

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Mg И Fe В СИСТЕМЕ КЛИНОПИРОКСЕН – БИОТИТ, ТЕРМОМЕТРИЯ ПРИРОДНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ

А. М. Ковальский, Т. Н. Ковальская, А. Р. Котельников

Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка, kovalsky@iem.ac.ru

Ассоциация клинопироксена с биотитом – одна из наиболее распространенных в магматических, метасоматических и метаморфических породах, в том числе и в породах повышенной щелочности. Клинопироксен – биотитовый геотермометр, построенный на основе эмпирических данных по составам сосуществующих природных Sr х и V и был предложен Л. Л. Перчуком [Перчук, 1976]. Однако отсутствие точных данных по термодинамике щелочных пироксенов затрудняет его использование для оценок температур минералогенеза щелочных пород. Распределение Mg и Fe между сосуществующими клинопироксенами и биотитами в различных породах Тикшеозеского, Ловозерского и Хибинского щелочных массивов представлено на рисунке 1.

Экспериментальное изучение обменных равновесий (распределения Fe и Mg) в системе клинопироксен (диопсид – геденбергит) – биотит (флогопит – аннит) для калибровки геотермометра на их основе проведено при $T = 600\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$ и $P = 1.5\text{--}2$ кбар. Опыты проводились на гидротермальных установках с внешним нагревом и холодным затвором в золотых ампулах. В качестве исходных компонентов были использованы гелевые смеси диопсида, геденбергита, флогопита и аннита и природный флогопит из Ковдорского месторождения и синтетические конечные члены системы. Потенциал кислорода в опытах контролировался буферной смесью железа + вюстит во внутренней платиновой ампуле или измельченным графитом спектральной чистоты, добавляемым непосредственно в реакционную смесь. Соотношение навеска : флюид варьировало от 5:1 до 10:1. Состав флюида задавался либо дистиллированной водой, либо (для активации реакций рекристаллизации) водным раствором KF концентрации 5 мас. %. Длительность опытов зависела от температуры и составляла 21–66 суток. Продукты опытов анализировались микрозондовым методом с точностью до 2 мол. %.

Для проведения обменных опытов с исходными кристаллическими фазами, при различных P - T параметрах (в интервале $T = 450\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$ и $P = 1\text{--}2$ кбар) проведен синтез диопсида, геденбергита, флогопита и аннита. В качестве стартовых материалов в опытах применялись гелевые смеси (для Fe-содержащих составов – смеси, предварительно восстановленные в среде водорода при $T = 550\text{ }^\circ\text{C}$), $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, сидерит, Fe(карб.). В результате экспериментов были синтезированы стехиометричные кристаллические фазы, составы которых отвечают стехиометрии минералов Di, Hed, Phl, Ann. Для всех синтезированных минералов проведено рентгеновское исследование и уточнены параметры элементарных ячеек.

Равновесные составы клинопироксенов и биотитов были получены при $T = 650$ и $750\text{ }^\circ\text{C}$ и $P = 2$ кбар из исходных гелевых смесей и синтетических минералов и представлены на рисунке 2. Как видно на рисунке, по нашим экспериментальным данным, распределение магния и железа в системе диопсид – геденбергит – флогопит – аннит близко к идеальному. Жирными пунктирными линиями на рисунке приведены изотермы (650 и 750 $^\circ\text{C}$) для равновесных клинопироксенов и биотитов, построенные по данным [Перчук, 1976]. Как видно из рисунка, результаты настоящей работы существенно отличаются от данных [Перчук, 1976], что может быть объяснено тем, что в работе [Перчук, 1976] для построения геотермометра использовались данные по равновесиям природных минералов. Так, в составе природных клинопироксенов, возможно присутствие глинозема (в виде жадеитового минала) и марганца, в биотитах – истонит-сидерофиллитового минала.

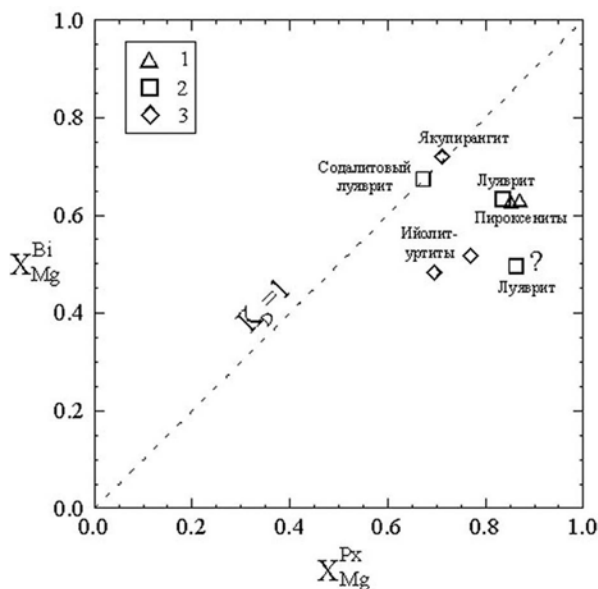


Рис. 1. Распределение Mg и Fe между клинопироксенами и биотитами в породах 1) Тикшеозеского, 2) Ловозерского и 3) Хибинского массивов.

