

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ И ФТОРА НА ПЛАВЛЕНИЕ КАРБОНАТИЗИРОВАННОГО ПЕРИДОТИТА ПРИ 6 И 10 ГПа

Булатов В.К. (ГЕОХИ РАН), Гирнис А.В. (ИГЕМ РАН), Брай Г.П. (Ун-т Гете, Германия)
v.bulatov@bk.ru; тел. (495) 939-70-54

Ключевые слова: *парциальное плавление, карбонатизированный перидотит, фтор, кимберлиты*

При давлении 6-10 ГПа в интервале температур 1100-1600°C на мультианвильном аппарате проведено экспериментальное изучение парциального плавления в системах гранатовый перидотит- CO_2 - H_2O и гранатовый верлит- CO_2 -F. Детали экспериментальной методики и калибровки опубликованы ранее [1]. Исходная перидотитовая смесь была та же, что и в наших ранних экспериментах [1]. Тонко растертую смесь шпинелевого перидотита SC-1 с величиной зерна $<10 \mu\text{m}$ смешивали с 10% природных кальцита и флюорита или реагентом $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich, 99%). Поскольку фтор был добавлен в систему в виде флюорита, количество кальция становится очень высоким и модалный ортопироксен отсутствует. Поэтому фторсодержащую систему мы рассматриваем как верлит- CO_2 -F, а водосодержащую - как перидотит- CO_2 - H_2O системы.

В этой работе мы используем метод отделения расплава, разработанный нами в ранних исследованиях по изучению парциального плавления безводного карбонатизированного перидотита [1]. Исходный материал (смесь перидотита с фазой, содержащей летучие компоненты) загружали в оливинный контейнер, изготовленный из природного оливина и заваривали в платиновой ампуле. Во время эксперимента, в результате парциального плавления исходного материала, образуется небольшое количество расплава, который первоначально распределяется в перидотитовой матрице. Одновременно, оливинный контейнер реагирует со стенками платиновой капсулы, образуя Fe-Pt сплав и ортопироксен. Благодаря отрицательному объемному эффекту этой реакции, в образце создается градиент давления, в результате чего расплав отделяется от матрицы и концентрируется на границе между оливинной и платиновой капсулами. Выделения закаленного карбонатно-силикатного расплава достаточно крупные для проведения микрозондового анализа с использованием дефокусированного электронного пучка диаметром 10-30 μm .

После проведения экспериментов образцы анализировали на микрозонде Jeol Superprobe 8900. Условия проведения анализа представлены в работе [1].

Субсолидусные эксперименты в системе перидотит- CO_2 - H_2O при 1100°C и 10 ГПа дают оливин, ортопироксен, клинопироксен, гранат, магнетит и редкие зерна минерала гумитовой группы - норбергита $[\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2]$. Последний был обнаружен только в виде включений в гранатах и предположительно при P-T условиях эксперимента является метастабильным. Никаких других водосодержащих фаз в экспериментах по изучению этой системы обнаружено не было. В низкотемпературных опытах (1100-1200°C) присутствует магнетитсодержащий перидотит (оливин - ортопироксен - клинопироксен - гранат - магнетит - расплав). При повышении температуры первым исчезает клинопироксен, затем магнетит и высокотемпературная минеральная ассоциация представлена гранатовым гарцбургитом (рис.1).

Во фторсодержащей системе расплав при 1100°C и 10 ГПа не обнаружен. В этом эксперименте флюорит исходной смеси взаимодействует с оливином, давая реакционную зону, состоящую из клинопироксена, ферропериклаза и F-содержащего магнетиального силиката. С увеличением температуры эта зона исчезает и в некоторых экспериментах наблюдается только прерывистая клиногумитовая оторочка вокруг перидотитового ядра. Добавление фтора в систему стабилизирует минералы гумитовой группы, которые становятся устойчивым, по крайней мере, в области на 100°C выше солидуса (рис.1). В продуктах экспериментов были обнаружены различные члены этой группы (гумит, клиногумит, хондродит). Их пропорции и результаты опытов при более высоких температурах (1200-1300°C) указывают на то, что фтор-клиногумит является стабильной фторсодержащей фазой вблизи солидуса, тогда как гумит и хондродит - метастабильны. Клиногумит формирует суб- и эвгидральные зерна в перидотите и в оливинной капсуле вблизи перидотита. При 6 ГПа клиногумит стабилен до более высоких температур, чем при 10 ГПа. Однако он является первой фазой, исчезающей выше солидуса (рис.1). Магне-

зит исчезает при температуре около 1500°C в экспериментах при 10 ГПа и между 1300-1400°C - при 6 ГПа. Выделения расплава часто наблюдаются как в перидотитовой зоне, так и в оливиновой капсуле. Это указывает на увеличение вязкости карбонатно-силикатного расплава во фторсодержащей системе, поскольку в опытах только с карбонатизированным перидотитом [1] расплав наблюдался исключительно вблизи стенок платиновой ампулы.

