

7. Медведев Е.И., Молчанов В.П., Ивин В.В. Микро- и наночастицы природного ртутистого золота Фадеевского рудно-россыпного узла (Приморье) // *Фундаментальные исследования*. — 2014. — № 9–8. — С. 1765–1768.
8. Нам нано золото: российские ученые открыли новый вид месторождений золота // <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/nasha-versiya-nam-nano-zoloto>.
9. Осовецкий Б.М., Баранников А.Г. «Новое» нанозолото Черно-реченской россыпи // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. — 2012. — № 15. — С. 36–42.
10. Сазонов А.М., Звягина Е.А., Леонтьев С.И. и др. Ассоциации микро- и наноразмерных обособлений благороднометалльного комплекса в рудах // *Журнал Сибирского федерального университета*. Серия: Техника и технологии. — 2008. — Т. 1. — № 1. — С. 17–32.
11. Шумилова Л.В. Причины технологической упорности золото-содержащих руд с новообразованиями металла при цианировании // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2009. — № 4. — С. 220–223.

© Воробьев А.Е., Верчеба А.А., Салим Требесси, 2015

Воробьев Александр Егорович // fogel_al@mail.ru
Верчеба Александр Александрович // aa_ver@mail.ru
Салим Требесси

УДК 5.54.549.02

Никольская Н.Е. (ФГУП «ВИМС»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТИПОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ХАРЧЕРУЗСКОГО БЛОКА И СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

*Впервые получены представительные данные по составам рудных хромшпинелидов Харчерузского блока массива Сыум-Кей и северной части массива Рай-Из. Сравнительный анализ типохимических особенностей рудных хромшпинелидов обоих объектов показал схожесть их составов по содержанию хрома и алюминия и различия в содержании железа и магния — харчерузские хромшпинелиды являются более железистыми по сравнению с райизскими. **Ключевые слова:** рудный хромшпинелид, микрозонд, Харчерузский блок, Рай-Из.*

Nikolskaya N.E. (VIMS)

COMPARATIVE CHEMICAL CHARACTERISTICS OF ORE CHROME SPINEL OF THE KHARCHERUZ BLOCK AND NORTHERN PART OF THE RAY-IZ MASSIF (THE POLAR URALS)

*For the first time the representative data on chemical compositions are given for ore chrome spinel of the Kharcheruzsky block and the northern part of the Ray-IZ massif. The difference of their compositions is marked by the higher contents of iron in kharcheruzsky block's chrome spinel in comparison with spinel of the Ray-IZ massif. **Key words:** chrome spinel, electron-probe microanalysis, Kharcheruzsky block, Ray-IZ*

Хромшпинелид является типичным минералом альпинотипных гипербазитов и встречается как в виде акцессория, так и в виде разномасштабных рудных скоплений. Благодаря большей химической устойчивости по сравнению с сосуществующими силикатными минералами и широким вариациям состава, хромшпинелид является прекрасным индикатором физико-хими-

ческих условий минералообразования, субсолидусных изменений при взаимодействии с силикатными минералами и пострудных метаморфических преобразований. Основанием для детального изучения типохимических свойств рудных хромшпинелидов являются установленные зависимости их первичного химического состава от принадлежности к тем или иным структурно-вещественным комплексам, слагающим альпинотипные гипербазитовые массивы [1, 3, 4]. Рудные хромшпинелиды гарцбургитового структурно-вещественного комплекса (СВК) характеризуются глиноземистыми высокомагнезиальными составами, дунит-гарцбургитового СВК — хромистыми магнезиальными составами, дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса — хромистыми железистыми составами. Выявленная закономерность позволяет давать предварительный прогноз качества хромового оруденения на основе типохимических особенностей рудных хромшпинелидов.

Материалом для микрозондовых исследований послужили рудные шпинели рудопроявлений и точек минерализации Харчерузского блока массива Сыум-Кей и северной части массива Рай-Из (участки Лек-Вож, Верхнесобские I и II, Левая Макара-Рузь).

