

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Отделение наук о Земле

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского
(ГЕОХИ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экспериментальной минералогии им. Д.С.Коржинского
(ИЭМ РАН)

Российское минералогическое общество

ТРУДЫ
ВСЕРОССИЙСКОГО
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ
(ВЕСЭМПГ-2020)



ГЕОХИ

Москва

УДК 550.4.02

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАНТИЙНО-КОРОВОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ: ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ БАЗАЛЬТ-
ПЕРИДОТИТ-Н₂O ПРИ ПАРАМЕТРАХ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ**

Костюк А.В., Горбачев Н.С., Некрасов А.Н., Горбачев П.Н., Султанов Д.М.

*Институт экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН, Черноголовка,
Московская область (nasya@iem.ac.ru, gor@iem.ac.ru)*

**EXPERIMENTAL MODELING OF THE MANTINE-CRUST INTERACTION: PHASE
RELATIONS IN THE BASALT-PERIDOTITE-H₂O SYSTEM AT UPPER MANTLE
CONDITIONS**

Kostyuk A.V., Gorbachev N.S., Nekrasov A.N., Gorbachev P.N., Soultanov D.M.

*D.S.Korzhinsky Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka Moscow district
(nasya@iem.ac.ru, gor@iem.ac.ru)*

Abstract. The peridotite-basalt-H₂O system was experimentally studied under conditions of high-temperature subduction (at $T = 1000\text{--}1150^\circ\text{C}$ and $P = 3.7$ GPa) to evaluate the composition of the basic and ultrabasite components of the subducted oceanic crust. After the experiment, the structure of the initial sample, represented by basalt, reaction, and peridotite zones, was preserved. Features of texture and phase composition indicate partial melting of eclogitized basalt with relics of zonal Cpx in restite, reaction Bt and K-Amp, and a silicate melt of trachyandesite composition. The contact area has a complex structure. Granatite is formed. Pyroxenite mineralogical zoning of the reaction zone from monomineral (Cpx) to bi-mineral websterite (Cpx + Opx) is observed. According to their petrochemical characteristics, the experimental melts are close to the Archean rocks of the TTG series and acid lavas - adakites of subduction zones.

Keywords: peridotite, basalt, fluid, mantle, experiment

Введение. Субдукция океанической коры является одним из важнейших механизмов обмена веществом между корой и мантией. В ходе субдукции происходит эклогитизация базальтов и формирование в мантии обогащенных летучими резервуаров с ее протолитами (Taylor, Neal, 1989). Принято считать, что офиолитовые комплексы представляют собой фрагменты древней океанической коры, поднятые на поверхность, включающие в верхней части разреза ассоциацию базитовых пород (габбро, пиллоу-базальты), а в нижней части – ассоциацию ультрабазитов (лерцолиты, гарцбургиты, дуниты) (Dilek, Furnes, 2011; Kusky, Zhai, 2012). Фазовые соотношения в океанической коре при погружении определяются реакциями, протекающими в базальтовой и перидотитовой частях слэба, а также при их взаимодействии в присутствии летучих. Если экспериментально базальтовые и перидотитовые системы достаточно хорошо изучены (Yaxley, 2000; Tumiati et. al., 2013; Mallik, Dasgupta, 2012; Горбачев и др., 2019), то системы базальт–перидотит–флюид изучены в меньшей степени. В связи с этим, для оценки состава базитовой и ультрабазитовой компонент субдуцированной океанической коры для условий высокотемпературной субдукции экспериментально изучена система базальт–перидотит–Н₂O при $T=1000\text{--}1150^\circ\text{C}$ и $P=3.7$ ГПа.

Методика. Эксперименты проводились в ИЭМ РАН на аппаратуре типа НЛ с использованием Au ампул. Исходным материалом служили тонкие порошки: 1) эталонного образца толеитового базальта СТ-1, химического аналога среднего Сибирского траппа (коллекция А. Альмухамедова) состава (в мас.%): SiO₂– 50,02, TiO₂– 1,85, Al₂O₃– 14,51, FeO – 14,03, MnO – 0,20, MgO – 5,85, CaO – 10,40, Na₂O – 2,50, K₂O – 0,72; 2) перидотита из ксенолита кимберлитовой трубки Обнаженная состава: SiO₂– 42,84, TiO₂– 0,04, Al₂O₃– 1,74, FeO – 7,19, MnO – 0,13, MgO – 40,52, CaO – 3,39, Na₂O – 0,12, K₂O – 0,03, Cr₂O₃ – 0,56. Источником флюида (20 мас.% по отношению к силикату) служил дистиллят Н₂O. Au ампулу размером 30x3x0.2 мм заполняли исходным материалом в последовательности: Н₂O → перидотит → базальт, после чего ампулу заваривали и взвешивали. Снаряженную Au ампулу помещали в наружную Pt ампулу большего диаметра, в которую добавляли навеску наполнителя для заполнения пустот, после чего ампулу заваривали и помещали в специально разработанную ячейку аппарата НЛ-40 для проведения эксперимента. Температура измерялась Pt30Rh/Pt6Rh термопарой, давление калибровалось по кривой равновесия кварц–коэсит. Точность определения температуры и давления в опытах оценивается в $\pm 5^\circ\text{C}$ и ± 1 кбар (Литвин,

