

**ТРУДЫ
ВСЕРОССИЙСКОГО
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
МИНЕРАЛОГИИ,
ПЕТРОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
(ВЕСЭМПГ-2015)**



Москва, 21–22 апреля 2015 г.

УДК 550.4.02

Взаимодействие базальтового расплава с перидотитом: влияние флюида на фазовые соотношения (по экспериментальным данным)

Н.С. Горбачев, А.В. Костюк, А.Н. Некрасов

Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Московская область

Аннотация. В H_2O и $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ содержащей системе в интервале $P = 1.0-2.5$ ГПа, $T = 1250-1300^\circ\text{C}$ экспериментально изучено взаимодействие базальтового расплава с перидотитом с использованием Pt-перидотитовых ампул. При взаимодействии и плавлении наблюдалась пироксенизация перидотита с замещением оливина ортопироксеном. В присутствии флюида магнезиальные расплавы формируются при более низких температурах – на 200°C и более, чем в «сухих» условиях. В системе перидотит-базальт объем выплавки определяется объемом базальтовой компоненты. Замещение оливина пироксенами можно объяснить высокой активностью SiO_2 и Al_2O_3 в базальтовых расплавах, при которых оливин становится нестабильным.

Ключевые слова: эксперимент, базальт, перидотит, расплав, флюид, взаимодействие.

Взаимодействие базальтовых расплавов с перидотитом играет важную роль в процессах магмообразования при частичном плавлении вещества мантии, мантийных плюмов, субдуцированной океанической коры и вышележащего мантийного клина. Существующие экспериментальные данные выполнены в основном методом совместной растворимости «the dissolution couple method» или методом сэндвича в «сухих», без добавления флюида, условиях. Было показано, что состав расплава влияет на растворимость перидотита в расплавах и состав реакционной зоны между расплавом и перидотитом с его пироксенизацией [Wang et al, 2013; Yaxley, 2000; Mallik et al, 2012]. Высокие T (от 1450 до 1700°C) при которых проводились эксперименты обусловлены высокими T солидуса «сухого» перидотита. Между тем эффективное влияние на T плавления и фазовые соотношения не только при плавлении силикатных пород верхней мантии, но и при взаимодействии базальтового расплава с перидотитом оказывают флюиды. Главные результаты такого влияния заключаются в существенном (на 200 и более $^\circ\text{C}$) снижении T формирования магнезиальных расплавов по сравнению с плавлением перидотитового источника и его пироксенизации [Горбачев, 2010].

В работе приводятся результаты экспериментального изучения взаимодействия базальтового расплава с перидотитом с H_2O и $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ флюидом в интервале $P = 1.0-2.5$ ГПа, $T = 1250-1300^\circ\text{C}$.

Эксперименты проводились в ИЭМ РАН на установке ЦП с использованием закалочной многоампульной методики с Pt-перидотитовой ампулами [Gorbachev, 1990]. Исследуемый образец состоял из специально приготовленной путем формовки и спекания в инертной атмосфере перидотитовой ампулы. Ампула плотно заполнялась тонким порошком исходного образца, состоящего из механической смеси базальтового стекла, синтетического сульфида Fe-Ni-Cu (Mss) состава, хромита и других аксессуарных минералов. Далее перидотитовая ампула помещалась в платиновую ампулу, которая герметически заваривалась. После закалки ампулу распиливали в продольном направлении, каждую из которых в специальной пресс-форме под давлением и нагреве запрессовывали в полистирол. Из полученной таблетки готовили полированные препараты, которые изучались и анализировались в ИЭМ РАН на электронном сканирующем микроскопе CamScan MV2300 с YAG детектором вторичных и отраженных электронов и энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором с полупроводниковым Si(Li) детектором Link INCA Energy. Исходным материалом для перидотитовой ампулы служили шпинелевый или гранатовый перидотит из ксенолитов кимберлитовой трубки Обнаженная [Уханов и др., 1988], толеитовый базальт состава среднего траппа (эталон СТ-1а). H_2O -флюид задавался водосодержащими стеклами или дистиллированной водой. Источником $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ флюида служил дигидрат щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Концентрация флюидного компонента – $5-7$ мас.%. Внутренняя ассоциация Ol-Orx-Sp-Pt-PtS-силикатный-

сульфидный расплавы контролировала летучесть серы и кислорода. Температуру измеряли Pt30Rh/Pt6/Rh термопарой, давление на твердофазовой аппаратуре при высоких температурах калибровали по кривой равновесия кварц-коэзит. Точность определения температуры и давления оценивается в $\pm 10^\circ\text{C}$ и ± 1 кбар [Литвин, 1991]. Длительность эксперимента составляла 6-8 часов.

