

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОМИТИТОВ МАССИВА
СЕВЕРНЫЙ КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

© Гатауллин Руслан Азатович, © Шабутдинов Тимур Денисович

Институт геологии

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр

Российской Академии наук»,

г. Уфа, Российская Федерация

© Савельев Дмитрий Евгеньевич

Государственное бюджетное научное учреждение

«Академия наук Республики Башкортостан»

Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр

Российской Академии наук»,

г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация: В статье описаны минералогические особенности пяти хромититовых рудопроявлений массива Северный Крака. Рудопроявления восточной части массива представляют собой типичные подиформные тела, отделенные от окружающих перидотитов маломощной дунитовой оторочкой, либо залегающие в полностью серпентинизированных породах. Размеры тел: длина от 5 до 20 м, ширина от 1 до 5 м, мощность от 30 см до 1.5 м. Особняком стоит рудопроявление Верхне-Сарангинское в центральной части массива. Здесь густоупакованные хромититы цементируются пироксенитами, в составе которых преобладает ортопироксен (энстатит), подчиненное значение имеет клинопироксен (диопсид). Дуниты присутствуют в виде полос мощностью до 1 м среди преобладающих на участке перидотитов. Главными минералами хромититов всех проявлений являются хромшпинелиды, отношение Cr/Al в которых довольно значительно изменяется, что связано как со средними значениями по рудопроявлениям, так и с неоднородным распределением элементов в рудных зернах, то есть с геохимической зональностью. Наименее хромистые шпинелиды встречены в хромититах Верхне-Сарангинского рудопроявления, параметр Cr# ($Cr/(Cr+Al)$) в них изменяется в пределах 0.5–0.75. Зональность зерен наиболее ярко проявлена в рудах проявлений из юго-восточной части массива. Минералы платиновой группы (МПГ) в хромититах представлены тугоплавким подтипом, причем характерной чертой изученных рудопроявлений является доминирование рутения в их составе. Первичные МПГ представлены преимущественно лауритом с незначительной примесью осмия и иридия. При замещении лаурита образовались оксидные (?) фазы, близкие к нему по составу ЭПГ. Наилучшая сохранность первичных парагенезисов характерна для проявлений Шигаевской группы. Вероятнее всего, образование рудопроявлений в восточной части массива происходило по механизму реоморфической дифференциации в рестите. Генезис хромититов Верхне-Сарангинского рудопроявления в настоящее время представляется дискуссионным, требующим дополнительных исследований.

Ключевые слова: хромититы, офиолиты, хромшпинелиды, ультрамафиты, Южный Урал, Северный Крака

MINERALOGICAL FEATURES OF CHROMITITES FROM THE NORTHERN KRAKA MASSIF (SOUTHERN URALS)

© Gataullin Ruslan Azatovich, © Shabutdinov Timur Denisovich

Institute of Geology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences,
Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Summary: The article describes the mineralogical features of five chromitite occurrences of the Northern Kraka massif. Occurrences in the eastern part of the massif are typical podiform bodies separated from the surrounding peridotites by a thin dunite rim or occurring in completely serpentinized rocks. The sizes of the bodies are: length from 5 to 20 m, width from 1 to 5 m, thickness from 30 cm to 1.5 m. The Verkhne-Saranginskoye occurrence in the central part of the massif stands apart. Here, densely disseminated chromitites are cemented by pyroxenites, which are dominated by orthopyroxene (enstatite), with clinopyroxene (diopside) of subordinate importance. Dunites are present in the form of bands up to 1 m thick among the lherzolites prevailing in the area. The main mineral of chromitites of all occurrences is Cr-spinel, the Cr/Al ratio in which varies quite significantly, which is associated with both the average values for ore occurrences and the non-uniform distribution of elements in ore grains, i.e. with geochemical zoning. The low-Cr spinels are found in chromitites of the Verkhne-Saranginskoye occurrence, the Cr# parameter ($\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$) in them varies within 0.5–0.75. Zoning of Cr-spinel grain is most clearly expressed in ores of occurrences from the southeastern part of the massif. Platinum group minerals (PGM) in chromitites are represented by a refractory subtype, and a characteristic feature of the studied occurrences is the dominance of ruthenium in their composition. Primary PGMs are represented mainly by laurite with an insignificant admixture of osmium and iridium. When replacing laurite, oxide (?) phases were formed, close to it in the PGE composition. The best preservation of primary parageneses is characteristic of the Shigaevskoe group of occurrences. Most likely, the formation of occurrences in the eastern part of the massif occurred by the mechanism of rheomorphic differentiation in restite. The genesis of the chromitites of the Verkhne-Saranginskoye occurrence currently seems debatable, requiring additional research.