Большая часть выявленных рудопроявлений и точек минерализации Харчерузского блока массива Сыум-Кей приурочены к площадям развития пород дунит-гарцбургитового СВК с дунитовой составляющей более 30 %. Хромовые руды представлены шпирово-полосчатыми преимущественно редко-убоговкрапленными разновидностями с подчиненным количеством линзовидных и пятнистых густовкрапленных обособлений. Мощность рудных тел не превышает 1,5–2 м, а протяженность — 10 м.

Рудопроявления северной части массива Рай-Из располагаются в верховьях рек Сось и Макара-Рузь и приурочены как к дунит-гарцбургитовому (Лек-Вож, Верхне-Собское II, Левая Макара-Рузь), так и к гарцбургитовому СВК (Верхне-Собское I). Первые залегают в дунитовых телах среди гарцбургитов, имеют удлиненно линзовидную и пластообразную форму и сложены бедными убого-, редко-, средневкрапленными рудами. Второе — представлено 4 элювиальными развалами на площади 0,5 × 2,0 км сплошных и густовкрапленных хромовых руд глиноземистого типа с размером рудных обломков до 0,3–0,5 м.

Микрозондовые исследования рудообразующих хромшпинелидов с использованием международных стандартов проводились на следующие компоненты: SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO_{общ}, MgO, а также на сидерофильные элементы-примеси: Ti, V, Mn, Co, Ni и Zn.

Рудообразующие хромшпинелиды Харчерузского блока на частотных гистограммах характеризуются широкими вариациями содержаний основных компонентов (рис. 1). Разброс значений по хромю и алюминию достигает 25–30 %, по общему железу — 70 %, магнию — 15 %.

Частотная гистограмма для хрома с шагом 2 % показывает, что диапазон содержаний в первичных хромшпинелидах лежит в интервале 46–56 % (мода

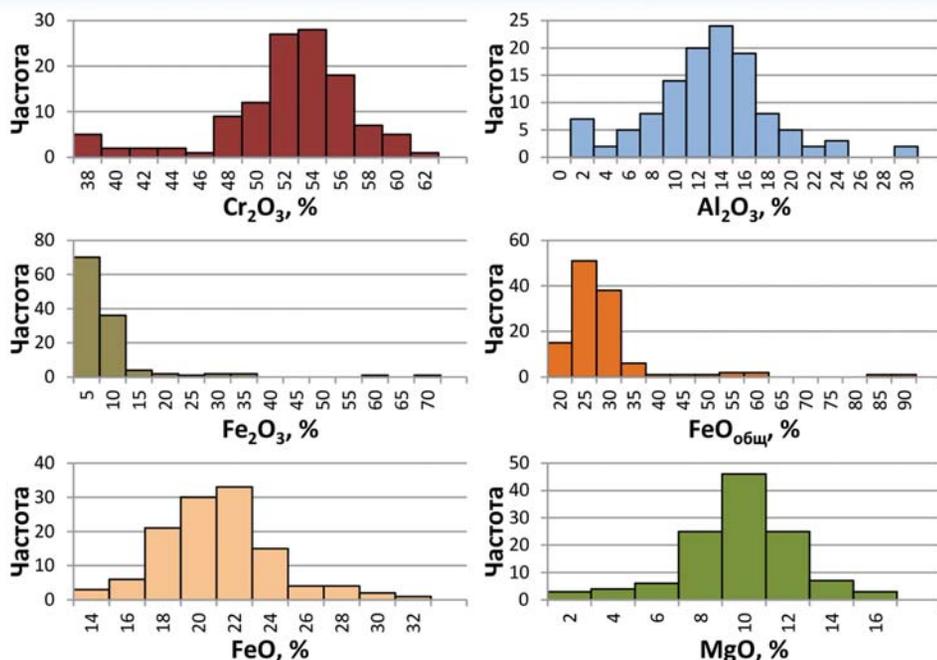


Рис. 1. Частотные гистограммы содержаний основных компонентов рудообразующих хромшпинелидов Харчерузского блока

