

НОВАЯ ВЕРСИЯ ОЛИВИН-ХРОМШПИНЕЛЕВОГО ГЕОТЕРМОМЕТРА

При изучении состояния окисленности дунитов и хромититов мы столкнулись с проблемой корректной оценки температур оливин-хромшпинелевого равновесия. Ранее [1] было показано несовершенство существующих оливин-хромшпинелевых геотермометров, проявляющееся даже после внесения поправок на нестехиометрию хромшпинелида. Было высказано предположение, что причиной этого является неучет вхождения в состав минерала малых элементов, прежде всего титана, в сильной степени влияющего на коэффициент распределения железа и магния между сосуществующими оливином и хромшпинелидом. Предлагаемая ниже новая версия оливин-хромшпинелевого геотермометра учитывает реальную кристаллохимию хромшпинелида, в ней используются также эмпирически подобранные параметры, описывающие температурные оценки.

Впервые попытку учесть влияние титана на коэффициент распределения железа и магния между сосуществующими оливином и хромшпинелидом сделали Г. О'Нейл и В. Уолл, которые предложили свой вариант геотермометра [3], в дальнейшем модифицированный [2]. В версии О'Нейла-Уолла и в ее модифицированном варианте (O'NWBBG) степень окисления железа в хромшпинелиде определялась из рентгеноспектральных данных при допущении стехиометрии состава минерала. Мы провели проверку корректности геотермометра O'NWBBG на описанных в работе [1] образцах в двух вариантах оценки степени окисления железа в хромшпинелиде - "стехиометрическом" и мессбауэровском. Из рис.1, где приведены полученные данные, для обоих вариантов отчетливо видна зависимость температуры от состава, явно противоречащая геологическим данным.

При выяснении причин несовершенства геотермометра O'NWBBG мы обратили внимание на обратную зависимость величин температур от содержания титана в хромшпинелиде. Особенно отчетливо эта связь устанавливается при определении степени окисления железа в хромшпинелиде по данным ЯГР (рис.2): данные по альпинотипным и концентрически-зональным ультрамафитам в координатах $T - T_i$ вписываются в вытянутые овалы с субпараллельными осями. По-

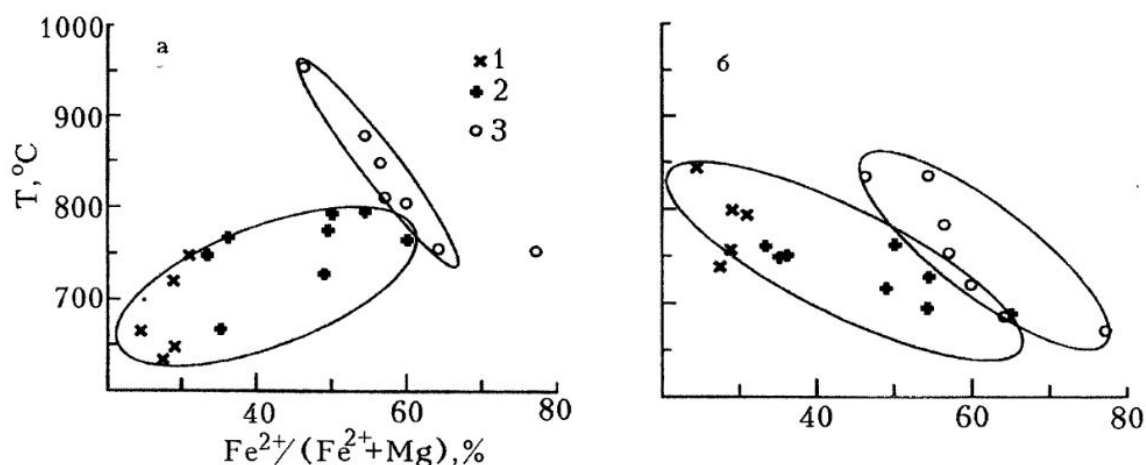


Рис.1. Температуры оливин-хромшпинелевого равновесия в ультрамафитах Южнокраинского (1,2) и Нижнетагильского (3) массивов в зависимости от железистости хромшпинелида.

1 - дерзолиты, 2 - гарцбургиты, 3 - дуниты. Температуры рассчитаны по геотермометру О'Нейла-Уолла-Больхауза-Берри-Грина [2]. Соотношение Fe^{3+} и Fe^{2+} в хромшпинелиде определено по стехиометрии (а) и по данным ЯГР-спектроскопии (б)

лученные результаты позволяют сделать следующие выводы: а) геотермометр O'NWBBG в недостаточной степени учитывает влияние титана на коэффициент распределения железа и магния между фазами; б) количественно это влияние не зависит от формационной принадлежности ультрамафитов (т.е. имеет универсальный характер) при определении степени окисления железа в хромшпинелиде методом ЯГР.

В связи со сказанным мы внесли изменения в геотермометр O'NWBBG, заключающиеся, во-первых, в отказе от "стехиометрического" расчета степени окисления железа в хромшпинелиде и в использовании только прямого его определения, во-вторых, было рассчитано реальное влияние титана на коэффициент распределения железа и магния между фазами. Это привело к 32-кратному увеличению против первоначального множителя титанового компонента в формуле геотермометра.

Предлагаем следующее откорректированное выражение для оценки температур:

$$T, K = [6530 + 280P + (7000 + 108P) \times (1 - 2Fa) - 1960 \times (X_{Mg}^{Sp} - X_{Fe^{2+}}^{Sp}) + 16150X_{Cr}^{Sp} + 25150X_{Fe^{3+}}^{Sp} + 880000X_{Ti}^{Sp}] / (R \times \ln K_{D_{Ol-Sp}}^{Mg-Fe} + 4,705),$$

где P - давление [GPa], Fa - мольная доля фаялита в молекуле оливина, $X_{Fe^{2+}}^{Sp} = Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg)$ в хромшпинелиде, $X_{Mg}^{Sp} = 1 - X_{Fe^{2+}}^{Sp}$, X_{Cr}^{Sp} и $X_{Fe^{3+}}^{Sp}$ -

соответственно $Cr / \sum R^{3+}$ и $Fe^{3+} / \sum R^{3+}$ в хромшпинелиде,

$K_{D_{Ol-Sp}}^{Mg-Fe} = (X_{Mg}^{Ol} \times X_{Fe^{2+}}^{Sp}) / (X_{Ol}^{Sp} \times X_{Mg}^{Sp})$, X_{Ti}^{Sp} - количество катионов Ti в формуле шпинели в расчете на 3 катиона, R - газовая постоянная.

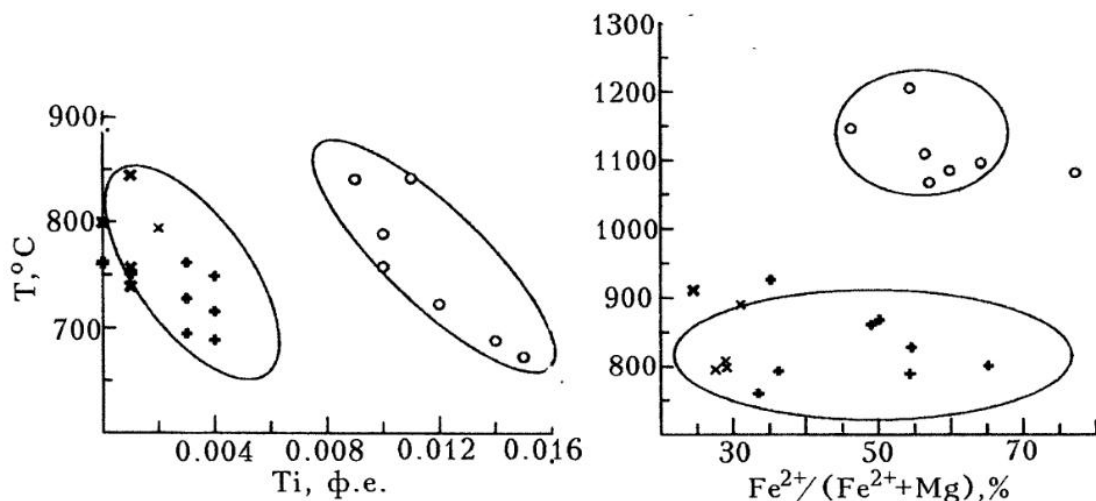


Рис.2. Температуры оливин-хромшпинелевого равновесия в ультрамафитах Южнокрайского и Нижнетагильского массивов как функция количества титана в хромшпинелиде в расчете на 3 катиона.

Условные обозначения те же, что на рис.1. Температуры рассчитаны по геотермометру [2]. Соотношение Fe^{3+} и Fe^{2+} в хромшпинелиде определено по данным ЯГР-спектроскопии

Рис.3. Температуры оливин-хромшпинелевого равновесия в ультрамафитах Южнокрайского и Нижнетагильского массивов в зависимости от железистости хромшпинелида.

Условные обозначения те же, что на рис.1. Температуры рассчитаны по модифицированному геотермометру [2]

Влияние давления на расчетные значения температур незначительно (менее 25°C на 1 кбар), поэтому для всех случаев оно было принято равным 1 ГПа.

В результате корректировки геотермометра зависимость расчетных температур от состава хромшпинелида не наблюдается (рис.3), дисперсия равна 50-70°C и вызвана прежде всего погрешностями рентгеноспектрального метода, особенно при определении содержаний титана.

Практически исчезла систематическая разница между данными оливин-хромшпинелевой и пироксеновой геотермометрии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 95-05-14287, 96-05-64532).

Список литературы

1. Чашухин И.С., Вотяков С.Л., Быков В.Н.. О корректности некоторых оливин-хромшпинелевых геотермометров/Ежегодник-1994/Ин-т геологии и геохимии. Екатеринбург: УрО РАН., 1995. С. 125-129.
2. Ballhaus C., Berry R., Green D.. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle// Contrib. Mineral. Petrol. 1991. V. 107, N 1. P. 27-40.
3. O'Neill H., Wall V.. The olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer, the nickel precipitation curve, and the oxygen fugacity of the Earth's upper mantle// J. Petrol. 1987. V. 28, N 6. P. 1169-1191.