Key words: chromitites, ophiolites, Cr-spinel, ultramafic rock, Southern Urals, Northern Kraka

Введение. Хромшпинелиды являются типичными акцессорными минералами ультрамафитов офиолитовых массивов. Наблюдаемая зависимость между химическим составом и термодинамическими условиями формирования хромшпинелидов позволяет использовать их в качестве индикаторов петрогенеза [1–6]. Локализуясь в мантийных тектонитах в качестве рудных тел, формируют подиформный тип месторождений хромитов. Помимо хромшпинелида, выступающего главным порообразующим минералом, в хромититах встречаются разнообразные включения, в том числе силикаты, сульфиды «основных металлов» (base metal sulfides, BMS), минералы платиновой группы (МПГ), а также в последние десятилетия участились находки различных «экзотических» для ультрамафитов минералов [7–10].

Особый интерес представляет изучение включений платиноидов в хромититах. Элементы платиновой группы (ЭПГ) тяготеют к магматическим комплексам мантийного происхождения. Концентрируясь в комплексах пород

основного и ультраосновного состава, ЭПГ подразделяют на две подгруппы: относительно низкоплавкие платиноиды (Pt, Pd и Rh), образующие Pt-подгруппу (PPGE), и тугоплавкие платиноиды (Ru, Ir и Os), составляющие Ir-подгруппу (IPGE).

Подиформные хромититы, связанные с офиолитовыми массивами и содержащиеся в них ЭПГ широко распространены в Уральском складчатом поясе [11]. Изучению ЭПГ в массивах Крака посвящено несколько работ [12–15]. В данной работе изучен новый материал, отобранный из 5 рудопроявлений в ходе полевых маршрутов 2016-2023 на массиве Северный Крака.

Геологическая обстановка. Северный Крака является вторым по площади среди массивов кракинской группы после Южного. Представляет собой изометричное в плане тело с размерами 15–18 км. Геологическое строение массива Северный Крака определяется преобладанием лерцолитов массивной либо полосчатой текстуры. На пониженных участках рельефа преобладают серпентиниты и гидротермально измененные мафиты (родингиты). В обнажениях на гребневой части хребтов и в глубоко врезанных руслах р. Саргая и ее притоков встречается довольно много выходов свежих ультрамафитов, что является довольно редким явлением для массивов Крака.

Ультрамафиты внутренней части массива Северный Крака подвержены низкотемпературной петельчатой серпентинизации. Количество серпентина варьирует от 60 об.% в дунитах и гарцбургитах до 20–30 об.% в массивных лерцолитах. Наблюдаются обнажения лерцолитов, в которых практически отсутствует серпентин (2–5 об.%). Свежие породы также встречаются в виде отпрепарированных галек в аллювии ручьев. Массив характеризуется довольно простым строением: в центральной части ультрамафиты представлены преимущественно лерцолитами (оливин – 65–70%, ортопироксен – 10–25%, клинопироксен – 5–10%, хромшпинелид 0.5–3%), среди которых встречаются участки гарцбургитов, а также полосовидные, линзовидные либо столбообразные тела дунитов (рис.1). Лерцолиты представлены шпинелевыми и шпинель-плагиоклазовыми разновидностями [16].

Методы исследования. Электронно-микроскопические исследования и изучение состава минералов хромититов проводились в аншлифах и эпоксидных шашках на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact с энергодисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа) и электронном микроскопе Tescan Vega 3 (ИПСМ РАН).

Спектры химического состава обрабатывали с помощью программного пакета AzTec One. При съемке использовались следующие настройки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 60 с в режиме Point&ID.

Формулы хромшпинелидов и оливина рассчитывались на 4, пироксенов – на 6 атомов кислорода, соответственно. В формуле хромшпинелидов количество

двух- и трехвалентного железа определялось по стехиометрии минерала. Содержания минералов в составе оливина и пироксенов определены следующим образом: форстерита ($Fo=Mg/(Mg+Fe)$, ат.%), энстатита ($En=Mg/(Mg+Fe+Ca)$, ат.%), ферросилита ($Fs=Fe/(Mg+Fe+Ca)$, ат.%), волластонита ($Wo=Ca/(Mg+Fe+Ca)$, ат.%). Аббревиатуры минералов, использованные нами на рисунках, соответствуют таковым, рекомендованным в работе [18], либо минералы обозначены формулой, примерно соответствующей их химическому составу.