основная мода магния соответствует 8–10 %, при этом содержание магния ниже 8 % характерны для метаморфизованных железистых составов. Содержания закисного железа в первичных хромшпинелидах (без четко проявленной моды) варьируют от 16 до 24 %, составы с содержанием ниже 16 % характерны для глиноземистых магнезиальных шпинелей, а выше 24 % — для метаморфизованных железистых шпинелей.

Для разделения всего массива данных на неизменные (первичные) и метаморфизованные составы были привлечены частотные диаграммы и FeO_{общ} и Al — наиболее «активных» (подвижных) элементов при таких метаморфиче-

50–54 %). Содержания хрома выше 56 % характерны для хлоритизированных хромшпинелидов, потерявших алюминий, необходимый для образования хлорита и комплиментарно обогащенных хромом. Шлейф значений ниже 46 % отражает составы окисленных метаморфизованных хромшпинелидов с высоким содержанием железа, вплоть до образования магнетита.

Для алюминия главная мода соответствует 12–14 %, а диапазон значений для первичных составов лежит в интервале 8–20 %. Содержание алюминия ниже этого интервала характеризует хлоритизированные и окисленные шпинели, обогащенные соответственно хромом и железом. Основная мода для окисного железа при шаге 5 % лежит в интервале 0–5 %, на более детальной гистограмме с шагом 2 % (здесь не помещенной) она соответствует 4–6 %. Содержание окисного железа в первичных шпинелях не превышает 10 %, в метаморфизованных — достигает 70 %. Четко проявленная

Таблица 1
Коэффициенты корреляции для первичных хромшпинелидов

Компоненты	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	V ₂ O ₅	FeO	MnO	MgO	NiO	ZnO
TiO ₂	1,000									
Al ₂ O ₃	-0,012	1,000								
Cr ₂ O ₃	-0,099	-0,815	1,000							
Fe ₂ O ₃	0,267	-0,489	-0,069	1,000						
V ₂ O ₅	-0,026	-0,071	-0,027	0,101	1,000					
FeO	-0,084	-0,404	0,072	0,396	0,144	1,000				
MnO	0,124	-0,217	-0,026	0,304	0,023	0,708	1,000			
MgO	0,091	0,590	-0,238	-0,477	-0,153	-0,974	-0,682	1,000		
NiO	0,301	0,217	-0,375	0,323	0,007	-0,335	-0,186	0,329	1,000	
ZnO	-0,062	0,014	-0,182	0,135	0,117	0,534	0,367	-0,490	-0,188	1,000
FeO _{общ}	0,072	-0,522	0,017	0,766	0,150	0,894	0,644	-0,915	-0,077	0,451

Примечание: Голубым цветом в таблице отмечены значимые отрицательные, желтым — значимые положительные связи

Таблица 2
Коэффициенты корреляции для метаморфизованных хромшпинелидов

Компоненты	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	V ₂ O ₅	FeO	MnO	MgO	NiO	ZnO
TiO ₂	1,000									
Al ₂ O ₃	-0,369	1,000								
Cr ₂ O ₃	-0,400	0,613	1,000							
Fe ₂ O ₃	0,341	-0,700	-0,989	1,000						
V ₂ O ₅	0,287	-0,251	-0,029	0,038	1,000					
FeO	0,682	-0,591	-0,853	0,818	0,192	1,000				
MnO	0,132	0,143	0,507	-0,510	-0,031	-0,139	1,000			
MgO	-0,505	0,700	0,894	-0,889	-0,154	-0,962	0,169	1,000		
NiO	0,634	-0,746	-0,874	0,874	0,059	0,859	-0,167	-0,881	1,000	
ZnO	0,180	0,093	0,109	-0,142	0,231	0,137	0,583	-0,139	0,082	1,000
FeO _{общ}	0,401	-0,700	-0,992	0,996	0,062	0,865	-0,465	-0,921	0,893	-0,103

Примечание: См. табл. 1

ских преобразованиях, как хлоритизация и окисление (рис. 1). К первичным шпинелям отнесены составы с содержаниями $\text{FeO}_{\text{общ}}$ меньше 30 % (по резкому падению частоты встречаемости на этой границе) и Al меньше 6 %.

