

УДК 552.11:549

Индикаторная роль шпинель-оливинового парагенезиса на примере дунитов центральной части массива Кондер

Г.П. Пономарев

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский, Россия; ponomarev@kscnet.ru

Ключевые слова: парагенезис, шпинель, оливин, равновесие.

Минералы групп шпинели и оливина достаточно типичны для фазового состава большинства пород из отрядов ультраосновных и основных магматических пород.

Для оценок физико-химических условий образования этих минералов используются, как содержания в них минералообразующих, так и примесных элементов. На основе содержаний минералообразующих элементов создан и опубликован достаточно большой ряд уравнения, описывающих равновесное распределение этих элементов в системах расплав-шпинель, расплав-оливин, расплав-шпинель-оливин. Эти уравнения позволяют оценивать равновесность указанных фаз, содержания ряда элементов в равновесном с данной фазой, или парагенезисом расплава, а также численные значения температуры, давления и фугитивности кислорода для данного равновесия. Наиболее востребованными в настоящее время в петрологической практике для оливина являются: K_d (Fe/Mg) расплав-оливин, и ряд уравнений из работы (Putirka, 2008). В работах (Пономарев, Пузанков, 2012; Пономарев, Пузанков, 2016) представлен ряд уравнений, полученных авторами, для всех выше указанных парагенезисов и позволяющими проводить такие расчеты. Сравнительное тестирование некоторых из этих уравнений и уравнений для расчета аналогичного параметра из работы (Putirka, 2008) показало способность созданных уравнений давать сравнимые результаты с расчетами по уравнениям из работы (Putirka, 2008), а в ряде случаев получать и более качественные расчетные величины. Ниже, в качестве примеров, представлены 2 уравнения и их статистические характеристики (Пономарев, Пузанков, 2016):

Система расплав-шпинель с недосыщенным флюидом расплавом (67 точек), диапазон давлений 0.2- 2 ГПа. Расчет температуры:

$$T = 5,85Z1 + 1173,8;$$

где $Z1 = 2Mg_m - Ti_{sp} - Fe_{sp} - Al_m + Na_m$; диапазон значений 925–1350°C; $N1-65$; $R-0,91$; $\sigma - 40^\circ C$; $\chi^2 - 0,98$.

Система расплав-оливин с недосыщенным флюидом расплавом (310 точек), диапазон давлений 0,01–3,5 ГПа. Расчет температуры:

$$T = 10,63Z1 + 791,2;$$

где $Z1 = (90Mg_m)/Mg_{ol} + Mg_{ol}/3 - Al_m/3 + 8Ca_{ol} + 3Ti_m$; диапазон значений 693–1600°C; $N1-301$; $R-0,95$; $\sigma - 40^\circ C$; $\chi^2 - 4,51$

Расчет содержания магния в расплаве:

$$Mg_m = 0,44Z1 - 18,41;$$

где $Z1 = T/15 - 1,1Al_m - (1,2Na + K)_m + Mg_{ol}/3 - 3Ti_m$; диапазон значений 0,35–37,5 атом. %; $N1-303$; $R-0,96$; $\sigma - 1,84$ атом. %; $\chi^2 - 3$.

Примесные элементы в составе оливина (Ni, Co, Mn, Cr, Ti, Ca) также являются генетическими индикаторами. Благодаря развитию методик микрондового анализа все большее значение в генетических моделях начинает играть содержание кальция в оливине. В работах (Пономарев, 2014а, 2014б, Пономарев, Пузанков, 2016) показано, что наряду с K_d (Fe/Mg) расплав-оливин, содержание кальция в оливине является равнозначным критерием равновесия оливина с расплавом.

Весь этот набор генетических критериев (содержания кальция в оливине и система уравнений) были использованы для расчетов условий кристаллизации дунитов, слагающих ядерную часть массива Кондер, давшей при разрушении россыпное месторождение платиноидов. Массив имеет концентрически зональное строение, расположен на юго-востоке Алданского щита и образовался на этапе тектоно-магматической активизации региона. Для оценок и расчетов были использованы данные по составам шпинели и оливина из дунитов (Приходько, Пономарев, 1990; Симонов и др., 2011), расплавных включений в шпинели (Симонов и др., 2011) и платиноносных хромититов(оливин), образующих шпир и гнезда в дунитах (Пушкарев и др., 2015).

Первоначально, по содержаниям CaO в кристаллах оливина (1 – больше 0,1 вес. % и 2 – меньше 0,1 вес. %) были выделены 2 группы кристаллов. Первая представлена оливином дунитов – кальций содержащим, согласно выводам (Пономарев, Пузанков, 2012; Пономарев, 2014а, 2014б; Пономарев, Пузанков, 2016) может быть равновесна с расплавом. Вторая группа – это оливины, включенные в хромшпинелиды из платиноносных хромититов - низко кальциевая, что указывает на метасоматическую природу их составов, хотя в платиноносных хромититах могут встречаться и кальций содержащие оливины.

