

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЩЕЛОЧНО-КАРБОНАТНОГО МЕТАСОМАТОЗА И ПЛАВЛЕНИЯ МАНТИИ: ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ

**Костюк А.В., Горбачев Н.С. (ИЭМ РАН)**

*nastyu@iem.ac.ru, gor@iem.ac.ru*

Ключевые слова: *метасоматоз, плавление, эксперимент*

Во всех типах глубинных магм наряду с разнообразными по составу коровыми ксенолитами широкое распространение получили как перидотитовые, так и эклогитовые включения. В эклогитовых ксенолитах широко проявлены признаки частичного плавления, так же зачастую они содержат обогащенные щелочами (до 16 мас. %) силикатные стекла, флогопит, карбонаты, сульфиды, санидин. Формирование таких образований связывают с частичным плавлением эклогита при воздействии на них глубинных, богатых щелочами флюидов. В данной работе представлены результаты экспериментального изучения влияния температуры на фазовые соотношения при щелочно-карбонатном метасоматозе и плавлении эклогита при  $P=3.6-4.0$  ГПа,  $T=850-1450^{\circ}\text{C}$ .

В основе исследования находилось две системы. Первая ( $T=850-1450^{\circ}\text{C}$ ) – насыщенная углеродом, вторая ( $T=1200-1250^{\circ}\text{C}$ ) – «сухая». В качестве стартового материала использовали пикритобазальт смешанный с 10%  $(\text{K}, \text{Na})_2\text{CO}_3$ . Опыты проводились на аппарате типа НЛ в ИЭМ РАН с использованием закалочной методики. Температура измерялась Pt30Rh/Pt6/Rh термопарой, давление при высоких температурах калибровалось по кривой равновесия кварц - коэзит. Точность определения температуры и давления в опытах оценивается в  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  и  $\pm 1$  кбар. Длительность эксперимента составляла 6 - 8 часов. Продукты экспериментов изучались на цифровом электронном сканирующем микроскопе Tescan VEGA TS 5130MM, оснащенным детекторами вторичных и отраженных электронов на YAG-кристаллах и энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором с полупроводниковым Si(Li) детектором INCA Energy 350.

В ходе эксперимента при близосолидусном ( $T=850^{\circ}\text{C}$ ,  $P=3.6$  ГПа) щелочно-карбонатном метасоматозе эклогита в углерод-насыщенной системе с углеводородным флюидом формируется графит-гранат-клинопироксен-флогопитовая ассоциация с аксессуарным хромитом, сосуществующая с межзерновым Na-щелочным силикатным расплавом (в образце не более 1-2%). Карбонатный расплав не обнаружен. Клинопироксены характеризуются низким содержанием кальция (11-13 мас.% CaO) и высоким содержанием калия (до 3.0 мас.%  $\text{K}_2\text{O}$ ) (табл.1).

**Таблица 1**

Представительный фазовый состав продуктов метасоматоза и плавления эклогита в углеродно-насыщенной системе с углеводородным флюидом.  $T=850^{\circ}\text{C}$ ,  $P=3.5$  ГПа

	Ga	Cpx	Flog	m	Cht
SiO <sub>2</sub>	39.6	50.7	36.2	52.54	0.2
TiO <sub>2</sub>	0.4	0.1	0.3	0.75	0.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.1	7.0	18.0	13.44	31.3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	-	0.3	0.79	33.6
FeO	11.6	8.9	23.6	8.65	16.6
MgO	1.2	13.8	10.8	5.01	16.2
CaO	25.9	13.7	0.3	10.47	0.1
Na <sub>2</sub> O	0.6	2.1	0.6	7.6	0.3
K <sub>2</sub> O	<0.1	3.0	9.5	0.64	
Сумма	99.5	99.3	99.6	99.89	98.7

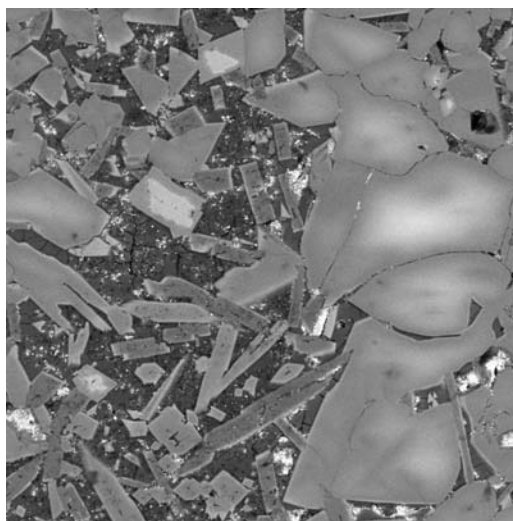
При тех же составах в углеродно-насыщенной системе при температуре  $1300^{\circ}\text{C}$  ( $P=3.9$  ГПа) и  $1450^{\circ}\text{C}$  ( $P=4$  ГПа) увеличивается степень плавления эклогита (до 30% и более). Закалочный об-

разец представлен крупными таблитчатыми выделениями клинопироксена, флогопита, акцессорного хромита, сцементированных щелочным Na-K расплавом. Карбонатная фаза так же не обнаружена (рис.1, табл.2).