1991). Длительность эксперимента составляла 4 часа при 1000°C, а затем еще 4 часа при 1150°C. Полированные препараты закалочных образцов анализировались на электронном сканирующем микроскопе с детектором вторичных и отраженных электронов и энерго-дисперсионным спектрометром в ИЭМ РАН.

Результаты. После опыта наблюдается зональное строение закаленного образца, которое хорошо прослеживается на рисунке 1. Участками 1-4 отмечены следующие зоны: (1) базальтовая, (2) и (3) переходная, (4) перидотитовая, а на Рис. 2 микрофотографии этих участков при большем увеличении.

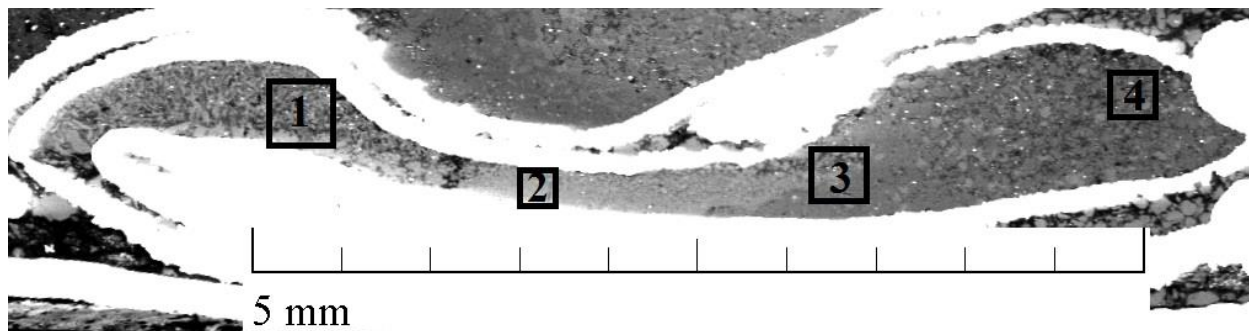


Рис. 1. Микрофотография продольного разреза образца в системе базальт-перидотит-Н₂О, Т=1000-1150°C, Р=3.7 ГПа. (1) базальтовая, (2) и (3) переходная, (4) перидотитовая зоны.

Базальтовая часть исходного образца (рис. 2.1.) характеризует частичное плавление эклогита, имеет массивную текстуру, представлена реликтами зонального Срх в рестите, реакционными биотитом и К-содержащим амфиболом, межзерновым водосодержащим силикатным расплавом. Клинопироксен ($X_{Mg} = 0,6$) представлен в виде ксеноморфных таблитчатых выделений размером до 100 мкм, местами претерпевших дезинтеграцию. Удлиненной формы реакционные выделения К-содержащего амфибола и игольчатой формы флогопит, образуют микронного размера кристаллами апатита, сцементированы силикатным стеклом, местами пузырчатым, трахиандезитового состава с отношением $Na_2O/K_2O = 2.3$, $Na_2O+K_2O \sim 9-10$ мас.% (рис. 2.1, табл. 1).

Таблица 1. Представительные составы сосуществующих фаз в системе базальт-перидотит-Н₂О

