

## О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ УЛЬТРАМАФИТОВ

© 2017 г. И. С. Чашухин

Частичное плавление исходного пиrolита мантии Земли – ведущий процесс при образовании дунит-гарцбургит-лерцолитовых комплексов. Его оценка важна для определения геодинамической обстановки формирования ультрамафитов и их потенциальной хромитонности.

Для полуколичественной оценки степени частичного плавления ( $F$ ) используются спектры РЗЭ в ультрамафитах, нормированные на состав примитивной мантии или хондрита C1 [Niu, 2004]. Количественная оценка  $F$  дунит-гарцбургит-лерцолитовых серий возможна по содержанию петрогенных элементов в породе и составу слагающих их минералов.

В настоящее время предпочтение отдается составу аксессуарной хромшпинели. Известно, что в шпинелевых ультрамафитах он четко коррелирует с составом вмещающей породы [Штейнберг и др., 1981], коэффициент корреляции между ними очень высокий ( $-0.90$ ), для плагиоклазовых лерцолитов составляет всего  $0.001$  (рис. 1а). Необычно высокая величина хромистости хромшпинели при высоком же содержании глинозема в плагиоклазовых лерцолитах отражает перераспределение глинозема из хромшпинели в плагиоклаз в ходе изохимической трансформации первично шпинелевых ультрамафитов в плагиоклазовые [Чашухин и др., 2000].

Для расчета  $F$  по составу хромшпинели предложены два независимых уравнения:

$$F = 0.426 \cdot \#cr_{sp} + 1.538 \text{ [Hirose, Kawamoto, 1995]; (1)}$$

$$F = 10 \cdot \log(0.01 \cdot \#cr_{sp}) + 24 \text{ [Hellebrand, 2001]. (2)}$$

В обоих уравнениях  $\#cr_{sp} = 100(\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al}))$ , %. Сопоставление результатов расчета величин  $F$  по предложенным формулам показало существенное их различие, особенно в области высоких значений  $F$ , достигающее  $15\%$  (рис. 1б).

Однозначные результаты, не зависящие от преобразований шпинелевых фаций в плагиоклазовые, можно получить при использовании в расчетах содержания петрогенных компонентов – как тугоплавких ( $\text{MgO}$ ), так и легкоплавких ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Например, Я. Ниу предложил уравнение, связывающее величину  $F$  с количеством  $\text{MgO}$  в породе [Niu, 1997]:

$$F = 100(-1.234 + 3.249 \cdot 0.01 \cdot \text{MgO}). \quad (3)$$

Сопоставление результатов расчетов по выражениям (1) и (3) показало их неплохое совпадение для

шпинелевой фации ( $r = 0.7$ ) и очень слабое – для плагиоклазовой ( $r = 0.026$ ) (рис. 1в).

Более надежные результаты оценки величины  $F$  для шпинелевых ультрамафитов получены автором настоящей статьи при использовании содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в породе по уравнению

$$F = 0.426[82.4 - 54.5\text{Al}_2\text{O}_3 + 10.4(\text{Al}_2\text{O}_3)^2] + 1.538. \quad (4)$$

Коэффициент корреляции между рассчитанными по этой формуле величинами  $F$  и данными К. Хирозо и Т. Кавамото для шпинелевых серий составил почти  $0.9$ , для плагиоклазовых лерцолитов – лишь  $0.336$  (рис. 1г).

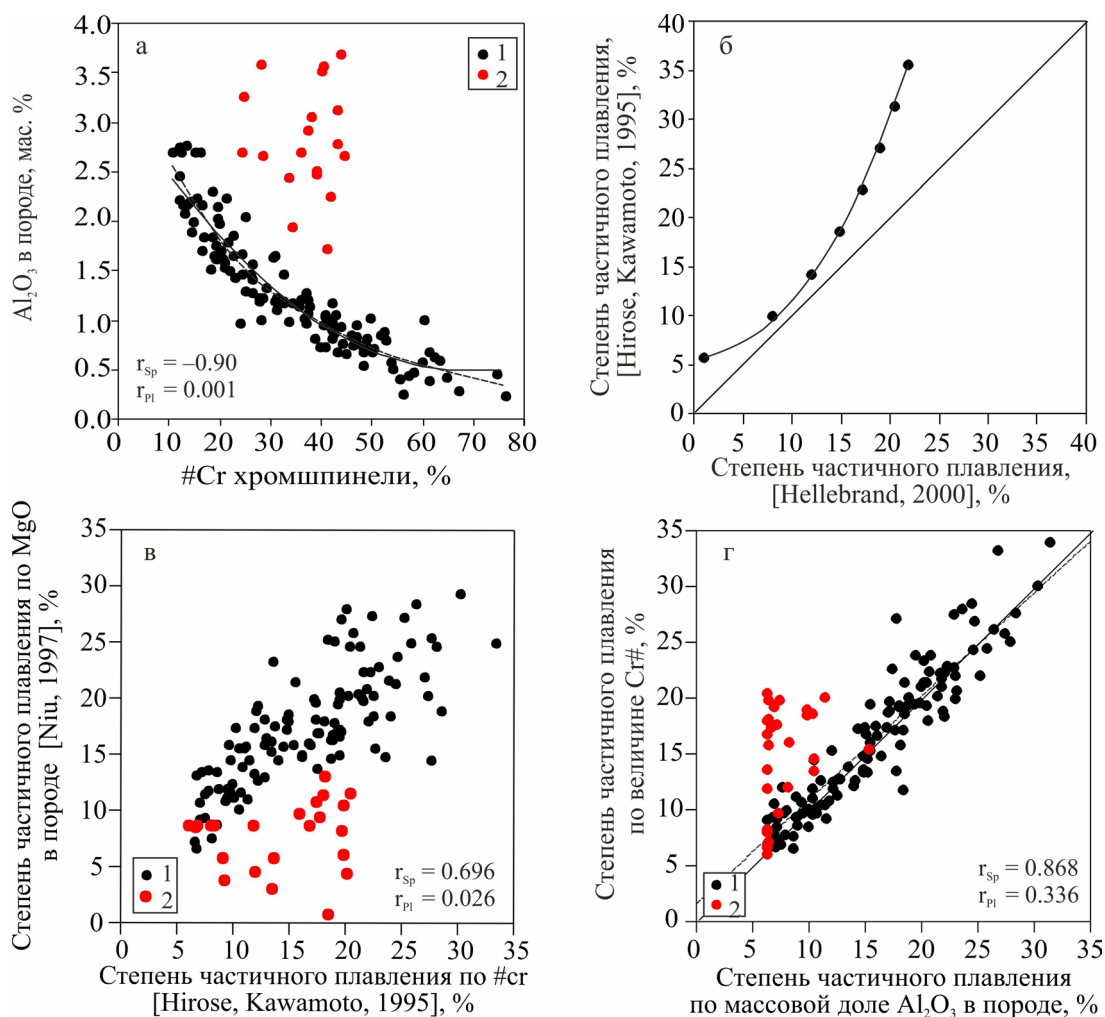
Таким образом, для корректной оценки степени частичного плавления пиrolита мантии, в результате которого сформировались непрерывные гарцбургит-лерцолитовые серии, следует оказывать предпочтение вариациям их химического состава, прежде всего глинозема, позволяющим исключить влияние последующего декомпрессионного преобразования шпинелевой фации в плагиоклазовую.

Расчеты степени частичного плавления ультрамафитов (табл. 1) позволяют сделать выводы: 1) в офиолитовых ультрамафитах величина  $F$  постоянна и её распределение отвечает нормальному закону, в орогенных – асимметрично и варьирует от массива к массиву; 2) эти вариации обусловлены глубиной эрозионного среза, т.е. степенью сохранности плагиоклазовых фаций, занимающих апикальную часть орогенных массивов.

**Таблица 1.** Степень частичного плавления ультрамафитов Урала и массива Ронда, Испания ( $F$ )

Массив	$F \pm \sigma$ , % (n)	Медиана
Орогенные гарцбургит-лерцолитовые серии		
Ронда (по материалам Frey et al., 1985; Lenoir et al., 2001)	$11 \pm 5$ (39)	10
Нуралинский	$11 \pm 6$ (34)	8
Северный Крака	$13 \pm 7$ (34)	11
Средний Крака	$13 \pm 5$ (34)	13
Узянский Крака	$17 \pm 5$ (37)	18
Север Южного Крака	$17 \pm 7$ (115)	17
Офиолитовые гарцбургиты		
Войкаро-Сыньинский	$20 \pm 5$ (117)	19
Кемпирсайский, западный блок	$21 \pm 2$ (116)	21

Примечание. n – количество определений.



**Рис. 1.** Сопоставление оценок степени частичного плавления гарцбургит-лерцолитовых серий Урала, рассчитанной независимыми методами.

а – соотношения величин хромистости аксессуарной хромшпинели и массовой доли глинозема в шпинелевых (1) и плагиоклазовых (2) гарцбургитах и лерцолитах Урала; б – сопоставление по хромистости аксессуарной хромшпинели [Hirose, Kawamoto, 1995; Hellebrand, 2001]; в – сопоставление по массовой доле MgO в породе [Niu, 1997] и по величине хромистости аксессуарной хромшпинели [Hirose, Kawamoto, 1995]; г – сопоставление по массовой доле  $Al_2O_3$  в породе и по величине хромистости аксессуарной хромшпинели [Hirose, Kawamoto, 1995], сплошная линия обозначает равные значения абсциссы и ординаты, штриховая – среднеарифметическая.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чащухин И.С., Уймин С.Г., Гмыра В.Г. О природе плагиоклазовых лерцолитов // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 38–53.
- Штейнберг Д.С., Чащухин И.С., Царицын Е.П. Закономерности химического и минерального состава альпийно-типовых ультрабазитов в ряду дунит-гарцбургит-лерцолит // Докл. АН СССР. 1981. Т. 266, № 5. С. 1251–1254.
- Frey F. A., Suen C. J., Stockman H. W. The Ronda high temperature peridotite: geochemistry and petrogenesis // Geochim. Cosmochim. Acta. 1985 V. 49. P. 2469–2491.
- Hellebrand E. Constraints on mantle melting from major and trace element systematics in residual abyssal peridotites. Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften" am Fachbereich Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz. Mainz, 2001. 113 p.
- Hirose K., Kawamoto T. Hydrous partial melting of lherzolite at 1 GPa: The effect of  $H_2O$  on the genesis of basaltic magmas // Earth Planetary Sci. Lett. 1995. V. 133, no. 3–4. P. 463–473.
- Lenoir X., Garrido C. J., Bodinier J-L., Dautria J-M., Ger-villa F. The Recrystallization front of the Ronda peridotite: evidence for melting and thermal erosion of subcontinental lithospheric mantle beneath the Alboran basin // J. Petrol. 2001. V.42, no 1. P. 141–158.
- Niu Y. Bulk-rock major and trace element compositions of abyssal peridotites: Implications for mantle melting, melt extraction and post-melting processes beneath mid-ocean ridges // J. Petrol. 2004. V. 45, no. 12. P. 2423–2458.
- Niu Y. Mantle melting and melt extraction processes beneath ocean ridges: evidence from abyssal peridotites // J. Petrol. 1997. V. 38, no. 8. P. 1047–1074.