**Таблица 2**

Представительный фазовый состав продуктов метасоматоза и плавления эклогита в углеродно-насыщенной системе с углеводородным флюидом при  $T=1300^{\circ}\text{C}$ ,  $P=4$  ГПа

	Срх	Flog	Cht	m
SiO <sub>2</sub>	46.72	41.66	0.08	46.10
TiO <sub>2</sub>	3.60	1.55	0.4	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.44	14.61	31.26	19.87
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.37	33.64	0.12
FeO	2.53	1.69	16.03	1.38
MnO	0.2	0.2	-	0.1
MgO	11.27	25.22	15.75	0.2
CaO	20.36	0.15	0.02	0.32
Na <sub>2</sub> O	2.08	0.56	0.04	8.60
K <sub>2</sub> O	<0.1	9.01	-	3.61
Сумма	98.24	95.13	97.39	81.50



**Рис.1.** Изображение в отраженных электронах экспериментального образца. Плавление эклогита в углеродно-насыщенной системе с углеводородным флюидом при  $T=1300^{\circ}\text{C}$ ,  $P=4$  ГПа

Состав ликвидусной ассоциации в высокотемпературных (до  $1450^{\circ}\text{C}$ ) экспериментах, моделирующих щелочно-карбонатный метасоматоз и плавление эклогитов, отличается от фазового состава близосолидусной ассоциации в низкотемпературных ( $850^{\circ}\text{C}$ ) экспериментах. В высокотемпературных экспериментах присутствует только высоко-кальциевый клинопироксен с низким ( $<0.1\%$  K<sub>2</sub>O) содержанием калия, нет граната. Отсутствие карбонатной фазы в экспериментах можно объяснить низкой активностью CO<sub>2</sub>, так как в присутствии графита при T-P параметрах эксперимента равновесие C-CO-CO<sub>2</sub> смещается в сторону CO. Температурным эффектом можно объяснить и отсутствие граната на ликвидусе щелочных силикатных расплавов.

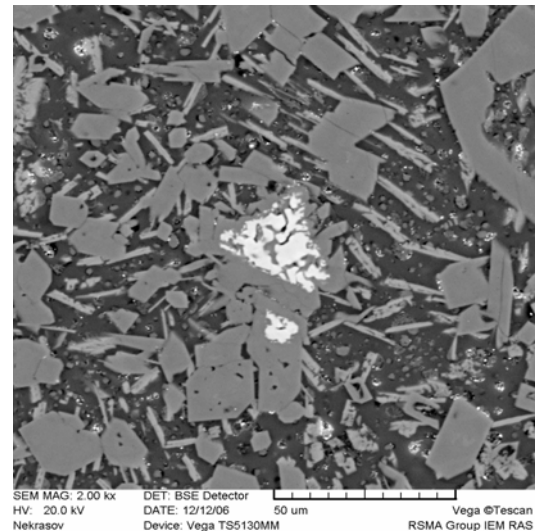
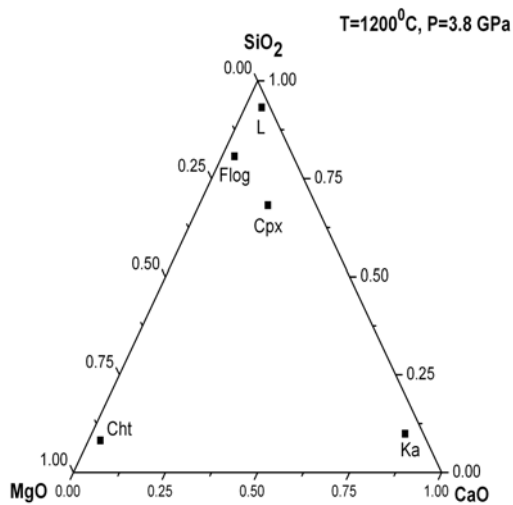
Карбонатизация силикатных расплавов с образованием несмешиваемых щелочной силикатной и карбонатной жидкостей наблюдалась при щелочно-карбонатном метасоматозе и частичном плавлении эклогита в системе ненасыщенной углеродом при  $T=1200^{\circ}\text{C}$ ,  $P=3.8$  ГПа. В этих условиях формировались щелочные расплавы (m) фанолитового состава, карбонатные (Ka) расплавы, сосуществующие с Ca-клинопироксеном (Срх), флогопитом (Flog) и хромитом (Cht) (рис.2, табл. 3).