Коэффициенты корреляции каждой из выборок показали существенное различие как в наличии, так и в характере связей между компонентами (табл. 1, 2).

Для первичных шпинелей установлены обратные связи между Cr_2O_3 — Al_2O_3 (коэф. коррел. $-0,815$). Метаморфизованные высокохромистые малоглиноземистые шпинели хлоритизированных руд расположились в нижней части выявленного тренда, а окисленные железистые шпинели заняли область с минимальным содержанием алюминия и широкими колебаниями хрома (рис. 2а).

Между алюминием и магнием устанавливаются прямые связи как для первичных, так и для метаморфизованных хромшпинелидов с близкими коэффициентами корреляции — $+0,59$ и $+0,70$ соответственно. При этом, неизменные шпинели являются более глиноземистыми и магнезиальными по сравнению с метаморфизованными (рис. 2б).

Для метаморфизованных железистых шпинелей установлены обратные связи между окисным железом с одной стороны и хромом и алюминием с другой (коэф. корр. $-0,981$ и $-0,700$ соответственно), в то время как для первичных шпинелей такие связи не выявлены (рис. 2в, г).

Микропримесные элементы несут дополнительную информацию о характере метаморфических преобразований рудообразующих хромшпинелидов Харчерузского блока. В первичных хромшпинелидах суммарное содержание второстепенных компонентов (титан, ванадий, марганец, кобальт, никель, цинк) не превышает первых десятых процента, в то время как железистые фазы обогащены никелем, марганцем

и титаном (рис. 3). Выявленные различия в содержании микропримесных элементов первичных и метаморфизованных шпинелей проявлены и в характере их связей. Для метаморфизованных шпинелей характерна прямая связь между TiO_2 с одной стороны и FeO и NiO — с другой (коэфф. коррел. $+0,682$ и $+0,634$ соответственно) (рис. 3а). Между никелем и закисным железом для первичных шпинелей проявлена слабая обратная связь (коэфф. коррел. $-0,335$), в то время как в метаморфизованных шпинелях она пря-