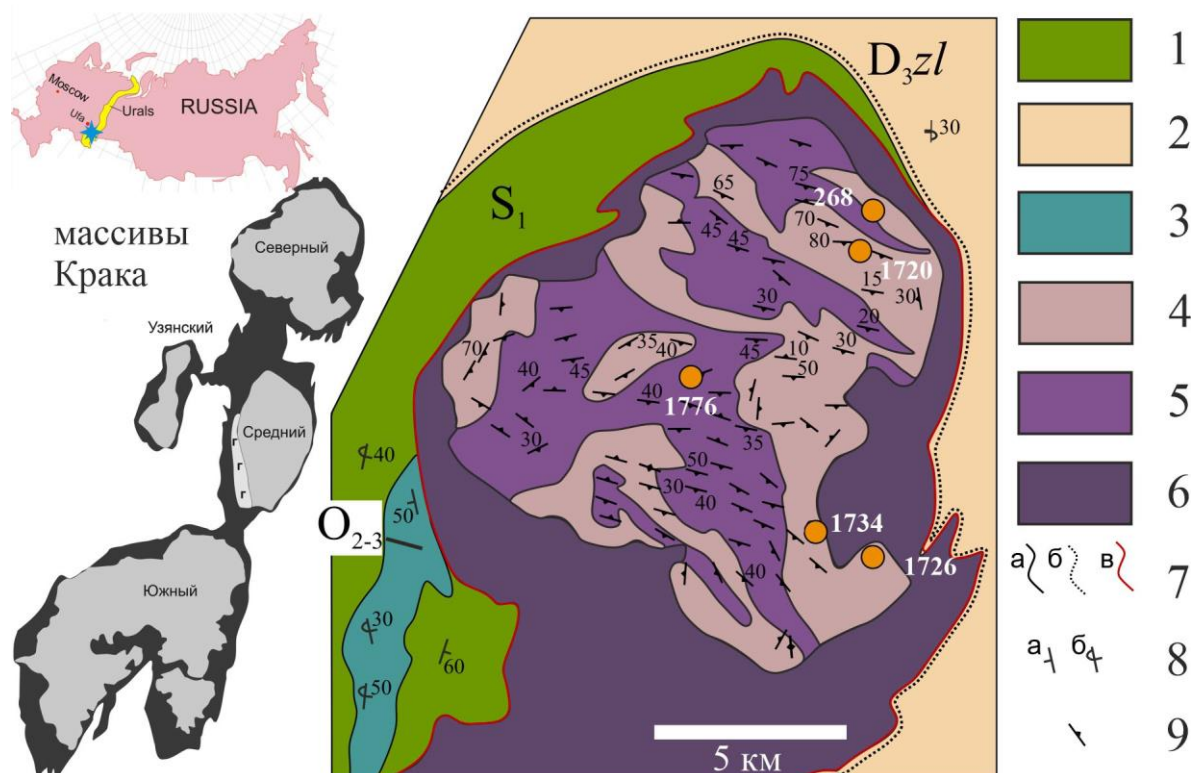


Рисунок 1 – Геологическая схема массива Северный Крака,

где: 1 – вмещающие породы Зилаирской мегазоны (песчаники, алевролиты, кремнистые и глинистые сланцы), 2 – вмещающие породы зоны Уралтау (кварциты, кварцево-серицитовые и кварцево-серицит-гранатовые сланцы), 3 – габброиды, 4 – преимущественно лерцолиты, 5 – преимущественно гарцбургиты, 6 – серпентинитовый меланж, 7 – геологические границы (а – стратиграфические нормальные, б – несогласные, в – тектонические), 8 – элементы залегания стратифицированных пород (а – нормальное, б – опрокинутое), 9 – элементы залегания полосчатости в ультрамафитах. Оранжевые точки – места отбора рудных хромититов, изученных в ходе данной работы. По [17] с незначительными изменениями.

Результаты исследования. В ходе данной работы были изучены хромититы с пяти рудопроявлений, находящихся в пределах мантийного комплекса массива Северный Крака, отобранных в ходе полевых работ 2016–2023 гг. (рис.1): Шигаево-1 (Сек-268), Шигаево-2 (Сек-1720), Верхне-Сарангинское (Сек-1776), точки Сек-1734 и Сек-1726. Рудопроявления

Шигаевской группы и точек 1734 и 1726 представляют собой типичные подиформные тела, отделенные от окружающих перидотитов маломощной дунитовой оторочкой (Сек-268), либо залегающие в полностью серпентинизированных породах (Сек-1720, 1726, 1734). Размеры тел: длина от 5 до 20 м, ширина от 1 до 5 м, мощность от 30 см до 1.5 м. Особняком стоит рудопроявление Верхне-Сарангинское. Здесь густоврапленные хромититы цементируются пироксенитами, в составе которых преобладает ортопироксен (энстатит), подчиненное значение имеет клинопироксен (диопсид). Дуниты присутствуют в виде полос мощностью до 1 м среди преобладающих на участке лерцолитов.

На основе изученных спектров химического состава дана обобщенная минералогическая характеристика хромититов массива Северный Крака (таблица 1). Основным пороодообразующим минералом является хромшпинелид, слагающий до 95 об.% породы. Промежутки между зёрнами сложены, главным образом, серпентином, в меньшей степени – хлоритом. Первичные минералы вмещающих пород – пироксены, оливин, амфибол редки и находятся во включениях в хромшпинелиде. Гранаты уграндитового ряда встречены в хромититах проявлений 1726 и 1734. Они представлены тонкими (до 50 μm) каймами на зёрнах хромшпинелида. Сульфиды (пентландит, хизлевудит, Cu-Ni-Fe-сульфиды переходного состава), а также минералы платиновой группы – лаурит и оксиды тугоплавких платиноидов представлены мелкими выделениями внутри зёрен хромшпинелидов, близкими к идиоморфному облику.