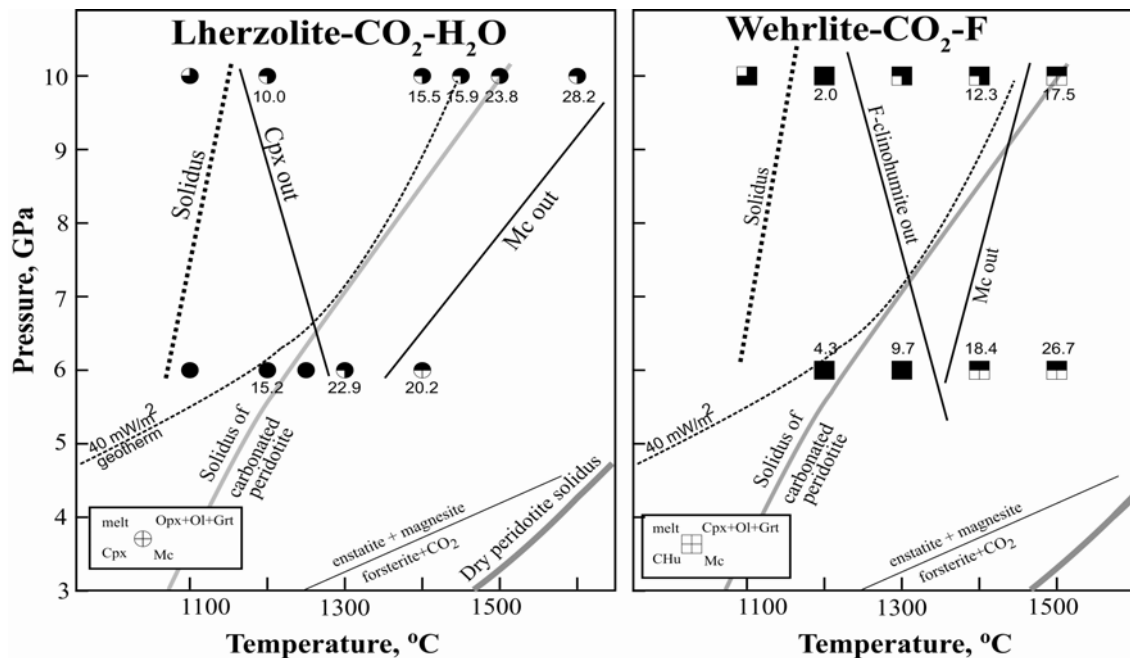


Рис.1. P-T диаграмма фазовых отношений в системах лерцолит-CO₂-H₂O и верлит-CO₂-F. Цифры около экспериментальных точек указывают на содержание SiO₂ в расплаве в вес.%. Солидус карбонатизированного перидотита по [2], сухой перидотитовый солидус по [3], реакция forsterite + CO₂ = enstatite + magnesite – по [4], 40 mW/m² геотерма – по [5]

Температура солидуса безводного карбонатизированного гранатового лерцолита была экспериментально установлена Дасгупта и Хиршман [2] и составляет 1200°C при 6 ГПа и 1500°C при 10 ГПа (показано на рис.1). Добавление как воды, так и фтора снижает температуру солидуса на 300°C при 10 ГПа и 150°C при 6 ГПа (если верлит - CO₂ солидус рассматривать как приближение к перидотит- CO₂ солидусу). Сходство влияний воды и фтора на температуру солидуса карбонатизированного перидотита согласуется с экспериментальными данными, полученными в системах, свободных от присутствия CO₂ [6].

Во фторсодержащей системе субсолидусная фазовая ассоциация включает минералы гумитовой группы, тогда как в водосодержащей системе при наиболее низкой температуре (1100°C) присутствие каких либо гидроксилсодержащих фаз не установлено. Условия эксперимента могут быть несколько выше верхнего предела устойчивости гидроксил клиногумита [7], в присутствии флюида. В условиях отсутствия водосодержащих фаз вблизи солидуса должен присутствовать H₂O-содержащий флюид. Фазовые соотношения будут зависеть от критических соотношений между водным флюидом и карбонатсодержащим расплавом [8]. Если давление выше критической точки, то будет наблюдаться постепенный переход между расплавом и водным флюидом. Если ниже – водосодержащая флюидная фаза будет сосуществовать с расплавом вблизи солидуса. Резкое изменение текстуры экспериментальных образцов между 1100 и 1200°C при 10 ГПа свидетельствует в пользу второго варианта, то есть давление критической точки выше 10 ГПа.