Результаты экспериментов приведены на рис. 1-3 и в таблице 1. Экспериментальные образцы состояли из перидотитовой ампулы, заполненной силикатным стеклом, продуктом закалки расплава, образующегося при плавлении исходного базальта с четкой реакционной каймой между внутренней частью перидотитовой ампулы и силикатным стеклом в ампуле (рис. 1). Доля прореагировавшего с базальтовым расплавом перидотита не превышала 1/10 части толщины ампулы.

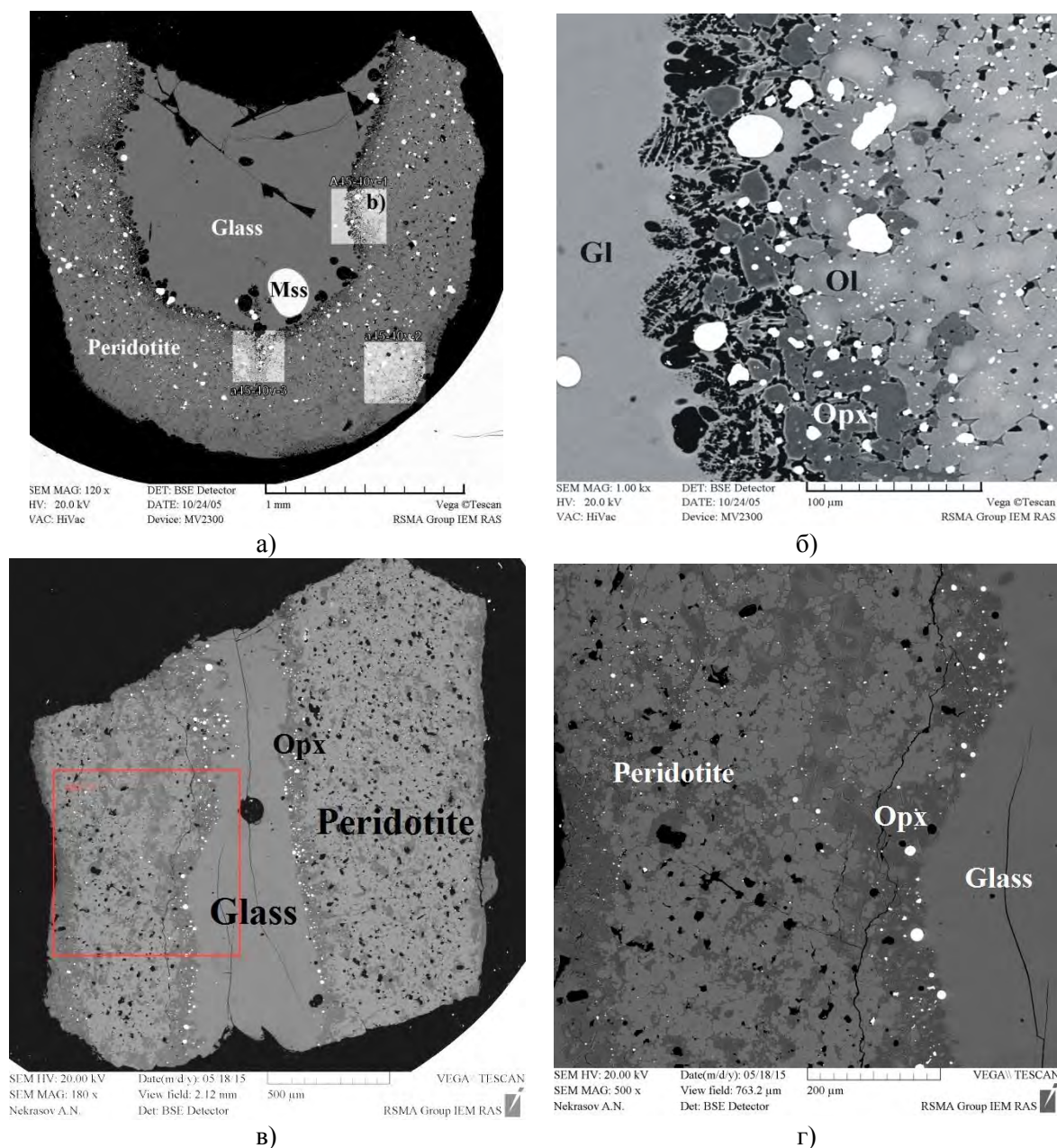


Рис. 1. BSE микрофотографии экспериментальных образцов. (а-б) $P = 1.0$ ГПа, $T = 1300^\circ\text{C}$, H_2O -флюид; (в-г) $P = 1.3$ ГПа, $T = 1250^\circ\text{C}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ -флюид.