Затем были выбраны и сформированы 14 парных анализов шпинель – оливин (кальций содержащий), представляющие наименьшие, средние и наибольшие по магнезиальности составы фаз из различных структурно-текстурных разновидностей пород центральной части массива. Эти составы были проверены на равновесность с помощью уравнений (11 шт.), описывающих равновесное распределение элементов в системе расплав-шпинель-оливин в «сухих» условиях под давлением и с участием флюида под давлением. Равновесными, практически все пары, оказались в условиях с участием флюида. Что хорошо совпало с данными по содержаниям воды (~ 0,5 вес. %) в расплавных включениях из шпинели. Хотя, возможно, произошла частичная потеря воды из расплавных включений, что достаточно типично.

Для расчетов условий кристаллизации с использованием составов расплавных включений было сформировано 16 вариантов предполагаемых парагенезисов расплав(состав расплавного включения) – оливин и расплав – шпинель, которые рассчитывались по формулам для 2 случаев: недосыщенного флюидом расплава и с известным содержанием флюида (1 и 2 вес. %). Кроме этого для расчетов использовался и сам состав расплава (расплавного включения), который проверялся на равновесность. Рассчитывались следующие величины (53 уравнения): значения температуры и давления, содержания кремния, алюминия, магния и сравнивались с реальными содержаниями указанных элементов в расплаве. По результатам расчетов были получены следующие выводы. Составы расплавных включений не в полной мере являются равновесными и с оливином и со шпинелью и вероятно изменили свой первичный состав за счет влияния минерала хозяина. На это кроме расчетов указывают также большой разброс составов расплавных включений, изученных в кристаллах шпинели, и высокие содержания Cr_2O_3 в них (1 – 3 вес. %), что не типично для магматических расплавов. Наиболее магнезиальный оливин из раскристаллизованных расплавных включений (MgO – 52,78 вес. %) образовался при температурах $1300-1340 \pm 50^\circ\text{C}$ и давлении $\sim 1,6-1,8 \pm 0,2$ ГПа.; наиболее равновесным с с этим оливином является расплав с содержанием MgO $\sim 16-17$ вес. %. Кристаллы шпинели довольно однородны по содержаниям магния (MgO $\sim 8-9$ вес. %) и с некоторой долей условности равновесны с расплавом, содержащим ~ 21 вес.% MgO , в условиях кристаллизации при температуре $1300-1340 \pm 40^\circ\text{C}$ и давлении $1,6-1,9 \pm 0,3$ ГПа.

Рассчитанные условия кристаллизации по давлению соответствуют глубинам 40–50 км. Если кумуляция шпинели и оливина происходила в очаге на этой глубине следовало бы ожидать однообразной температуры 700 – 800°C, соответствующей температуре закрытия межфазовых обменных реакций. Это дает основание полагать, что кумуляция фаз происходила вблизи поверхностном очаге на глубинах $\sim 10 - 15$ км с последующим тектоническим выжиманием пластичных фрагментов затвердевающего массива. Или же кумуляцию фаз в подводящем магматическом канале в случае вулканической деятельности. Присутствие кальция содержащих и низко кальциевых разновидностей оливина в платиносодержащих хромититах ядерной части массива позволяет полагать, что образование этих хромититов началось в магматическую стадию и продолжалось на стадии метасоматоза.

Список литературы

- Пономарев, Г.П., Пузанков, М.Ю. (2012) Распределение породообразующих элементов в системе основной–ультраосновной расплав–шпинель, оливин, ортопироксен, клинопироксен, плагиоклаз по экспериментальным данным: геологическое приложение. М.: ПРОБЕЛ. 664 с.
- Пономарев, Г.П. (2014а) Содержание кальция в кристаллах оливина, выросших из экспериментальных расплавов. Часть 1 // Литосфера. № 4. С. 66–79.
- Пономарев, Г.П. (2014б) Содержания кальция в кристаллах природного оливина, как показатель их генезиса. Часть 2 // Литосфера. №5. С. 57–70.
- Пономарев, Г.П., Пузанков, М.Ю. (2016) Распределение породообразующих элементов в системе основной–ультраосновной расплав–шпинель–оливин с участием водного флюида по экспериментальным данным. ВЕСТНИК КРАУНЦ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. Выпуск 32. 4. С. 59–72.
- Приходько, В.С., Пономарев, Г.П. (1990) Составы породообразующих минералов лунитов Кондерского массива. Тихоокеанская геология, 2, 59–69.
- Пушкарев, Е.В., Каменецкий, В.С., Морозова, А.В., и др. (2015) Онтогенез рудных хромшпинелидов и состав включений как индикаторы пневматолито-гидротермального образования платиноносных хромититов массива Кондер (Алданский щит). Геология рудных месторождений, 57(6), 394–423
- Симонов, В.А., Приходько, В.С., Ковязин, С.В. (2011) Условия формирования платиноносных ультраосновных массивов юго-востока Сибирской платформы. Петрология. 19(6), 579–598.
- Putirka, K.D. (2008) Thermometers and barometers for volcanic systems // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. V. 69. P. 61–120.