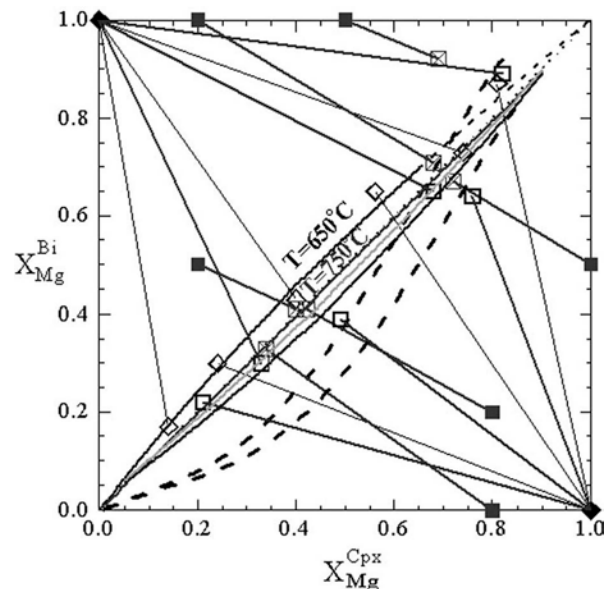


Рис. 2. Распределение Mg и Fe между клинопироксенами ряда Di-Hed и биотитами ряда Phl-Ann по данным экспериментов. Ромбы – $T = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2$ кбар, квадраты – $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2$ кбар. Залитые значки – составы исходных компонентов до опытов).

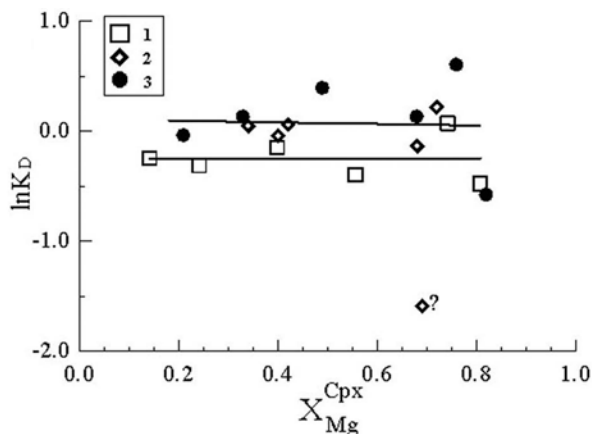


Рис. 3. Концентрационные зависимости логарифмов коэффициентов распределения Mg и Fe между биотитом и клинопироксеном: 1) $T = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2$ кбар, из гелевых смесей, 2) $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2$ кбар, из синтетических минералов, 3) $T = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2$ кбар, из гелевых смесей.

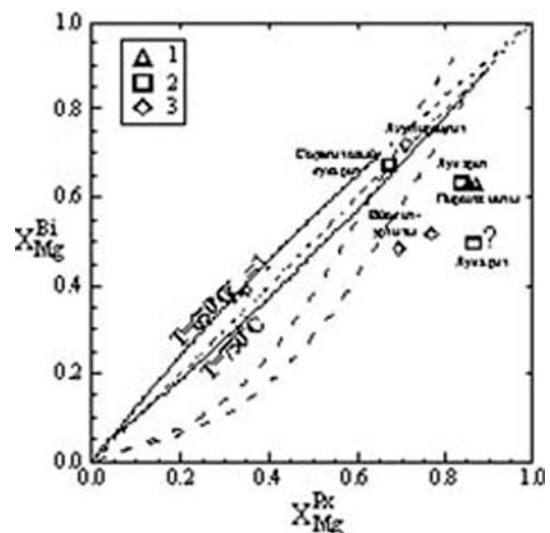


Рис. 4. Оценка температур формирования парагенезисов ряда пород природных комплексов: 1) Тикшеозеского, 2) Ловозерского, 3) Хибинского.

Равновесные распределения Mg и Fe между биотитом и пироксеном при $T = 650$ и $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 2$ кбар могут быть описаны следующими линейными зависимостями $\ln K_D$ от состава клинопироксена: $T = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\ln K_D = 0.0137611 \cdot X(\text{Mg})_{\text{Cpx}} - 0.257398$, $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\ln K_D = -0.0721589 \cdot X(\text{Mg})_{\text{Cpx}} - 0.109697$ и представлены на рисунке 3.

На основе полученных изотерм оценены температуры формирования ряда пород Тикшеозеского, Ловозерского и Хибинского щелочных массивов (рис. 4).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 06-05-64904, 07-05-00217, гранта Президента РФ МК-4797.2008.5.

Литература

Перчук Л. Л., Рябчиков И. Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. М.: Недра, 1976. 287 с.