Хромшпинелиды, представлены главным образом хромпикотитом, субферрихромпикотитом, субферриалюмохромитом, алюмохромитом и хромитом (рис.2а). Они характеризуются высокой хромистостью ($\text{Cr}\# > 0.5$), с концентрацией значений преимущественно около $\text{Cr}\# = 0.8$, магниальностью ($\text{Mg}\#$) в пределах 0.4–0.8 (рис 2а,б).

Помимо хромшпинелидов в породе были встречены оливин, пироксены и гранаты. Оливин представлен единичные включения в хромитите размером 50–100 μm . Доля форстеритового минала оливина доходит до $\text{Fo} = 0.95\text{--}0.96$. Ортопироксены представлены зёрнами ксеноморфной формы размером 100–200 μm . Клинопироксен был встречен: 1) в виде зерен ксеноморфной формы, достигающих в длину до 1 мм (образец СЕК-1776-13-01-1); 2) в качестве ламелей в зёрнах ортопироксена (образец СЕК-1776-13-01-1). На диаграмме (рис. 3А) спектры химического состава ортопироксенов соответствуют энстатиту, клинопироксены – диопсиду.

Встреченные включения гранатов характеризуются повышенным содержанием СаО (33–35.7 мас. %) и по химическому составу соответствуют минералам ряда уваровит-гроссуляр-андрадит (рис. 3Б).

Среди минералов платиноидов резко преобладают тугоплавкие ЭПГ, особенно рутений. Минералы представлены лауритом и оксидом рутения (рис.4), наблюдается отдельные включения сплавов переменного состава Pt-Fe и Fe-Ru-S.

Таблица 1 – Породообразующие и аксессуарные минералы в хромититах массива Северный Крака

№ п/п	минерал	Формула	распространение
1	хромшпинелид	$(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$	+++++
2	серпентин	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	++++
3	хлорит (клинохлор)	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	++++
4	аваруит	Ni_3Fe	+++
5	пентландит	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$	++
6	хизлевудит	Ni_3S_2	++
7	карбонаты	$(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$	++
8	Оксиды (?) платиноидов	$(\text{Ru,Os,Ir,Pt,Fe,Ni,Cu...})\text{O}$	++
9	лаурит	$(\text{Ru,Os,Ir})\text{S}_2$	++
10	ортопироксен (энстатит)	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	++
11	клинопироксен (диопсид)	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	++
12	гранат (уваровит-андрадит)	$\text{Ca}_3(\text{Cr,Fe,Al})_2(\text{SiO}_4)_3$	+
13	оливин	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	+

Примечание: +++++ - главный минерал (>50%), +++++ - второстепенный минерал (10- 50%), +++ - типичный аксессуарный минерал, ++ - редкий минерал, + - единичные находки.

Обсуждение и выводы

Главными минералами хромититов являются хромшпинелиды, отношение Cr/Al в которых довольно значительно изменяется, что связано как со средними значениями по рудопроявлениям, так и с неоднородным распределением элементов в рудных зернах, то есть с геохимической зональностью. Наименее хромистые шпинелиды встречены в хромититах Верхне-Сарангинского рудопроявления, в них Cr# изменяется в пределах 0.5–0.75. Зональность наиболее ярко проявлена в рудах проявлений из юго-восточной части массива (1726, 1734) и в том же Верхне-Сарангинском проявлении.

В целом, составы хромшпинелиды соответствуют типичному офиолитовому тренду, протягивающемуся вдоль стороны Al–Cr треугольной диаграммы Н.В.Павлова. Большая глиноземистой хромшпинелидов Верхне-Сарангинского рудопроявления может быть вызвана двумя причинами: 1)

кумулятивной (магматической) природой в случае, если они кристаллизовались из расплава, остатки которого представлены в настоящее время пироксенами; 2) недостаточной твердофазной дифференциацией мантийного материала (рестита), когда новообразованный при деформационном распаде пироксенов хромит не был отделен от источника.