Составы расплавов, экспериментально полученных в системе лерцолит-CO₂-H₂O очень похожи на расплавы в системе перидотит-CO₂ [2]. Заметным отличием является относительно высокое содержание Al₂O₃ в расплавах водосодержащей системы. Этот эффект не связан с различиями в валовом составе систем, поскольку активность Al буферизуется равновесием низкокальциевый пироксен-гранат. Влияние фтора на карбонатно-перидотитовую (верлитовую) систему более существенно. Расплавы содержат меньше SiO₂, Al₂O₃ и значительно выше MgO и CaO.

Брай и др.[1], сравнив составы экспериментально полученных карбонатно-силикатных расплавов с предполагаемыми первичными кимберлитовыми магмами, сделали вывод, что последние не являются продуктом одноактного плавления примитивных или несколько деплетированных мантийных перидотитов. Расплавы, полученные при 6 ГПа, содержат больше MgO , чем кимберлитовые расплавы с тем же содержанием SiO_2 , в то время как расплавы, полученные при 10 ГПа, характеризуются низким содержанием Al_2O_3 . Тот же вывод относится к полученным нами H_2O – и F-содержащим карбонатно-силикатным расплавам. Добавочное к CO_2 влияние воды и фтора недостаточно для смещения состава расплавов в кимберлитовую область. Более того, добавление фтора уменьшает содержание SiO_2 в парциальных расплавах и увеличивает различие в составах кимберлитовых магм и экспериментальных расплавов. Увеличение концентрации Al_2O_3 в расплавах водосодержащей системы недостаточно для получения кимберлитоподобных расплавов при давлениях более 6 ГПа. Таким образом, полученные в настоящей работе экспериментальные данные поддерживают сделанные нами ранее [1] выводы.

Кроме того, исходя из полученных нами результатов, можно сделать ряд выводов, важных для решения вопросов генезиса кимберлитовых магм и мантийного метасоматоза: (1) Области сублитосферной мантии, обогащенные CO_2 и водой или фтором, генерируют расплавы даже в условиях нормального платформенного геотермического градиента (рис.1); (2) Образование кимберлитовой магмы, содержащей 30-35 вес.% SiO_2 (состав без летучих), требует независимо от присутствия H_2O и (или) F высоких температур - 1600°C при 6 ГПа и 1700°C при 10 ГПа. Присутствие H_2O уменьшает температуру солидуса, но существенно не изменяет содержание SiO_2 в расплавах по сравнению с последними, полученными при плавлении безводных карбонатизированных перидотитов; (3) Солидус водосодержащего карбонатизированного перидотита пересекает платформенную геотерму при давлении около 6 ГПа.

Работа выполнена при поддержке грантов Президиума РАН, РФФИ и Немецкого научного общества

Литература

1. Brey G.P., Bulatov V.K., Girnis A.V., Lahaye Y. Experimental melting of carbonated peridotite at 6-10 GPa // *Journal of Petrology*. 2008. 49. P. 797-821.
2. Dasgupta R., Hirschmann M.M. Melting in the Earth's deep upper mantle caused by carbon dioxide // *Nature*. 2006. No 440. P. 659-662.
3. Hirschmann M.M., Mantle solidus: experimental constraints and the effects of peridotite composition // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1, 2000GC000070. 2000.
4. Newton R.C., Sharp W.E. Stability of forsterite + CO_2 and its bearing on the role of CO_2 in the mantle // *Earth and Planetary Science Letters*. 1975. 26. P. 239-244.
5. Pollack H.N., Chapman D.S. On the regional variation of heat flow, geotherms, and lithospheric thickness // *Tectonophysics*. 1977. 38. P. 279-296.
6. Luth R.W. Effects of F on phase equilibria and liquid structure in the system $NaAlSi_3O_8$ - $CaMgSi_2O_6$ - SiO_2 // *American Mineralogist*. 1988. 73. P. 306-312.
7. Yamamoto K., Akimoto S.-I. The system MgO - SiO_2 - H_2O at high pressures and temperatures - stability field for hydroxyl-chondrodite, hydroxyl-clinohumite and 10 Å-phase // *American Journal of Science*. 1977. 277. P. 288-312.
8. Wyllie P.J., Ryabchikov I.D. Volatile components, magmas, and critical fluids in upwelling mantle // *Journal of Petrology*. 2000. 41. P. 1195-1206.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/term-3.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна