

Putirka K.D. Thermometers and barometers for volcanic systems // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2008. Vol. 69. P. 61–120.

Jung H. Crystal preferred orientations of olivine, orthopyroxene, serpentine, chlorite, and amphibole, and implications for seismic anisotropy in subduction zones: a review // *Geosciences Journal*. 2017. Vol. 21. P. 985–1011.

Wood B.J., Banno S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1973. Vol. 42. P. 109–124.

Т.Д. Шабутдинов^{1, 2}, А.А. Самигуллин¹, Р.А. Гатауллин¹

¹ – *Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия*
timurgeolog11@gmail.com

² – *Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия*

Минералогическая и петрографическая характеристика ультрамафитов и хромититов восточной части массива Южный Крака (Южный Урал)
(научный руководитель – д.г.-м.н. Д.Е. Савельев)

T.D. Shabutdinov^{1, 2}, A.A. Samigullin¹, R.A. Gataullin¹

¹ – *Institute of Geology UFRC RAS, Ufa, Russia*

² – *Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia*

Mineralogical and petrographic characteristics of ultramafic rocks and chromitites of the eastern part of the South Kraka massif (South Urals)

Abstract. The petrographic and mineralogical characteristics of ultramafic and chromitites of the eastern part of the Southern Kraka massif (South Urals) are studied. The accessory minerals of Fe, Ni and PGMs are found in chromitites. Based on the composition of Cr-spinel and rock-forming minerals, olivine-spinel and two-pyroxene geothermometers, geobarometers and oxybarometers the following parameters are calculated: $T = 800\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 7\text{--}10\text{ kbar}$, $\Delta\log\text{O}_2 = -3\text{ to }+0.5$. Based on the analysis of our data, it is concluded that the ultramafic rocks of the eastern part of the South Kraka massif are moderately depleted restites of the upper mantle diapir, which most likely existed beneath a rift structure in a peripheral western part of the Paleo-Ural basin.

Массив Южный Крака – один из четырех массивов «кракинской группы», расположенных на северном замыкании Зилаирского синклинория на западном склоне Южного Урала. Он характеризуется изометричной морфологией в плане на севере и разветвляется к югу. Практически весь массив площадью 450 км² расположен в междуречье рек Белой, Каги и Южного Узяна. Первые упоминания об ультрамафитах массивов Крака приводятся в работах Н.Ф. Чернышева, Р.И. Мурчисона, А. Штукенберга второй половины XIX в. В 20–30-х гг. XX века в связи с поисками хромитов и хризотил-асбеста началось планомерное изучение массивов Крака [Тиховидов, 1932ф; Фарафонтъев, 1937; Логинов, 1933; Квятковский, 1929; Соколов, 1948]. Массивы также изучались А.В. Клочихиным, В.В. Радченко, А.В. Буряченко, Г.Н. Савельевой, Е.И. Денисовой др. [Клочихин и др., 1969; Савельева, 1987; Денисова, 1990]. С 1990-х гг. вновь повысился интерес к изучению массивов Крака [Ковалев, Сначев, 1998; Сначев и др., 2001; Савельев и др., 2008; Савельев, 2018]. Несмотря на длительную историю исследований, наблюдается неравномерность в изучении массивов. На Южном Крака детально изучена западная часть, поскольку здесь сосредоточены наиболее крупные хромитопроявления [Ковалев, Сначев, 1998].

Целью данной работы является описание минералогических и петрографических особенностей ультрамафитов и хромититов восточной части массива Южный Крак, которая на протяжении долгого времени была недоступна для исследований ввиду того, что она входит в состав Башкирского государственного природного заповедника. Минералогическое описание ультрамафитов данной территории в литературе отсутствует. Всего в ходе полевых работ в 2023 г. было отобрано 90 образцов на шлифы и аншлифы.

