

## ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ХРОМОВЫХ РУД И ПОРОД НАРАНСКОГО МАССИВА (МОНГОЛИЯ)

*П. Б. Ширяев<sup>1</sup>, Н. В. Вахрушева<sup>1</sup>, Н. К. Никандрова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*

<sup>2</sup> – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

Исследованы состав и структура рудообразующих хромовых шпинелей Наранского ультрамафитового массива. Использованы методы микронзондового анализа (Cameca, ГЕОХИ, аналитик Н. Н. Кононкова), ЯГР-спектроскопии (спектрометр СМ2201, ИМин УрО РАН, аналитик Н. К. Никандрова) и рентгеноструктурного анализа (установка «SHIMADZU» XRD-6000, ИМин УрО РАН, аналитик П. В. Хворов).

По данным микронзондового анализа в составах рудообразующих шпинелей установлено предельно высокое содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (до 60–65 мас. %). Количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  для максимально хромистых составов соответствует 7–10 мас. %, что выше, чем в аналогичных по содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  шпинелях массива Рай-Из. При пересчете на кристаллохимическую формулу, для ряда составов установлено полное заселение октаэдрической позиции катионами Cr и Al, при этом в отдельных анализах сумма катионов хрома и алюминия больше двух. В этих случаях наблюдается дефицит Fe и в тетраэдрической позиции (от 0.02 до 0.06 ф.е.).

Рентгеноструктурным анализом установлено, что все шпинели относятся к магнезиохромиту. Параметр элементарной ячейки минерала изменяется от 8.27 до 8.32 Å, и уменьшается с увеличением содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 1) в минерале. Дифрактограммы двух из отклоняющихся проб содержат две шпинельные фазы (рис. 1, символ 3), что проявлено в раздвоении и уширении пиков на дифрактограмме. Общей чертой состава двух других отклоняющихся проб является наиболее низкое, из всей выборки, содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5–8 мас. %) при предельно высоком  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (63–65 мас. %). Пробы с дефицитом  $\text{Fe}^{3+}$  (рис. 1, символ 2) соответствуют общей зависимости; появление дополнительных фаз рентгеноструктурным анализом не обнаружено.

Методом ЯГР-спектроскопии в пробах шпинелей с полным заселением октаэдрических позиций катионами хрома и алюминия, устанавливается  $\text{Fe}^{3+}$  от 8.3 до 9 % из общей суммы железа. Для остальных проб выборки его количество составляет 9–23 %. Параметры спектров соответствуют необращенным шпинелям. Разница в количестве катионов трехвалентного железа, полученном из стехиометрии состава и по данным ЯГР-спектроскопии возрастает с увеличением содержания расчетного  $\text{Fe}^{3+}$ .

Исследованные хромовые руды Наранского массива представлены в основном сплошными и густовкрапленными разновидностями с хлоритом в силикатной части. Для проб, где удалось выделить оливин и определить его состав, произведена оценка температур оливин-шпинелевого равновесия и фугитивности кислорода с использованием термометра и оксибарометра Больхауза-Берри-Грина [Ballhaus et al., 1991]. Для густовкрапленных хромовых руд получены значения фугитивности кислорода на 1–2.5 ед. выше буфера FMQ при температуре оливин-хромитового равновесия 500–550 °C, что ниже, чем для аналогичных высокохромистых хромовых шпинелей массива Рай-Из (рис. 2). К сожалению, для хромовых руд, в шпинелидах из которых микронзондовым анализом установлен дефицит  $\text{Fe}^{3+}$ , не выделен и не проанализирован оливин. Соответственно и расчетные значения фугитивности кислорода и температуры получены для «нормальных» составов (без дефицита железа и нарушения стехиометрии минерала).

Дунит-пегматиты, а также шлирово-вкрапленные руды, редко встречающиеся в Наранских ультрамафитах, по значениям фугитивности  $\text{O}_2$  на 0.2–0.3 ед. ниже буфера FMQ при температуре 708–725 °C. Рудовмещающие породы характеризуются значениями  $f\text{O}_2$  ниже буфера FMQ на 2.7–3 ед.; температура, рассчитанная для них, соответствует 728–736 °C.