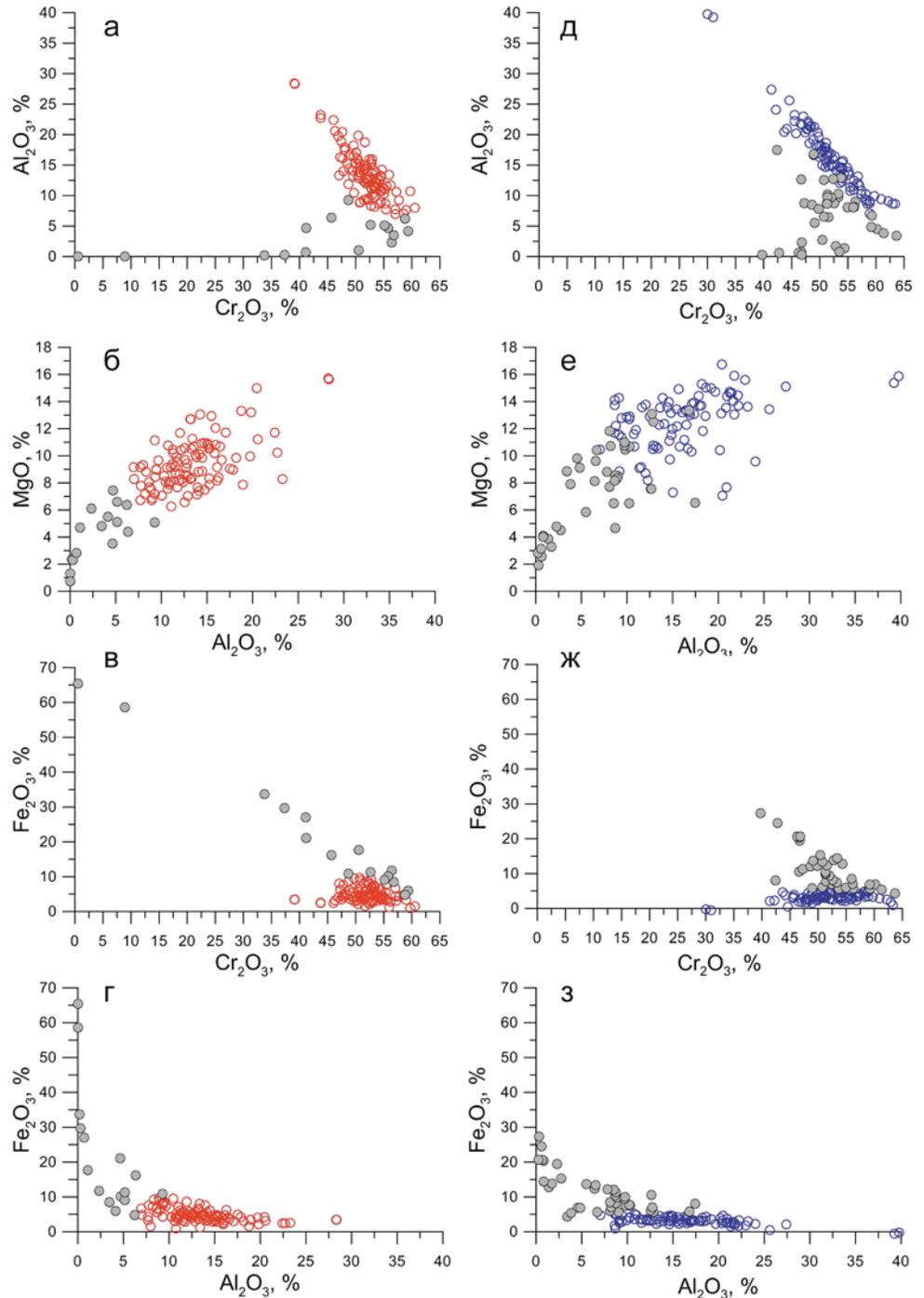


Рис. 2. Содержание основных компонентов хромшпинелидов рудопроявлений Харчерузского блока (а-г) и северной части массива Рай-Из (д-з) (не залитые кружки — первичные хромшпинелиды, залитые кружки — метаморфизованные хромшпинелиды)

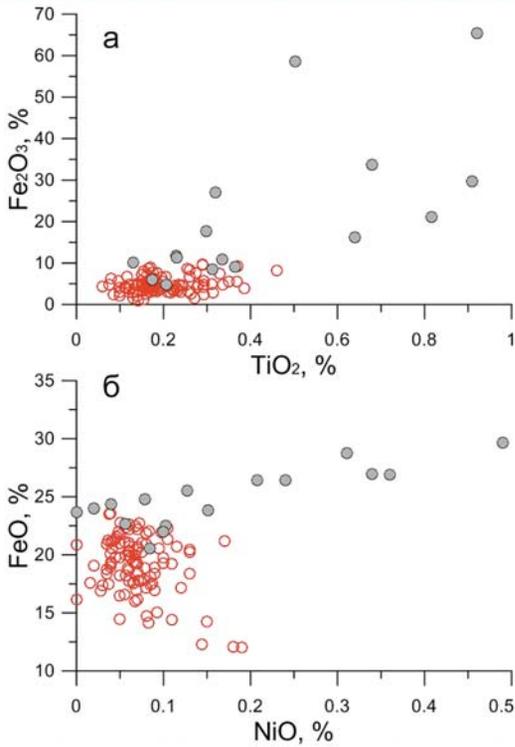


Рис. 3. Диаграммы $TiO_2-Fe_2O_3$ и $NiO-FeO$ рудных хромшпинелидов Харчерузского блока

мая и очень сильная (коэфф. коррел. +0,859) — самые железистые составы являются и самыми никелистыми (рис. 3б). Положительные связи между марганцем и железом характерны и для первичных, и для метаморфизованных составов.

Рудообразующие хромшпинелиды северной части массива Рай-Из характеризуются широкими вариациями составов (рис. 4). Хром имеет нормальное распределение с главной модой 50–52 %. Алюминий характеризуется сложным многомодальным распределением (при шаге 2 %), где главная мода соответствует 8–10 %, а второстепенные, примерно равные по частоте встречаемости, соответствуют 12–18 и 20–22 %, отмечены высокоглиноземистые составы с содержанием алюминия около 40 % и хрома около 30 %. Содержание алюминия ниже 5 % характерно для метаморфизованных хромшпинелидов. Главные моды магния и закисного железа совпадают, составляя 12–14 %, а их гистограммы зеркально отражают друг друга.

Так же как и в случае с рудными хромшпинелидами Харчерузского блока была предпринята попытка приблизительного разделения северорайизских хромшпинелидов на первичные

и метаморфизованные, граница между которыми проявлена по резкому падению частоты встречаемости Fe_2O_3 на 5 % уровне (рис. 4). Характер связей между основными компонентами первичных и метаморфизованных райизских шпинелей практически идентичен харчерузским (рис. 2д, е, ж, з). Для первичных шпинелей проявлена обратная связь между хромом и алюминием и прямая — между алюминием и магнием; отсутствует значимая связь между окисным железом с одной стороны и хромом и алюминием — с другой, а в метаморфизованных шпинелях окисное железо замещает как хром, так и алюминий.

Сравнительный анализ составов рудообразующих хромшпинелидов рудных объектов Харчерузского блока массива Сьум-Кеу и северной части массива Рай-Из показал как их сходство, так и различие (рис. 2).

Диапазоны содержаний хрома и алюминия в первичных хромшпинелидах обоих объектов в целом одинаковы, за исключением нескольких высокоглиноземистых райизских составов (рис. 5а). Моды Cr_2O_3 харчерузских и райизских шпинелей практически совпадают — 50–52 и 50–54 % соответственно. Наиболее часто встречающиеся содержания Al_2O_3 в харчерузских шпинелях лежат в интервале 10–16 %, для райизских же они имеют более широкий диапазон — 8–22 %, что, видимо, объясняется приуроченностью первых к дунит-гарцбургитовому СВК, а вторых как к дунит-гарцбургитовому, так и гарцбургитовому СВК. Окисное железо для первичных хромшпинелидов обеих выборок имеет одномодальное распределение и примерно равную главную моду в 4–6 %. Содержание микропримесных элементов в первичных шпинелях обоих объектов совпадают и не превышают первых десятых процента.

Существенные различия в составах харчерузских и райизских хромшпинелидов установлены для магния и