Во всех экспериментах в поперечном разрезе закалочного образца наблюдалась зональность. От центральной ее части к перидотитовой ампуле: стекло Gl – реакционная и закалочная зона Sp_{rx} - Opx состава (внутренняя «базальтовая» часть образца) ортопироксенит-

оливинит с межзерновым силикатным стеклом (перидотитовая ампула образца). Содержание MgO в реакционных расплавах уменьшалось от 8-10 мас % при H₂O+CO₂ составе флюида до 12-14 мас %, при водном составе флюида, содержание FeO варьировало от 12 до 14 мас.%, магнезиальность возрастала от 0.52 до 0.55 (рис. 2).

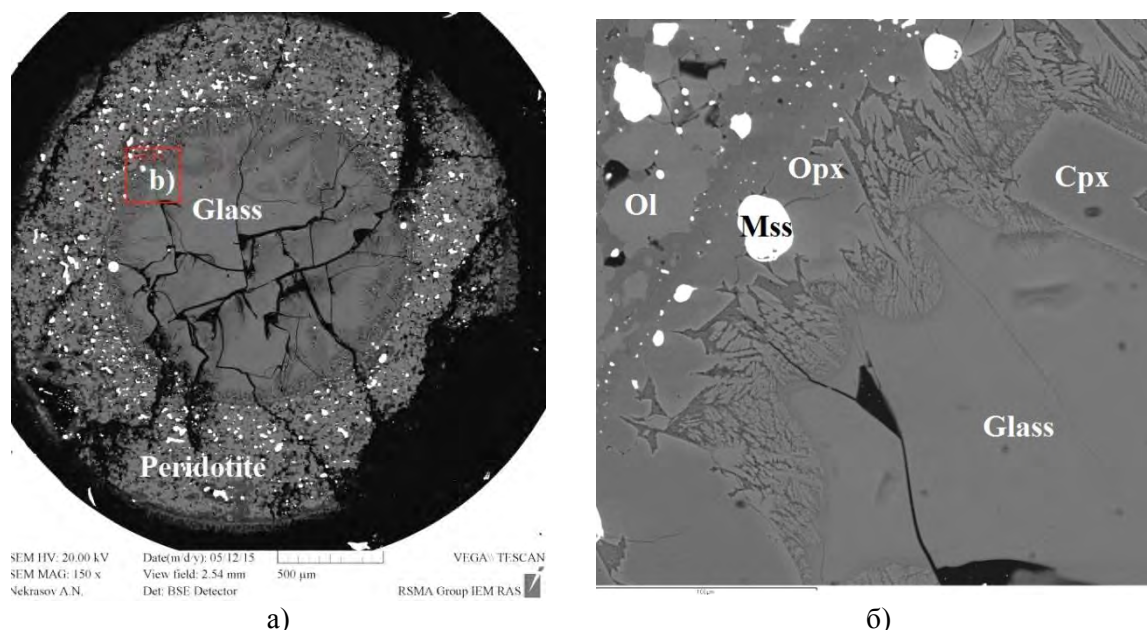


Рис. 2. BSE микрофотографии экспериментального образца.

(а) общий вид ампулы, (б) контакт силикатного стекла с перидотитовой ампулой.

T = 1250°C, P = 2.5 ГПа, H₂O+CO₂-флюид.

