

## ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В ОЛИВИНАХ ИЗ ХРОМОВЫХ РУД И УЛЬТРАМАФИТОВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2014 г. П. Б. Ширяев, Н. В. Вахрушева

Вариации содержания элементов-примесей (Ni, Mn, Ca, Ti) в оливинах из ультрамафитов и хромовых руд изучались многими исследователями [6–10 и др.]. Микроэлементному составу оливина исследователи придают важное петрологическое значение. Вхождение в оливин катионов кальция связывается как с глубиной и давлением, при которых происходила его кристаллизация [9], так и с температурой [8]. Титан также интерпретируется как примесь, содержание которой контролируется температурой [8] и/или давлением [4]. Установлено, что железистость оливина и содержание в нем окиси никеля обратно пропорциональны. В ряду дунит-гарцбургит-хромовая руда эта зависимость перестает быть линейной, поскольку отношение  $NiO/f$ , где ( $f = Fe \cdot 100 / (Fe + Mg)$  в оливине), в оливинах руд выше, чем в оливинах пород. Дж. Гарути с соавторами [6] связывают эту зависимость с тем, что в густовкрапленных хромовых рудах содержание хромшпинели выше, чем оливина, и железо в результате ионообменной реакции при остывании массива перераспределяется из оливина в шпинель, а элементы-примеси накапливаются в оливи-

не. А. Мур [7] объясняет обратную пропорциональность концентрации NiO и железистости строгой зависимостью коэффициента распределения никеля между оливином и расплавом с концентрацией Mg в последнем. В работе [1] резкое возрастание содержания NiO в оливине из хромовых руд интерпретируется как следствие нарастания давления при хромитообразовании.

В настоящей статье приведены результаты исследования микропримесей в оливине из ультрамафитов и хромовых руд плато Пайты (Войкарот-Сыньинский массив). Проведено сравнение выявленных зависимостей с полученными ранее для месторождения Центральное (массив Рай-Из). Установлены разные типы зональности по распределению микропримесей в оливине.

Состав оливинов в рудах и околорудных ультрамафитах изучался методом микрозондового анализа (установки Cameca SX 100, аналитики В.В. Хиллер, ИГГ УрО РАН; Н.Н. Кононова, ГЕОХИ РАН).

Исследован состав оливина из хромититов овоидной текстуры рудопроявления Пайты. Оливин встречается в виде относительно крупных

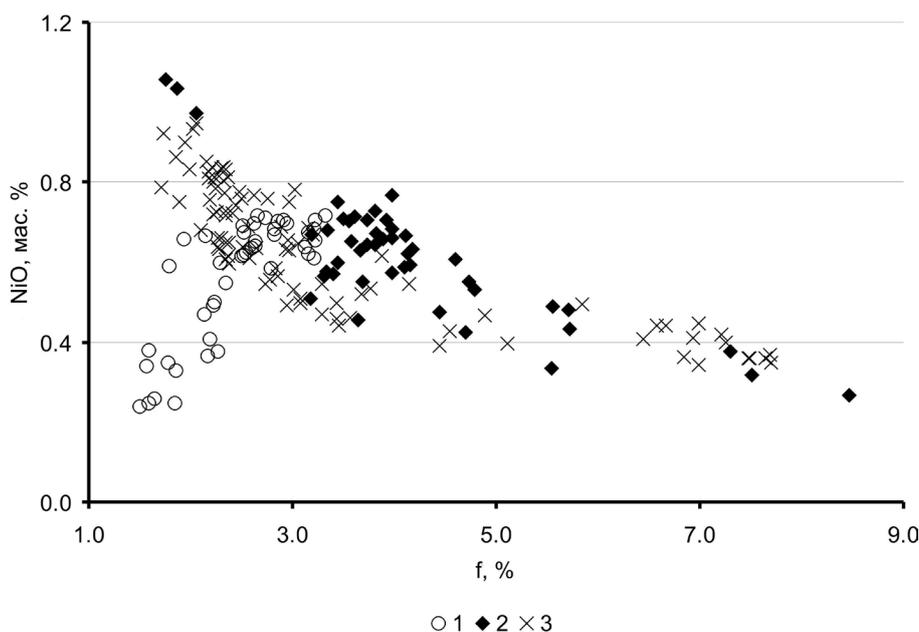


Рис. 1. Зависимость содержания NiO от железистости в оливине.

1 – овоидная хромовая руда, р. пос. Пайты; 2 – вкрапленная хромовая руда, р. пос. Пайты; 3 – хромовая руда месторождения Центральное.

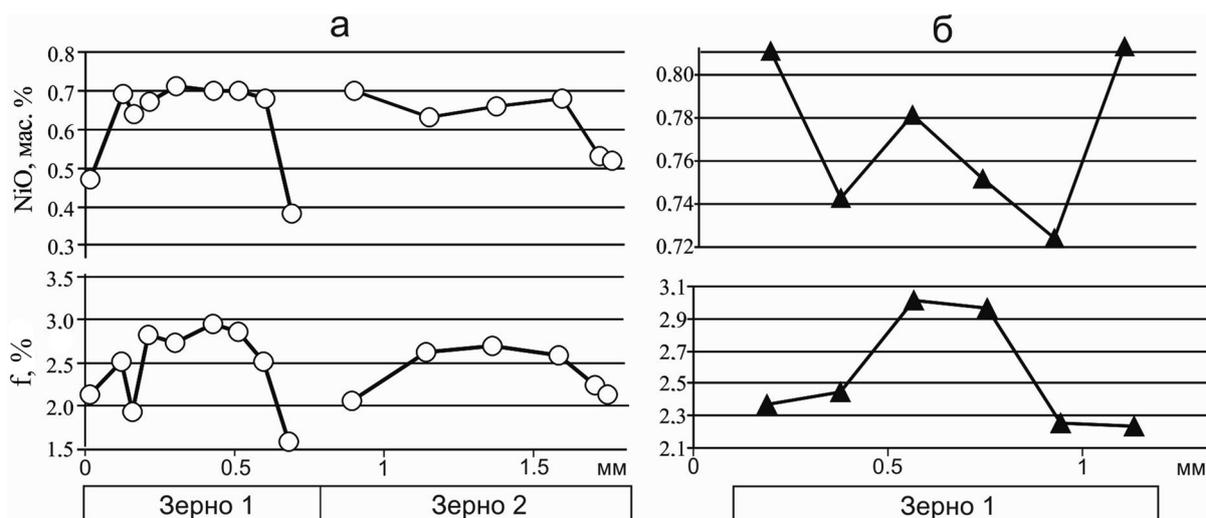


Рис. 2. Изменение содержания NiO и железистости в зернах оливина из овоидной хромовой руды р. пос. Пайты (а) и месторождения Центральное (б).

(0.5–2 мм) зерен внутри овоидов, сложенных хромовой шпинелью, и в их интерстициях. Между овоидами оливин отмечается также в виде мелкозернистого агрегата (зерна размером 0.2–0.5 мм в поперечнике) совместно с мелкими зернами хромовой шпинели. Содержание NiO в оливине колеблется в пределах 0.25–0.70 мас. % при железистости ( $f = \text{Fe} \cdot 100 / (\text{Fe} + \text{Mg})$ ) 1.57–3.22%. Предел определения NiO в микрозондовом анализе составляет 0.05–0.07 мас. %. Наиболее высокое содержание никеля характерно для крупных зерен. Между железистостью оливина и содержанием в нем NiO установлена прямая пропорциональность (рис. 1), которая ранее описана только для оливина из метеоритов [5]. При этом в крупных зернах оливина в краевых частях отмечается снижение как содержания никеля, так и железистости минерала (рис. 2а).

В оливинах из вкрапленных хромовых руд рудопроявления Пайты установлена обратная зависимость содержания никеля от железистости минерала (см. рис. 1), характерная как для оливина из хромититов месторождения Центральное, так и для других объектов, освещенных в различных публикациях. Резкое обогащение NiO происходит в оливине из густовкрапленных хромовых руд. При этом так же, как и в оливинах из хромовых руд месторождения Центральное, в краях зерен наблюдается увеличение концентрации никеля при снижении железистости минерала (см. рис. 2б).

В рудовмещающих ультрамафитах р. пос. Пайты, как в дунитах, так и гарцбургитах, содержание NiO в оливине составляет 0.35–0.51 мас. %; зональности в распределении компонента внутри зерен не установлено. В то же время в оливине из несерпентинизированного гарцбургита также устанавливается прямая корреляция содержания окиси никеля и железистости (рис. 3).

Содержание марганца в оливинах из всех типов хромовых руд как рудопроявления Пайты, так и месторождения Центральное невелико ( $\text{MnO} < 0.2$  мас. %) и прямо пропорционально железистости минерала. С увеличением железистости оливина, содержание MnO линейно возрастает в минерале из густовкрапленных руд (0–0.08 мас. %) к околорудным ультрамафитам (0.08–0.19 мас. %).

Кальций и титан во всех изученных оливинах содержатся на пределе чувствительности метода (<0.01–0.03 мас. % CaO и TiO<sub>2</sub>).