Таблица 3

Состав сосуществующих фаз при щелочно-карбонатном метасоматозе и плавлении эклогита. T=1200°C P=3.8 ГПа

	Cpx	Flog	m	Ka	Cht
SiO <sub>2</sub>	52.1	40.1	49.0	2.4	0.65
TiO <sub>2</sub>	0.5	1.4	0.5	0.1	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.8	12.9	14.9	1.0	21.75
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8	0.2	0.2	0.1	37.93
FeO	8.4	18.0	5.0	12.0	28.79
MgO	10.0	7.9	1.2	1.2	7.05
CaO	14.3	1.7	2.4	20.6	0.26
Na <sub>2</sub> O	4.3	1.8	6.3	12.6	0.23
K <sub>2</sub> O	0.1	6.1	6.1	1.1	0.08
Сумма	98.4	92.2	83.6	52.0	97.44

Экспериментальные образцы представлены крупными (десятки мкм) таблитчатыми выделениями силикатных минералов, сцементированных силикатным стеклом (закаленный силикатный расплав) с овальной формы включениями карбонатной фазы (закаленный карбонатный расплав) размером 5-10 мк. Карбонаты обогащены (в пересчете на 100% оксидов, без CO<sub>2</sub>) Ca (до 40 мас.% CaO), Na (до 25 мас.% Na<sub>2</sub>O), содержат SiO<sub>2</sub> (до 5 мас. %), характеризуются высокой растворимостью серы (до 3 мас.% SO<sub>3</sub>) (рис.2).



**Рис.2.** Плавление метасоматизированного эклогита, жидкостная силикатно-карбонатная несмеси-мость. Слева - составы сосуществующих фаз: L - силикатный, Ka - карбонатный расплавы, Cpx – клинопироксен, Flog – флогопит, Cht - хромит. Справа – фотография образца в отраженных электронах

В этой же системе, при повышении температуры до 1250°C (P=3.8 ГПа) закалочный образец представлен несмесимыми щелочным силикатным, карбонатным и сульфидным расплавами, сосуществующими с флогопитом, Ca-клинопироксеном, хромитом и гранатом (табл.4, рис.3).

Таблица 4

Состав сосуществующих фаз при щелочно-карбонатном метасоматозе и плавлении эклогита. T=1250°C P=3.8 ГПа

	Cpx	Ga	m	Ka	Flog
SiO <sub>2</sub>	52.5	44.22	55.53	0.58	39.43
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.02	-	-	0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.11	24.07	21.33	0.34	14.93
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.71	-	-	0.14
FeO	1.32	3.18	0.66	3.95	1.5
MgO	17.87	23.47	2.18	4.64	23.46
CaO	18.76	6.03	0.63	35.77	0.1
Na <sub>2</sub> O	1.41	0.24	10.91	1.55	5.04
K <sub>2</sub> O	0.09	-	2.4	0.14	9.76
Сумма	100.4	101.94	93.64	46.97	94.74

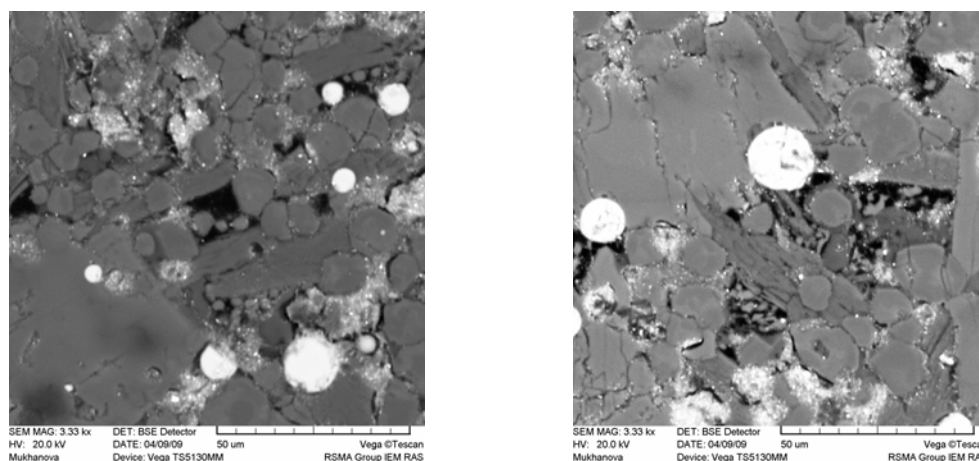


Рис.3. Микрофотографии образцов в отраженных электронах. T=1250°C P=3.8 ГПа

В ходе исследований было выявлено, что щелочно-карбонатный метасоматоз и плавление эклогитов приводит к формированию щелочных и карбонатных расплавов. Особенности состава расплавов и сосуществующих с ними ассоциаций минералов свидетельствуют об эффективности щелочно-карбонатных расплавов в метасоматическом преобразовании верхней мантии и важной роли этих процессов в мантийном магмообразовании, в том числе в формировании щелочных и карбонатитовых магм. Полученные результаты свидетельствуют об эффективном влиянии температуры на фазовые соотношения и межфазовые распределения компонентов в исследуемой системе.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ 09-05-01131 ОНЗ РАН 2009*

*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/magm-19.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/magm-19.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*