Таблица 1. Фазовые составы в системе перидотит-базальт-сульфид-летучий

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	Сумма
P = 1.0 ГПа, T = 1300°C, H₂O-флюид										
<i>L_{Sil}</i>	45.52	1.19	9.84	14.35	0.20	11.74	6.83	1.64	0.72	92.03
<i>Opx</i>	54.31	0.19	1.64	9.58	0.19	29.79	1.19	0.00	0.00	96.89
<i>Ol</i>	37.47	0.08	0.00	15.58	0.15	45.15	0.10	0.13	0.14	98.80
P = 1.3 ГПа, T = 1250°C, H₂O+CO₂-флюид										
<i>L_{Sil}</i>	46.45	1.85	12.60	9.25	0.26	8.48	10.13	2.29	0.12	91.45
<i>Opx</i>	50.40	0.97	8.58	10.49	0.22	21.98	5.00	0.42	0.05	98.31
<i>Ol</i>	37.22	0.00	0.22	14.55	0.00	47.31	0.01	0.14	0.00	99.45
T = 1250°C, P = 2.5 ГПа, H₂O+CO₂-флюид										
<i>L_{Sil}</i>	45.90	2.09	12.91	14.43	0.17	6.23	8.26	2.26	0.36	92.61
<i>Cpx</i>	49.13	0.76	10.09	10.53	0.40	14.44	12.32	1.32	0.00	98.99
<i>Opx</i>	49.89	0.00	3.93	11.09	0.00	29.08	1.42	0.22	0.12	95.75
<i>Ol</i>	38.24	0.00	0.40	16.01	0.27	45.53	0.08	0.33	0.05	100.91

Таким образом, главные результаты влияния флюида на взаимодействие базальтового расплава с перидотитом, независимо от состава флюида, заключаются в существенном (более чем на 200°C) снижении температуры формирования магнезиальных расплавы по сравнению с плавлением перидотитового источника в «сухих» условиях и пироксенизации перидотита. Так как H₂O в большей степени снижает T плавления силикатов, увеличивая тем самым степень плавления, то более магнезиальные расплавы образуются при водном составе флюида. Объем выплавки определяется объемом базальтовой компоненты в источнике.

Отсутствие оливина на ликвидусе флюидсодержащих магнезиальных базальтов и замещение его пироксенами можно объяснить высокой активностью SiO₂ и Al₂O₃ в базальтовых расплавах при которых оливин становится нестабильным. На рис. 3 приведены фазовые соотношения в системе SiO₂-MgO-CaO-Al₂O₃ в зависимости от активности SiO₂ и Al₂O₃ рассчитанной исходя из правил построения мультисистем [Жариков, 2005].

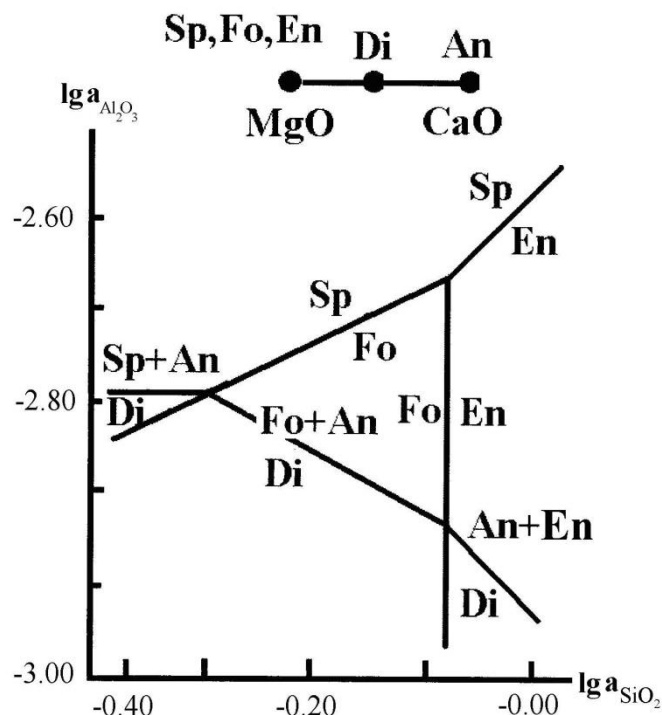


Рис. 3. Фазовые соотношения в системе $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ в зависимости от активности SiO_2 и Al_2O_3 .