Как известно, модальное содержание NiO в оливинах мантийных пород равно 0.4 мас. %, что в несколько раз выше, чем в оливинах из метеоритов [5]. В работе [3] обсуждается вопрос о влиянии фугитивности кислорода на вхождение никеля в состав оли-

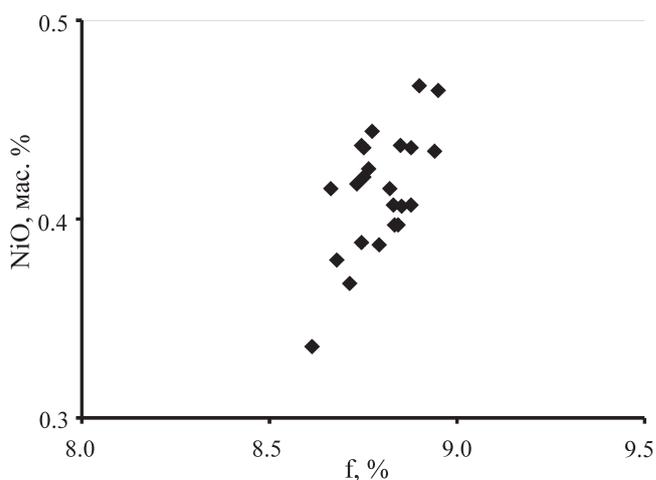


Рис. 3. Зависимость содержания NiO от железистости в оливине. Несерпентинизированный гарцбургит, плато Пайты.

вина. Авторы объясняют низкое содержание никеля в оливине из метеоритов тем, что реакция образования либенбергита ( $\text{Ni}_2\text{SiO}_4$ ) происходит в значительно более окислительных условиях, чем в существующих в космическом пространстве. Соответственно формирование оливинов из мантийных пород происходило в более окислительных условиях. Обратная пропорциональность содержания NiO в оливине и его железистости может объясняться именно ростом фугитивности кислорода в ряду гарцбургит–дунит–хромовая руда. Как показано нами ранее на изученных в работе объектах, фугитивность кислорода в рудах на 1–2 лог. ед. выше, чем в породах [29]. Параллельно с окислением оливина и выносом из него железа минерал обогащается никелем.

Впервые описанный в настоящей работе случай снижения содержания NiO и фаялитовой молекулы в оливине из образца овоидной хромовой руды рудопоявления Пайты может быть связан с увеличением фугитивности серы, приводящим к выносу Ni и образованию пентландита, который встречен и проанализирован в этом образце.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушева Н.В. Следы сверхвысоких давлений в хромовых рудах из ультрамафитов Полярного Урала // Петрогенезис и рудообразование: XV чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 36–38.
2. Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Особенности окислительно-восстановительного состояния хромовых руд массивов Рай-Из и Войкаро-Сыньинский (Полярный Урал) // Петрогенезис и рудообразование: XIV чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 219–220.
3. Campbell F.E., Roeder P. The stability of olivine and pyroxene in the Ni-Mg-Si-O system // Am. Mineralog. 1968. V. 53. P. 257–268.
4. Dobrzhinetskaya L.F., Bozhilov K.N., Green II H.W. The solubility of  $\text{TiO}_2$  in olivine: implications for the mantle wedge environment // Chem. Geol. 2000. V. 163. P. 325–338.
5. Fuchs L.H., Olsen E., Jensen K.J. Mineralogy, Mineral-Chemistry, and Composition of the Murchison (C2) Meteorite // Smithson. Contrib. Earth Sci. 1973. № 10. P. 1–38.
6. Garuti G., Pushkarev E.V., Thalhammer O.A.R., Zaccarini F. Chromitites of the Urals (Pt 1): Overview of chromite mineral chemistry and geotectonic setting // Ofioliti. 2012. V. 1, № 37. P. 27–53.
7. Moore A.E. The case for a cognate, polybaric origin for kimberlitic olivines // Lithos. 2012. V. 128–131. P. 1–10.
8. O'Reilly D. Chen, Griffin W.L., Ryan C.G. Minor elements in olivine from spinel lherzolite xenoliths: implications for thermobarometry // Mineralog. Mag. 1997. V. 61. P. 257–269.
9. Simkin J., Smith J. V. Minor element distribution in olivine // J. Geol. 1970. V. 78. P. 304–325.
10. Xu X., Yang J., Ba D., Guo G., Robinson P.T., Li J. Petrogenesis of the Kangjinla peridotite in the Luobusa ophiolite, Southern Tibet // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 42. Iss. 4. P. 553–568.