.

#### Сведения об авторах

*Рундквист Татьяна Васильевна* — кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора Геологического института ФИЦ КНЦ РАН

E-mail: rund@geoksc.apatity.ru

*Мокрушин Артем Васильевич* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института ФИЦ КНЦ РАН

E-mail: mokrushin@geoksc.apatity.ru

*Хубер Милош* — доцент кафедры геологии и защиты литосферы факультета наук о Земле Университета Марии Кюри-Склодовской, Люблин (Польша)

E-mail: grossular107umcs@gmail.com

*Припачкин Павел Валентинович* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института ФИЦ КНЦ РАН

E-mail: paul@geoksc.apatity.ru

*Базай Айя Валериевна* — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Геологического института ФИЦ КНЦ РАН

E-mail: bazai@geoksc.apatity.ru

*Мирошникова Яна Андреевна* — младший научный сотрудник Геологического института ФИЦ КНЦ РАН

E-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru

#### Author Affiliation

*Tatiana V. Rundkvist* — PhD (Geology & Mineralogy), Deputy Director of Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: rund@geoksc.apatity.ru

*Artem V. Mokrushin* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: mokrushin@geoksc.apatity.ru

Т. В. Рундквист, А. В. Мокрушин, М. Хубер, П. В. Припачкин, А. В. Базай, Я. А. Мирошникова

---

*Milosz Huber*— Associate Professor of the Department of Geology and Protection of Lithosphere of the Faculty of Earth Sciences at the University of Mary Curie-Sklodowska, Lublin (Poland)

E-mail: grossular107umcs@gmail.com

*Pavel V. Pripachkin*— PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: paul@geoksc.apatity.ru

*Aya V. Bazai*— PhD (Geology & Mineralogy), Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: bazai@geoksc.apatity.ru

*Yana A. Miroshnikova*— Junior Researcher of Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: miroshnikova@geoksc.apatity.ru

### **Библиографическое описание статьи**

*Рундквист, Т. В.* Новые данные о составе хромшпинелидов в породах юго-восточной части раннепротерозойского мончегорского комплекса (Кольский регион) / *Т. В. Рундквист [и др.]* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 1 (10). — С. 50–62.

### **Reference**

*Rundqvist Tatiana V., Mokrushin Artem V., Huber Milosz, Pripachkin Pavel V., Bazai Aya V., Miroshnikova Yana A.* New Data on the Composition of Chrome-Spinellides in the Rocks of the South-eastern Part of the Early Proterozoic Monchegorsk Complex (Kola Region). *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2018, vol. 1 (10), pp. 50–62 (In Russ.).