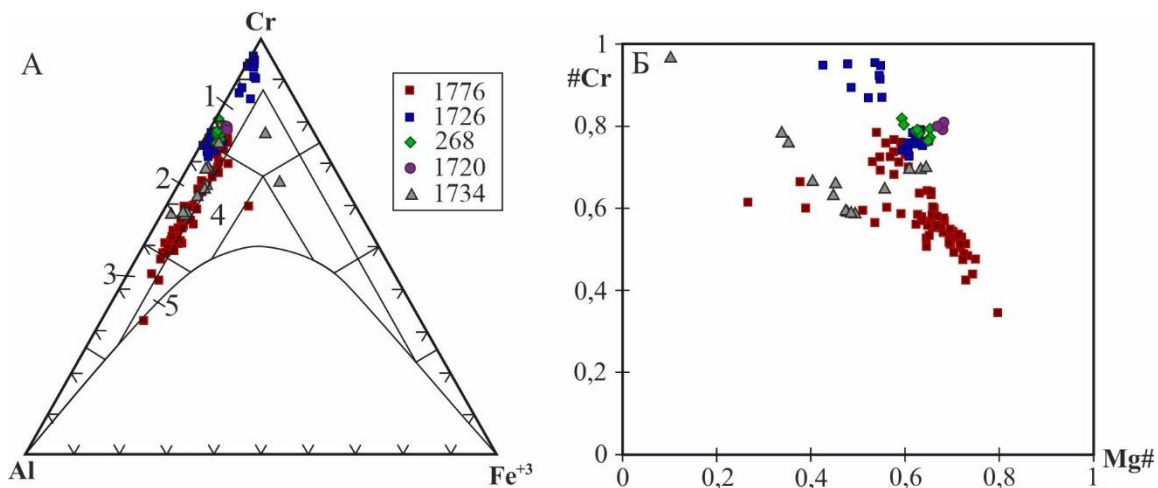


Рисунок 2 – Диаграммы состава хромшпинелидов,

где А – треугольная классификационная диаграмма хромшпинелидов по [19], 1 — хромит, 2 — алюмохромит, 3 — хромпикотит, 4 — субферриалюмохромит, 5 - субферрихромпикотит; Б – бинарная диаграмма #Cr–#Mg для хромшпинелидов.

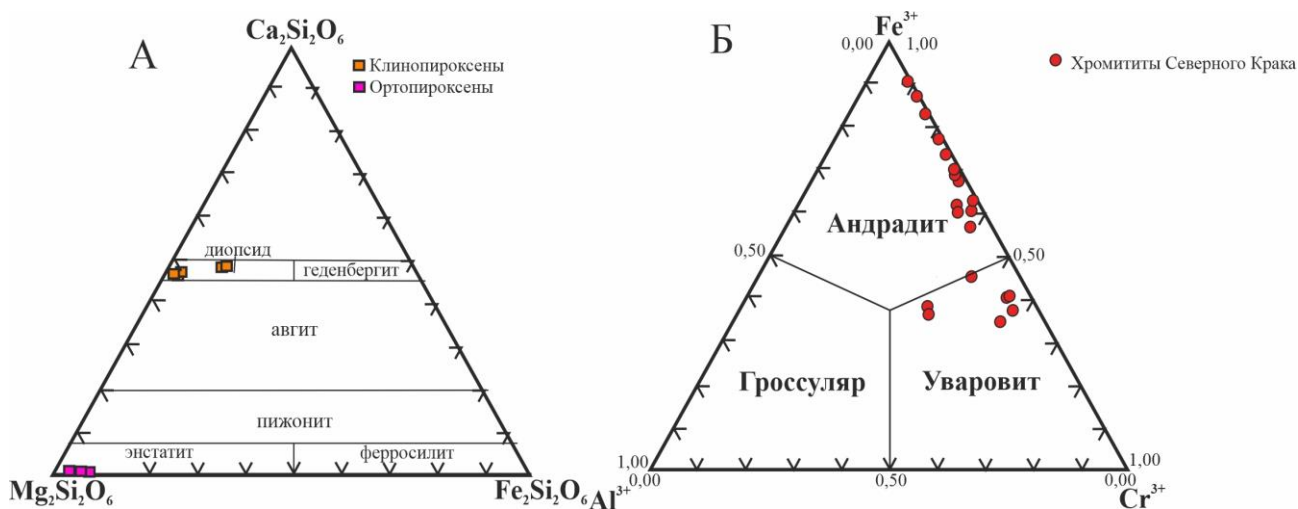


Рисунок 3 – Диаграммы состава аксессуарных минералов хромитов,

где А – треугольная классификационная диаграмма пироксенов по [20], Б – треугольная диаграмма составов гранатов уграндитового ряда.

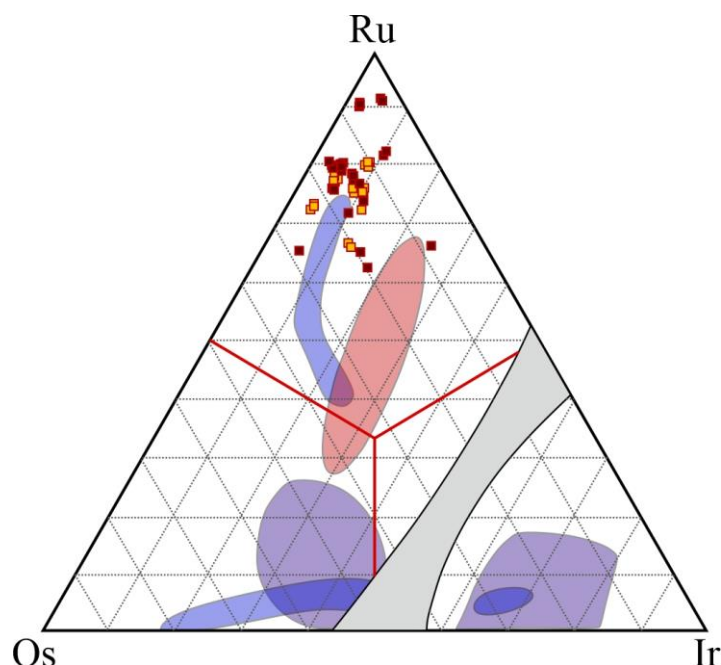


Рисунок 4 – Диаграмма составов включений, представленных минералами тугоплавких платиноидов из хромититов мантийного разреза,

где зона несовместности в сплавах Os-Ir-Ru состава дана по [21]. Поля: фиолетовые – поля составов природных сплавов из офиолитовых хромититов по данным [22–25], синий – составы сплавов из хромититов офиолита Bou Azzer, Марокко, красное – валовые соотношения Ru, Os и Ir в хромититах офиолита Bou Azzer, Марокко [26]. Жёлтые точки — сульфидные МПГ, коричневые — оксидные.

На рудопроявлениях 1726 и 1734 зональность выражена в увеличении на краях зерен содержаний хрома и железа за счет снижения концентрации алюминия и магния. Это скорее всего обусловлено специфическими условиями метаморфических преобразований и/или гидротермальной проработкой пород. Последний вариант подтверждается наличием (в обоих рудопроявлениях) в интерстициальном пространстве хромититов значительного количества хромистых гранатов (андрадит, уваровит). Кроме того, в интерстициальном пространстве хромититов присутствуют и другие минералы, указывающие на гидротермальное воздействие, в частности, карбонаты, оксидные фазы платиноидов.

На рудопроявлениях Шигаевской группы выявлены единичные включения оливина, который является высокомагнезиальным ($Fo=0.95$) и по составу соответствуют оливину из сильно деплетированных мантийных реститов, что вместе с высокохромистым составом рудообразующего шпинелида указывает на реститовое происхождение оруденения.

Минералы платиновой группы (МПГ) в хромититах представлены тугоплавким подтипом, причем характерной чертой изученных рудопроявлений является доминирование рутения в их составе. Первичные МПГ представлены дисульфидами ряда лаурит-эрликманит, все обнаруженные зерна относятся к

лауриту с незначительной примесью осмия и иридия. Лаурит как правило обнаруживается во внутренних частях зерен хромита, часто обладает кристалломорфным обликом. Наилучшей сохранностью отличаются лауриты из проявлений Шигаевской группы, а вот в других рудопроявлениях анализы тугоплавких МПГ демонстрируют практическое отсутствие серы и высокие концентрации кислорода. Вместе с тем, при нанесении составов всех изученных зерен МПГ на треугольную диаграмму Os-Ru-Ir можно видеть, что все точки располагаются в виде единого компактного поля. Это скорее всего свидетельствует о том, что оксидные фазы, обнаруженные в рудопроявлениях Сек-1726 и 1734 первоначально также были представлены лауритом, но в результате гидротермальной проработки хромититов были замещены вторичными фазами (оксидами?).

Таким образом, проведенные исследования позволили расширить знания о минералогии пяти хромититовых рудопроявлений массива Северный Крака, охарактеризовать вариации состава главных минералов – хромшпинелидов, состав минералов из включений в них и минералов из интерстициального пространства. Вероятнее всего, образование рудопроявлений Шигаевской группы, точек 1726 и 1734 происходило по механизму реоморфической дифференциации в рестите. Генезис хромититов Верхне-Сарангинского рудопроявления в настоящее время представляется дискуссионным, требующим дополнительных исследований.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания № FMRS-2022-0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arai S. (1980) Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan // *Journal of Petrology*. V. 21, pp.141–165.
2. Arai S. (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // *Chemical Geology*. V. 113, pp.191–204.
3. Barnes S., Roeder P. (2001) The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 279–2302. doi.org/10.1093/petrology/42.12.2279
4. Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas // *Contributon to Mineralogy and Petrology*. V. 86, pp. 54–76.
5. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 655–671.

6. Morishita T., Andal E.S., Arai S., Ishida Y. (2006) Podiform chromitites in the lherzolite-dominant mantle section of the Isabela ophiolite, the Philippines // *The Island Arc*. V. 15, pp. 84–101. doi:10.1111/j.1440-1738.2006.00511.x
7. Borisova A.Y., Ceuleneer G., Kamenetsky V.S., Arai S., Béjina F., Abily B., Bindeman I.N., Polvé M., De Parseval P., Aigouy T., Pokrovski G.S. (2012) A new view on the petrogenesis of the Oman ophiolite chromitites from microanalyses of chromite-hosted inclusions // *Journal of Petrology*. V. 53, pp.2411–2440.
8. Johan Z., Martin R.F., Ettler V. (2017) Fluids are bound to be involved in the formation of ophiolitic chromite deposits // *European Journal of Mineralogy*. V. 29, pp. 543–555.
9. McElduff B., Stumpfl E.F. (1991) The chromite deposits of the Troodos Complex, Cyprus: evidence for the role of a fluid phase, accompanying chromite formation // *Mineralium Deposita*. V. 26, pp. 307–318.
10. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. (2012) Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite // *Journal of Asian Earth Science*. V. 59, pp.52–61.
11. Перевозчиков Б.В., Булыкин Л.Д., Попов И.И., Орфаницкий В.Л., Андреев М.И., Сначев В.И., Даниленко С.А., Черкасов В.Л., Ченцов А.М., Жарикова Л.Н., Клочко А.А. (2000) Реестр хромитопоявлений в альпинотипных гипербазитах Урала. Под ред. Перевозчиков Б.В. Камариксди, Пермь. 474 с.
12. Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Зайков В.В., Сначев В.И., Котляров В.А., Блинов И.А. (2015) Первые проявления ЭПГ-минерализации в ультраосновных породах Среднего Крака (Южный Урал) // *Доклады академии наук*. 460 (2). С. 103–105.
13. Garuti G., Pushkarev E.V., Gottman I.A., Zaccarini F. (2021) Chromite-PGM Mineralization in the Lherzolite Mantle Tectonite of the Kraka Ophiolite Complex (Southern Urals, Russia) // *Minerals*. 11, 1287. <https://doi.org/10.3390/min11111287>
14. Рахимов И.Р., Савельев Д.Е., Вишнеvский А.В. (2021) Платинометалльная минерализация магматических комплексов Южного Урала: геолого-геодинамическая характеристика формаций, проблемы их генезиса и перспективы // *Геодинамика и тектонофизика*. 12 (2). С. 409–434. doi:10.5800/GT-2021-12-2-0531.
15. Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А. (2023). Акцессорная минерализация в лерцолитах массива Северный Крака (Южный Урал) // *Георесурсы*. V. 25(3), pp. 22-35. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.2>
16. Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А. (2021) Лерцолиты Азнагуловской площади (Южный Урал): состав и P-T- fO₂ условия образования // *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. Т. 40, №3(103). С.15–25.

17. Савельев Д.Е. (2018) Ультрамафитовые массивы Крака (Южный Урал): особенности строения и состава перидотит-дунит-хромититовых ассоциаций. Уфа: Башк. энцикл. 204 с.
18. Whitney D. L., Evans B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*. V. 95 (1), pp. 185–187.
19. Павлов Н.В. (1949) Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // *Труды института геологических наук АН СССР*. № 13. С. 10–35.
20. Morimoto N. (1989) Nomenclature of pyroxenes // *Canadian mineralogist*. V. 27, pp. 143-156.
21. Harris D.C., Cabri L.J. (1991) Nomenclature of platinum-group-elementalloys: review and revision // *Canadian Mineralogist*. V. 29, pp. 231–237.
22. Zaccarini F., Proenza J. A., Ortega-Gutierrez F., Garuti G. (2005) Platinum group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuitzingo (Acatlan complex, southern Mexico): implications for post-magmatic modification // *Mineralogy and Petrology*. 84, pp. 147–168 DOI 10.1007/s00710-005-0075-7
23. Garuti G., Zaccarini F., Economou-Eliopoulos M. (1999) Paragenesis and composition of laurite from chromitites of Othrys (Greece): implications for Os-Ru fractionation in ophiolitic upper mantle of the Balkan peninsula // *Mineralium Deposita*. V. 34, pp. 312±319.
24. Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpfl E.F. (1997) Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite // *Journal of Petrology*. V. 38, pp. 1419–1458.
25. Vatin-Perignon N., Amosse J., Radelli L., Keller F., Castro Leyva T. (2000) Platinum-group elements behaviour and thermochemical constraints in the ultrabasic-basic complex of the Vizcaino Peninsula, Baja California Sur, Mexico // *Lithos*. V.53, pp. 59–80.
26. El Ghorfi M., Melcher F., Oberthur T., Boukhari A. E., Maacha L., Maddi A., Mhaili M. (2008) Platinum group minerals in podiform chromitites of the Bou Azzer ophiolite, Anti Atlas, Central Morocco // *Mineralogy and Petrology*. V. 92, pp. 59–80 DOI 10.1007/s00710-007-0208-2

REFERENCES

1. Arai S. (1980) Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan. *Journal of Petrology*. V. 21, pp.141–165.
2. Arai S. (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chemical Geology*. V. 113, pp.191–204.

3. Barnes S., Roeder P. (2001) The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 279–2302. doi.org/10.1093/petrology/42.12.2279
4. Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributon to Mineralogy and Petrology*. V. 86, pp. 54–76.
5. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 655–671.
6. Morishita T., Andal E.S., Arai S., Ishida Y. (2006) Podiform chromitites in the lherzolite-dominant mantle section of the Isabela ophiolite, the Philippines. *The Island Arc*. V. 15, pp. 84–101. doi:10.1111/j.1440-1738.2006.00511.x
7. Borisova A.Y., Ceuleneer G., Kamenetsky V.S., Arai S., Béjina F., Abily B., Bindeman I.N., Polvé M., De Parseval P., Aigouy T., Pokrovski G.S. (2012) A new view on the petrogenesis of the Oman ophiolite chromitites from microanalyses of chromite-hosted inclusions. *Journal of Petrology*. V. 53, pp.2411–2440.
8. Johan Z., Martin R.F., Ettler V. (2017) Fluids are bound to be involved in the formation of ophiolitic chromite deposits. *European Journal of Mineralogy*. V. 29, pp. 543–555.
9. McElduff B., Stumpfl E.F. (1991) The chromite deposits of the Troodos Complex, Cyprus: evidence for the role of a fluid phase, accompanying chromite formation. *Mineralium Deposita*. V. 26, pp. 307–318.
10. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. (2012) Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite. *Journal of Asian Earth Science*. V. 59, pp.52–61.
11. Perevozchikov B.V., Bulykin L.D., Popov I.I., Orfanitsky V.L., Andreev M.I., Snachev V.I., Danilenko S.A., Cherkasov V.L., Chentsov A.M., Zharikova L.N., Klochko A.A. Register manifestations of chromium in peridotites of the Alpine type of the Urals. Edited by Perevozchikov B.V. Kamariksdi, Perm. 2000, 474 p.
12. Saveliev D.E., Belogub E.V., Zaikov V.V., Snachev V.I., Kotlyarov V.A., Blinov I.A. First manifestations of PGE-mineralisation in ultrabasic rocks of the Middle Kraka massif (Southern Urals). *Earth Science Reports*, 2015, 460 (2), P. 103-105.
13. Garuti G., Pushkarev E.V., Gottman I.A., Zaccarini F. Chromite-PGM Mineralization in the Lherzolite Mantle Tectonite of the Kraka Ophiolite Complex (Southern Urals, Russia). *Minerals*, 2021, 11, 1287. <https://doi.org/10.3390/min11111287>
14. Rakhimov I.R., Saveliev D.E., Vishnevskiy A.V. Platinum-metal mineralisation of magmatic complexes of the Southern Urals: geological and geodynamic characteristics of formations, problems of their genesis and prospects.

Geodynamics and Tectonophysics, 2021, 12 (2), pp. 409-434. doi:10.5800/GT-2021-12-2-0531.

15. Saveliev, D.E.; Gataullin, R.A. (2023). Accessory mineralisations in lherzolites of the Severnaya Kraka massif (Southern Urals). *Georesources*, 2023, 25(3), P. 22-35. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.2>

16. Saveliev D.E., Gataullin R.A. Lherzolites of the Aznagulovo area (Southern Urals): composition and P-T-fO₂ formation conditions // *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2021, Vol. 40, No.3(103). P.15-25.

17. Saveliev D.E. Ultramafic Kraka massifs (Southern Urals): peculiarities of structure and composition of peridotite-dunite-chromitite associations. - Ufa: Bashk. encykl., 2018, 204 p.

18. Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*, 2010, 95 (1): 185–187.

19. Pavlov N.V. Chemical composition of chromspinelides in connection with the petrographic composition of rocks of ultramafic intrusions // *Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the USSR Academy of Sciences*, 1949, No. 13. P. 10-35.

20. Morimoto N. Nomenclature of pyroxenes // *Canadian mineralogist*, 1989, V. 27, P. 143-156.

21. Harris D.C., Cabri L.J. Nomenclature of platinum-group-elementalloys: review and revision // *Can Miner*, 1991, 29:231–237

22. Zaccarini F., Proenza J. A., Ortega-Gutierrez F., Garuti G. Platinum group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuizingo (Acatlan complex, southern Mexico): implications for post-magmatic modification // *Mineralogy and Petrology*, 2005, 84: 147–168 DOI 10.1007/s00710-005-0075-7

23. Garuti G., Zaccarini F., Economou-Eliopoulos M. Paragenesis and composition of laurite from chromitites of Othrys (Greece): implications for Os-Ru fractionation in ophiolitic upper mantle of the Balkan peninsula // *Mineralium Deposita*, 1999, 34: 312±319

24. Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpfl E.F. Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite // *J Petrol*, 1997, 38: 1419–1458

25. Vatin-Perignon N., Amosse J., Radelli L., Keller F., Castro Leyva T. Platinum-group elements behaviour and thermochemical constraints in the ultrabasic-basic complex of the Vizcaino Peninsula, Baja California Sur, Mexico // *Lithos*, 2000 53: 59–80

26. El Ghorfi M., Melcher F., Oberthur T., Boukhari A. E., Maacha L., Maddi A., Mhaili M. Platinum group minerals in podiform chromitites of the Bou Azzer ophiolite, Anti Atlas, Central Morocco // *Mineralogy and Petrology*, 2008, 92: 59–80 DOI 10.1007/s00710-007-0208-2

Сведения об авторах:

Гатауллин Руслан Азатович, младший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: rusgatln97@gmail.ru

Шабутдинов Тимур Денисович, инженер-исследователь, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: timurgeolog11@gmail.com

Савельев Дмитрий Евгеньевич, член Отделения Наук о Земле и нефтегазовых технологий Академии наук Республики Башкортостан; доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

Authors' personal details

Gataullin Ruslan Azatovich, junior researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: rusgatln97@gmail.ru

Shabutdinov Timur Denisovich, research engineer, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: timurgeolog11@gmail.com

Savelyev Dmitry Evgenievich, member of the Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan; Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Гатауллин Р.А., Шабутдинов Т.Д., Савельев Д.Е.