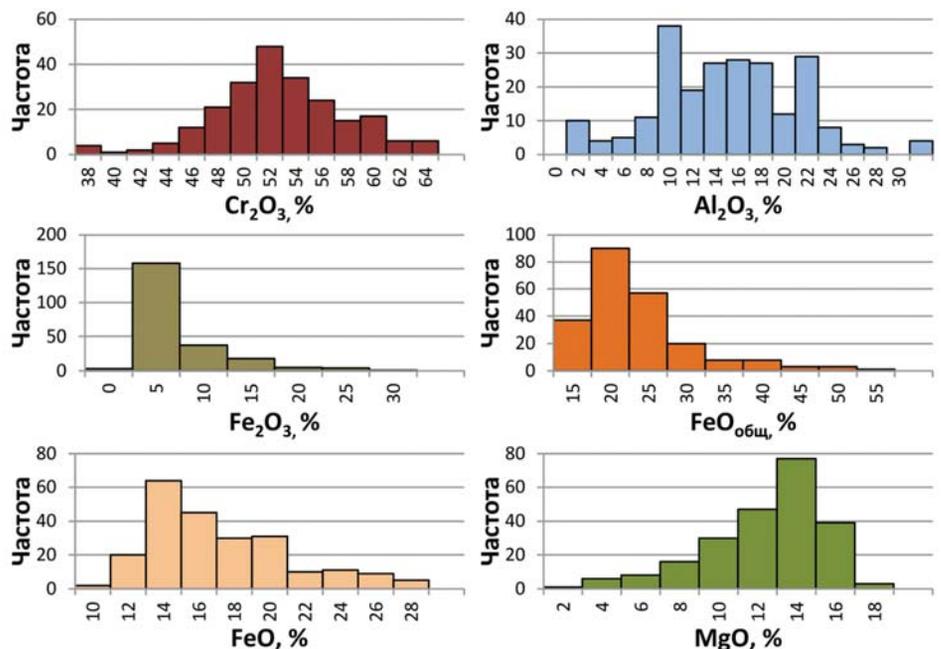


Рис. 4. Частотные гистограммы содержаний основных компонентов рудообразующих хромшпинелидов северной части массива Рай-Из

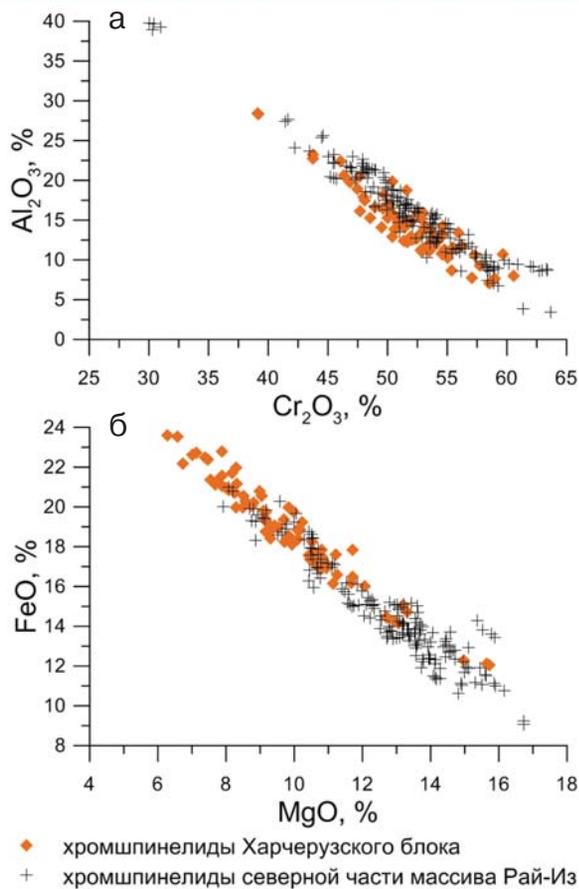


Рис. 5. Диаграммы Cr_2O_3 – Al_2O_3 и MgO – FeO первичных рудных хромшпинелидов Харчерузского блока и северной части массива Рай-Из

железа (рис. 5б). Наиболее часто встречающиеся содержания закисного железа в харчерузских шпинелях лежат в интервале 18–22 %, а райизских — 12–14 %. Кемпирсайские рудные хромшпинелиды Главного рудного поля юго-восточной части массива характеризуются самой низкой железистостью — модальное содержание закисного железа соответствует 10–12 % [2], т.е. намечается опосредованная связь между магниезальностью рудных хромшпинелидов и масштабами хромового оруденения: чем магниезальней рудный хромшпинелид, тем крупнее рудные объекты в альпинотипных массивах.