Все образцы ультрамафитов серпентинизированы с развитием низкотемпературного петельчатого серпентина [Артемов, Кузнецова, 1979] или α -лизардита по [Варлаков, 1986]. Количество серпентина в лерцолитах и гарцбургитах составляет 30–60 об. %, реже его концентрация в гарцбургитах и дунитах увеличивается до 80 об. %. Реликты первичных породообразующих минералов в перидотитах представлены оливином, орто- и клинопироксеном, повсеместно присутствует акцессорный хромшпинелид. Оливин представлен реликтами внутри петель серпентина. Во всех породах он характеризуется высоким содержанием форстеритового минала, при этом максимальные значения характерны для дунитов (Fo_{94}), минимальные – для лерцолитов (Fo_{87}).

Клинопироксен в лерцолитах и гарцбургитах образует мелкие зерна размером 0.1–0.6 мм. Ортопироксен представлен деформированными крупными зернами до 3 мм, либо развитыми по ним бастиновыми псевдоморфозами. По составу ромбический пироксен представлен высокомагнезиальным энстатитом, а моноклинный – диопсидом, реже низкожелезистым авгитом (рис. а). В некоторых образцах ультрамафитов и хромититов встречены амфиболы: в лерцолитах по составу они соответствуют чермакиту, а включения в зернах рудного хромита представлены магнезиогорнблендитом (рис. б).

Акцессорный хромшпинелид в гарцбургитах и лерцолитах часто является ксеноморфным, просвечивает в тонких срезах светло-желтым цветом, иногда – до оранжевого. В дунитах хромшпинелид гипидиоморфный либо идиоморфный, просвечивающий в тонких срезах красно-коричневым цветом. Состав акцессорного хромшпинелида изменяется от высокоглиноземистого в лерцолитах ($Cr\#$ 0.16–0.3) до высокохромистого в дунитах ($Cr\#$ 0.6–0.85) (рис. в, г).

В хромититах встречены включения редких акцессорных минералов размером от 1 до 15 мкм, среди которых отмечаются самородные фазы (медь, аварунит), сульфиды Fe, Ni, и минералы платиновой группы (МПП): лаурит RuS_2 , ирарсит $(Ir,Ru,Rh,Pt)AsS$, купроиридсит $(Cu,Fe)Ir_2S_4$ и сплавы тугоплавких платиноидов. Таким образом, в хромититах проявлена ассоциация МПП с ведущей ролью тугоплавких платиноидов, что является характерным для месторождений в мантийных реститах.

На основе составов сосуществующих зерен оливина и хромшпинелида в перидотитах и дунитах построена диаграмма оливин-шпинелевой мантийной ассоциации (OSMA), которая свидетельствует о том, что изученные породы представляют собой тугоплавкий остаток (рестит) частичного плавления исходного мантийного материала (пиролита) (рис. д).

По составам сосуществующих минералов рассчитаны температуры минеральных равновесий по различным версиям оливин-шпинелевых и дупироксеновых геотермометров [Roeder et al., 1979; Brey, Kohler, 1990; Ballhaus et al., 1991; Putirka, 2008] (T 800–1100 °C), а также оценено общее давления по пироксеновым геобарометрам Путирки [Putirka, 2008] (P 5–7 кбар), фугитивность кислорода определялась по оксибарометру Бальхауза с соавторами [Ballhaus et al., 1991] ($\Delta \log fO_2$ от –3 до +0.5). Установлено, что лерцолиты формировались в наиболее восстановительных условиях (от –3 до –0.5 FMQ), а для образования гарцбургитов, дунитов и хромититов характерна более высокая фугитивность кислорода ($\Delta \log fO_2$ от 0 до +0.5). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что ультрамафиты восточной части массива Южный Крак представляют собой умеренно деплетированные реститы верх-