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
Базальтовая зона (рис. 2.1)										
Срх	43.92	3.99	13.29	8.43	0.36	9.19	20.29	1.22	0.00	100.89
Bt	41.05	2.95	16.88	15.71	0.08	12.53	0.53	2.53	6.79	99.62
К-Амп	43.02	3.15	13.33	10.48	0.24	12.42	13.03	1.64	1.44	98.96
L _{sil}	55.79	0.24	19.49	0.23	0.13	0.00	3.20	5.92	2.71	88.14
Переходная зона (рис. 2.2)										
Срх-1	52.08	0.52	4.1	7.75	0.02	13.76	20.76	0.69	0.07	99.75
Срх-2	51.69	0.81	4.46	6.99	0.09	13.74	20.76	1.16	0.00	99.70
Grt	40.15	0.84	21.29	15.67	0.53	11.1	9.97	0.16	0.14	99.84
Переходная зона (рис. 2.3)										
Ol	40.38	0.00	0.08	10.79	0.02	47.08	0.07	0.19	0.09	98.70
Opх	54.35	0.30	2.42	12.71	0.21	28.17	0.88	0.42	0.00	99.46
Срх-1	50.29	1.28	2.09	13.90	0.23	13.22	18.80	0.39	0.00	100.2
Срх-2	52.20	0.65	2.71	9.54	0.01	16.31	17.51	0.90	0.28	100.11
Grt	39.11	0.86	21.34	16.96	0.2	10.81	10.22	0.23	0.11	99.84
Phl	42.91	1.00	16.57	5.01	0.00	20.07	0.71	4.30	7.55	98.12
Перидотитовая зона (рис. 2.4)										
Ol	42.49	0.00	0.16	7.90	0.00	49.32	0.04	0.02	0.07	99.99
Ol-2	41.24	0.00	0.46	8.89	0.00	48.11	0.93	0.04	0.02	99.67
Срх	53.43	0.00	3.41	2.69	0.00	16.15	22.08	0.93	0.03	98.72

По направлению к контакту с перидотитом в результате реакции расплава с клинопироксеном, биотитом и калиевым амфиболом происходит массовая кристаллизация граната. Закаленный

образец представлен гранатитом (рис. 2.2), состоящим из густой «россыпи» многочисленных микровыделений граната (до 5 мкм), слагающих матрицу закаленного образца, с включениями реликтов зонального, ксеноморфной формы клинопироксена, размером до 50 мкм. Сrx зональны, внутренняя часть зерна (Сrx-1) более светлая, имеет более высокие содержания FeO и SiO₂, чем темная кайма (Сrx-2) с повышенным содержанием TiO₂ и Na₂O. Гранаты альмандин-пироп-гроссулярового состава (Ca_{0,8}Mg_{1,2}Fe₁Al_{1,9}Ti_{0,1}Si₃O₁₂) (табл. 1), представлены россыпью мелких идиоморфных кристаллов размером от 2 до 10 мкм. Расплав не обнаружен.