В пределах Харчерузского блока массива Сым-Кеу, сложенного преимущественно породами дунит-гарцбургитового СВК с разной дунитовой составляющей и крупным дунитовым телом на юге блока, подавляющей минеральной разновидностью рудообразующих хромшпинелидов является алюмохромит.

Северная же площадь массива Рай-Из сложена породами как гарцбургитового, так и дунит-гарцбургитового СВК. Поэтому хромшпинелиды рудопроявлений, приуроченных к дунит-гарцбургитовому СВК (участки Лек-Вож и Левая Макар-Рузь) относятся к высокохромистым алюмохромитам и хромитам, а хромшпинелиды из рудопроявлений гарцбургитового СВК (Верхне-собское I) — к хромпикотитам и низкохромистым алюмохромитам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Института геологических наук. — 1949. — Вып. 103. Серия рудных месторождений. — № 13.
2. Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского плутона. — М.: Наука, 1968.
3. Савельева Г.Н., Белокрыс А.М. Хромиты — руда рожденная в мантии // Природа. — 2012. — № 11. — С. 19–21.
4. Соколов Г.А. Хромиты Урала, их состав, условия кристаллизации и закономерности распространения // Тр. Института геологических наук. — 1948. — Вып. 97. Серия рудных месторождений. — № 12.

© Никольская Н.Е., 2015

Никольская Наталья Евгеньевна // vims_cr@mail.ru

УДК 553.673.5

Сабитов А.А., Галиахметов Р.Г., Трофимова Ф.А., Руселик Е.С. (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»), Николаева Л.М. (ГУГПП РС (Я))

СЕПИОЛИТОВЫЕ ГЛИНЫ МЕТЕГЕРСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)) — НОВЫЙ ВИД НЕРУДНОГО СЫРЬЯ В РОССИИ

*Выявлен новый для России вид нерудного минерального сырья — сепиолитовые глины. Изучен вещественный состав и технологические свойства сепиолитовых глин, опробованных на Метегерском проявлении. Установлена пригодность глин для приготовления буровых растворов и производства адсорбционных материалов для очистки растительных масел. Оценены прогнозные ресурсы в количестве около 9 млн. т кат. P_2 и P_3 . **Ключевые слова:** сепиолитовая глина, вещественный состав, технологические свойства, прогнозные ресурсы, Метегерское проявление, Якутия.*

Sabitov A.A., Galiachmetov R.G., Trofimova F.A., Ruselik E.S. (CNIIGeolnerud), Nikolaeva L.M. (State Unitary Geological Enterprise «Yakutskgeo»)

SEPIOLITE CLAYS OF METEGER OCCURRENCE (SAKHA-YAKUTIA REPUBLIC) — A NEW TYPE OF INDUSTRIAL MINERALS IN RUSSIA

*New industrial mineral is discovered in Russia. Real composition of sepiolite clay of Meteger occurrence is studied, technological properties are tested. Possibility of using for drilling mud and for vegetable oils cleaning adsorbent materials is determined. Inferred reserves are estimated. **Key words:** sepiolite clay, real composition, technologic properties, inferred reserves, Meteger, Yakutia.*

Сепиолит (морская пенка, горная кожа, гуннбъярнит) относится к группе сепиолит-палыгорскита (общее название — хормиты). Это магниезальный глинистый минерал ($Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(OH_2)_4 \cdot 8H_2O$ [5]) со слоистой цепочкообразной структурой. Магний в сепиолите может быть замещен двух- и трехвалентным железом (феррисепиолит), никелем (никельсепиолит), алюминием (алюмосепиолит). Образуется в почвах, солоноводных бассейнах аридного и полуаридного климата. Встречается в карбонатных и карбонатно-глинистых породах в форме линз и линзообразных пла-