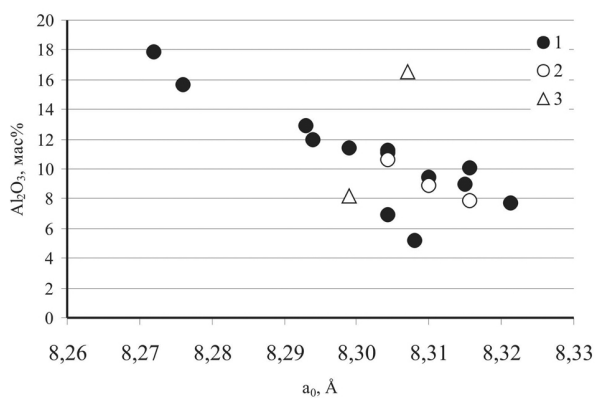


Рис. 1. Зависимость параметра элементарной ячейки рудообразующей хромовой шпинели  $a_0$  от содержания  $Al_2O_3$ .

1 – шпинели с  $(Al+Cr) < 2$ ; 2 – шпинели с  $(Al+Cr) > 2$ ; 3 – пробы с двумя фазами шпинели.

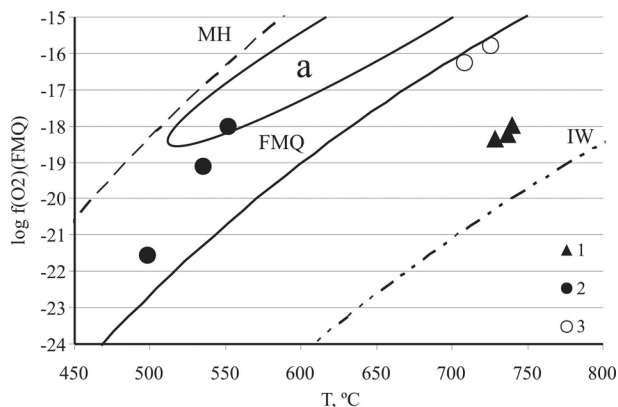


Рис. 2. Зависимость значения  $\log f(O_2)$  (FMQ) от температуры оливин-шпинелевого равновесия в рудах и породах Наранского массива.

1 – ультрамафиты; 2 – густовкрапленные хромовые руды; 3 – дунит-пегматит и шлирово-вкрапленная хромовая руда; а – поле значений фугитивности кислорода для рудообразующих шпинелей массива Рай-Из.

Из числа Уральских ультрамафитовых массивов, наиболее низкая ( $fO_2$  на 2–1.4 ед. ниже буфера FMQ) степень окисления железа установлена в шпинелевых лерцолитах и гарцбургитах массива Северный Крак [Чащухин и др., 2007]. Близость значения фугитивности кислорода к буферу WM (FMQ от –2 до –3 ед.) для ультраосновных пород Монголии и Байкала известна, и обсуждается в литературе [Кадик, 1999].

Степень окисления железа в шпинелях, составы которых послужили основой для расчетов температуры и  $fO_2$ , получены при помощи микронзондового анализа, без использования ЯГР-спектроскопии. Для рудообразующих шпинелей Войкаро-Сынинского и Рай-Изского массивов ранее нами была показана сходимость результатов в определении содержания разнозарядного железа из стехиометрии состава и по результатам ЯГР-спектроскопии. Для шпинелей Наранского массива такая работа еще предстоит.

Таким образом, для пород и руд Наранского массива получены предварительные результаты, свидетельствующие о резко контрастных по степени окисления, условиях формирования оливин-хромитового парагенезиса. Шлирово-вкрапленные руды близки по температуре формирования породам дунит-гарцбургитового комплекса, но, также как и вмещающие их дунит-пегматиты, более окислены и близки буферу FMQ. Густовкрапленные хромовые руды являются метаморфогенными и формировались в существенно более окислительной обстановке на фоне общего остывания массива ультрамафитов.

## Литература

Кадик А. А. Влияние окислительно-восстановительного состояния планетарного вещества на формирование углерод-насыщенных флюидов в верхней мантии Земли // Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГГГН РАН», № 4(10)99, М.: ОИФЗ РАН, 1999.

Чащухин И. С., Вотяков С. Л., Щанова Ю. Л. ЯГР – Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. 310 с.

Ballhaus C., Berry R., Green D. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implication for the oxidation state of the upper mantle // Contrib. Mineral. Petrol. 1991.V. 107, № 1. P. 27–40.