Диаграмма рассчитана с использованием термодинамических данных [Robi et al., 1979] исходя из допущения, что отношения активностей чистых миналов в минералах переменного состава равны 1. Из диаграммы видна ограниченность поля стабильности оливина и критические значения активности SiO_2 и Al_2O_3 , при достижении которых, форстерит замещается пироксенами, шпинелью. Признаки безоливинового ликвидуса магнезиальных мантийных магм встречаются в различных геологических объектах (пикритах gd свиты Норильского района, [Горбачев, 2010] базальтах Гавайских вулканов [Sobolev, 2007]).

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №14-05-00752а.

Литература

- Горбачев Н.С. (2010) Экспериментальное изучение взаимодействия флюидсодержащих базальтовых расплавов с перидотитом: мантийно-коровое взаимодействие при трапповом магматизме Норильского района. *Петрология*. Т. 18. №. 4. С. 416-431.
- Жариков В.А. (2005) Основы физико-химической петрологии. Изд-во Московского университета.
- Литвин Ю.А. (1991) Физико-химические исследования плавления глубинного вещества Земли. М. Наука.
- Уханов А.В., Рябчиков И.Д., Харьков А.Д. (1988) Литосферная мантия Якутской кимберлитовой провинции. Москва. Изд-во «Наука».
- Gorbachev N.S. (1990) Fluid-magma interaction in sulfide-silicate systems. *Intern Geology Review*. V.32, N.8, P. 749-831
- Mallik A, Dasgupta R (2012) Reaction between MORB-eclogite derived melts and fertile peridotite and generation of ocean island basalts. *Earth Planet Sci Lett* 329–330:97–108
- Robi R.A., B.S. Hemingway, J.R. Fisher (1979) Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar (10^5 Pascals) pressure and at higher temperatures. *U.S. Geol. Survey Bulletin*. 142.
- Sobolev A.V., Hofmann A.W., Kuzmin D.V. et al. (2007). The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts // *Science*. V. 316. № 5823. P. 412-417.

- Wang C., Y. Liang, W. Xu, N. Dygert (2013) Effect of melt composition on basalt and peridotite interaction: laboratory dissolution experiments with applications to mineral compositional variations in mantle xenoliths from the North China Craton. *Contrib Mineral Petrol* 166:1469–1488. DOI 10.1007/s00410-013-0938-6
- Yaxley G.M. (2000) Experimental study of the phase and melting relations of homogeneous basalt + peridotite mixtures and implications for the petrogenesis of flood basalts. *Contrib Mineral Petrol*. 139: 326-338.

Interaction of basaltic melt with peridotite: effect of fluid on phase relations (for experimental datas)

N.S. Gorbachev, A.V. Kostyuk, A.N. Nekrasov

Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka Moscow district

Abstract. Interaction basalt melt-peridotite in the range $P = 1.0\text{-}2.5$ GPa, $T=1250\text{-}1300^\circ\text{C}$ with H_2O and $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ fluid and with use Pt-peridotite ampoules is experimentally studied. At interaction pyroxenization of peridotite with replacement of Ol to Opx was observed. The volume of melts is defined by volume basalt components. In the presence of fluid magnesian melts are formed at lower temperatures - on 200eC and more, than in "dry" conditions. Ol-Opx replacement it is possible to explain by high activity SiO_2 and Al_2O_3 in basalt melt at which Ol becomes astable.

Keywords: experiment, high pressure, basalt melt, peridotite, interaction, fluid.

Сведения об авторах

Горбачев Николай Степанович, д.г.-м.н., главный научный сотрудник; Институт экспериментальной минералогии РАН; Московская обл, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 4; т.8(496)5225880 (p); gog@iem.ac.ru

Костюк Анастасия Васильевна, к.г.-м.н., научный сотрудник; Институт экспериментальной минералогии РАН; Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 4; т.8(496)5225880 (p); nastya@iem.ac.ru

Некрасов Алексей Николаевич, научный сотрудник; Институт экспериментальной минералогии РАН; Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 4; т.8(496)5225445 (p); alex@iem.ac.ru