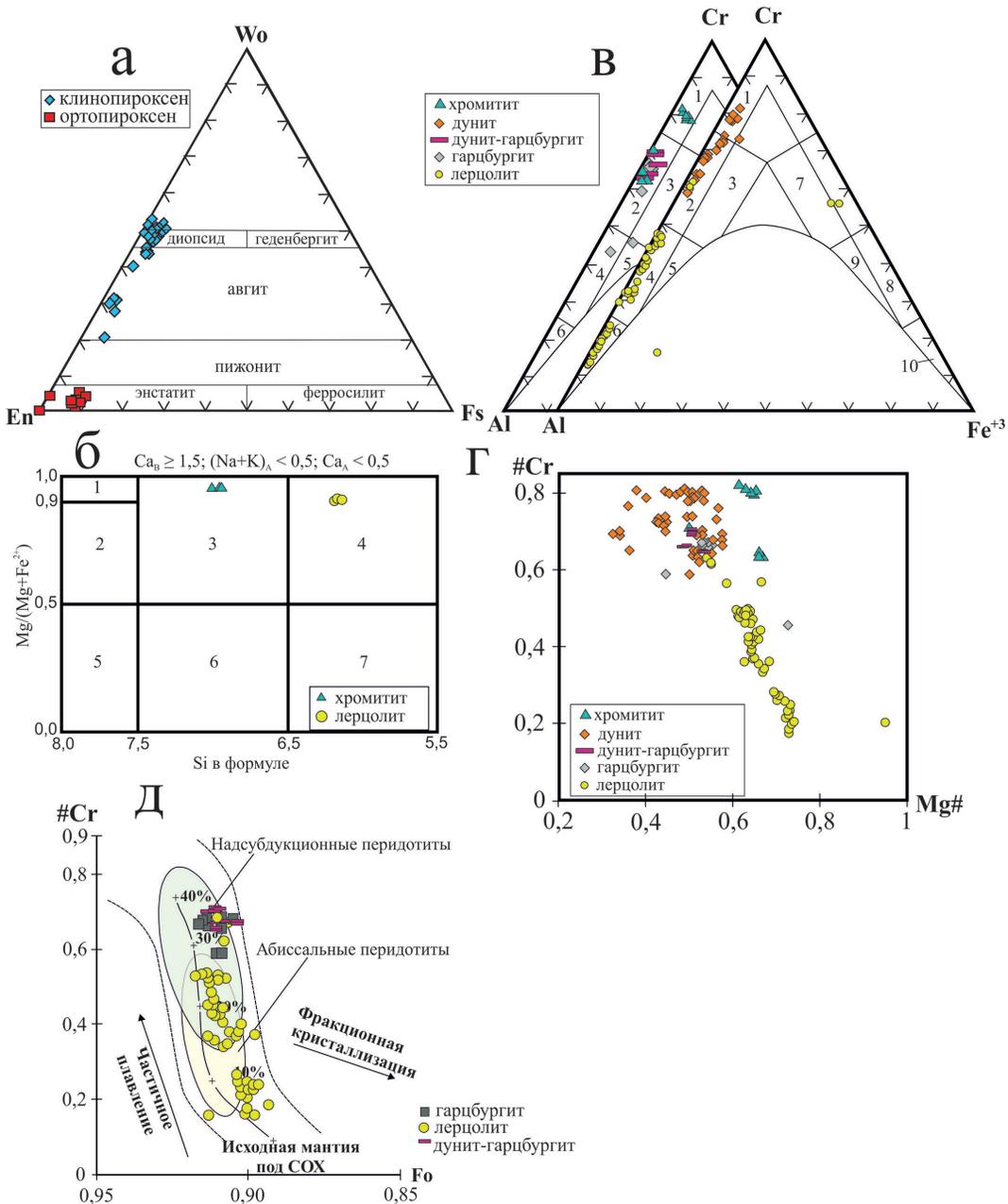


Рис. Особенности состава породообразующих минералов и хромшпинелидов: а – диаграмма составов орто- и клинопироксенов; б – классификационная диаграмма для амфиболов: 1 – тремолит, 2 – актинолит, 3 – магнезиальная роговая обманка, 4 – чермакит, 5 – ферроактинолит, 6 – железистая роговая обманка, 7 – феррочермакит [Leake et al., 1997]; в – классификационная диаграмма хромшпинелидов: 1 – хромит, 2 – алюмохромит, 3 – субферриалюмохромит, 4 – хромпикотит, 5 – субферрихромпикотит, 6 – пикотит, 7 – субалюмоферрихромит, 8 – хроммагнетит, 9 – субалюмохроммагнетит, 10 – магнетит (поля по [Павлов, 1949]); г – диаграмма Cr#–Mg# для хромшпинелидов, где Cr# = Cr/(Cr+Al+Fe³⁺), Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺); д – диаграмма оливин-шпинелевой мантийной ассоциации – OSMA [Arai, 1994]

немантийного диапира, который, вероятнее всего, существовал под рифтогенной структурой в периферической западной части Палеоуральского бассейна.

Исследования выполнены за счет гранта РНФ № 22–17–00019.

Литература

- Артемов В.Р., Кузнецова В.Н.* Кiemбайское месторождение хризотил-асбеста. М.: Недра, 1979. 233 с.
- Варлаков А.С.* Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 224 с.
- Денисова Е.А.* Структура ультраосновного массива Южный Крака (Южный Урал) // Известия АН СССР, Серия геологическая. 1990. № 1. С. 45–63.
- Квятковский Р.Э.* Геологическое описание площади между р. Белой и восточным склоном хр. Ирендык. Уфа, БГУ, 1929.
- Клочихин А.В., Радченко В.В., Буряченко А.В.* Геологическое строение северной части Зилаирского мегасинклиниория и сопредельных территорий. Уфа: БТГФ, 1969.
- Ковалев С.Г., Сначев В.И.* Гипербазитовые массивы Крака (геология, петрология, металлогения). Уфа: УНЦ РАН, 1998. 104 с.
- Логинов В.П.* Отчет о геологических исследованиях в районе перидотитовых массивов в 1932 г. (геологическая съемка М 1:50 000). Уфа: БГУ, 1933.
- Павлов Н.В.* Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды института геологических наук АН СССР. 1949. № 13. С. 10–35.
- Савельев Д.Е.* Ультрамафитовые массивы Крака (Южный Урал): особенности строения и состава перидотит-дунит-хромитовых ассоциаций. Уфа: Башкирская энциклопедия, 2018. 204 с.
- Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А.* Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.
- Савельева Г.Н.* Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с.
- Сначев В.И., Савельев Д.Е., Рыкус М.В.* Петрогеохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крака. Уфа, 2001. 212 с.
- Соколов Г.А.* Хромиты Урала, их состав, условия кристаллизации и закономерности распространения // Труды ИГН АН СССР, серия рудных месторождений. 1948. № 12. 128 с.
- Тиховидов С.Ф.* Промышленный и сокращенный предварительный геологический отчет начальника I Хромитовой ГРП Башгеолтреста о геолого-разведочных работах в Кагинском, Башартском и Хамитовском районах республики за 1931 г. Уфа: БГУ, 1932ф.
- Фарафонтьев П.Г.* Геология и хромитовые месторождения района перидотитовых массивов Крака на Южном Урале. Уфа: БГУ, 1937.
- Arai S.* Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // *Chemical Geology*. 1994. Vol. 113. P. 191–204.
- Ballhaus C., Berry R., Green D.* High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: Implication for the oxydation state of the upper mantle // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1991. Vol. 107. P. 27–40.
- Brey G.P., Köhler T.* Geothermobarometry in 4-phase lherzolites: 2. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers // *Journal of Petrology*. 1990. Vol. 31. P. 1353–1378.
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., et al.* Nomenclature of amphiboles; report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association commission on new minerals and mineral names // *Canadian Mineralogist*. 1997. Vol. 35. P. 219–246.
- Putirka K.D.* Thermometers and barometers for volcanic systems // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2008. Vol. 69. P. 61–120.
- Roeder R.L., Campbell I.H., Jamieson H.E.* A Re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1979. Vol. 68. P. 325–334.