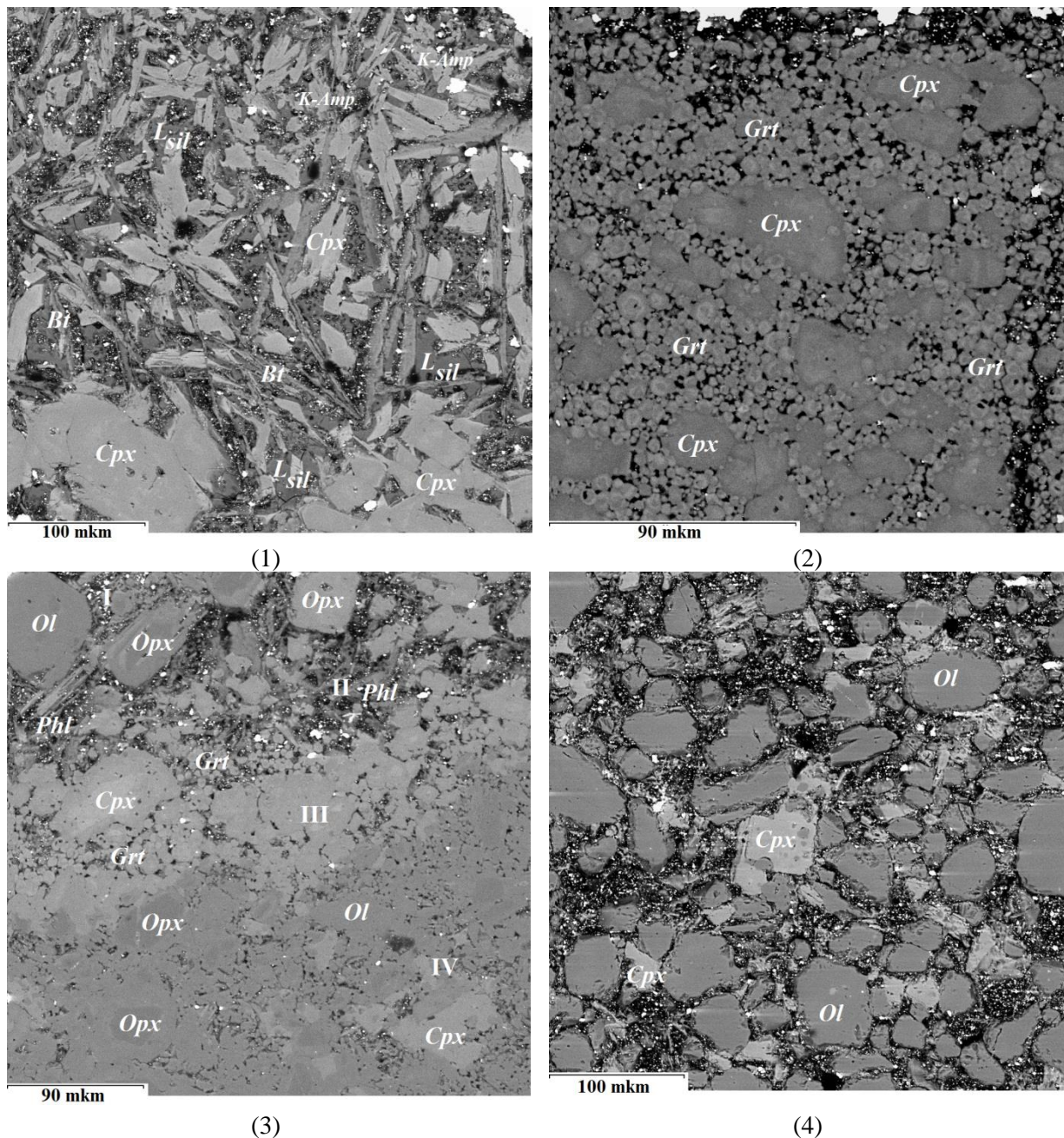


Рис. 2. Микрофотографии отдельных увеличенных участков 1-4 на рис. 1 в системе базальт-перидотит-H₂O, T=1000-1150°C, P=3.7 ГПа.

Переходная область (3) сложного строения, характеризует переход от базальтовой к перидотитовой частям образца. «Инъекции» в перидотит расплава, содержат реликты клинопироксена, микрокристаллы граната и флогопита, сопровождаются формированием пироксенитовой минералогической зональности переходной зоны от мономинеральной Сrx зоны, переходящей в двуминеральную вебстеритовую Сrx+Орх зону (рис. 2.3, таблица 1). Межзерновой силикатный расплав в этой части образца не наблюдается.

Закаленный образец ультраосновной, *перидотитовой* зоны представлен верлитом с ассоциацией Ol + Сrx (рис. 2.4, таблица 1). Оливин в образце встречается в виде отдельных крупных

до 80 мкм зерен округлой формы, а также в виде включений в клинопироксене (Ol-2). Оливин состава $Mg_{2,2}Fe_{0,1}SiO_4$ относится к форстериту. Клинопироксены состава $Ca_{0,8}Mg_{0,8}Fe_{0,7}Si_2O_6$ относятся к диопсидам. Межзерновой силикатный расплав отсутствует, из-за чего образец имеет «галечную» текстуру, состоящую из россыпи отдельных зерен Ol и Срх.

Обсуждение результатов. Особенности текстуры и фазового состава свидетельствуют о частичном плавлении эцлогитизированного базальта с реликтами зонального Срх в рестите, реакционного Vt и K-Amr и силикатного расплава трахиандезитового состава в базальтовой зоне. Ближе к контакту базальта с перидотитом, образуется гранатит, представленный россыпью гранатов и Срх. Переходная зона сложного строения - реликты Срх, микрокристаллы Grt и Phl, сопровождаются формированием пироксенитовой минералогической зональности от мономинеральной Срх зоны, в дву-минеральную вебстеритовую Срх+Орх зону. Перидотитовая часть представлена верлитом (Ol + Срх). Экспериментальные расплавы по петрохимическим характеристикам близки к архейским породам ТТГ серии и кислым лавам – адакитам зон субдукции (Defant, Drummond, 1990, Castillio, 2006), что подтверждает существующие представления об их формировании при более высоких температурах, чем температуры кайнозойских океанических плит.

Работа выполнена в ИЭМ РАН по теме НИР АААА-А18-118020590140.

Литература

- Горбачев Н.С., Костюк А.В., Шаповалов Ю.Б., Горбачев П.Н., Некрасов А.Н., Султанов Д.М. Критические явления и гранатизация водосодержащего эцлогита при $P = 3,7-4,0$ ГПА, $T = 1000-1300^\circ C$ // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489, № 4. С. 393–398.
- Литвин Ю.А. Физико-химические исследования плавления глубинного вещества Земли. М.: Наука, 1991. 312 с.
- Castillio P.R.. An overview of adakite petrogenesis // *Chine Science Buill.* 2006. V. 51. № 3. P. 257–268.
- Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of Some Modern Arc Magmas by Melting of Young Subducted Lithosphere // *Nature.* 1990. V. 347. P. 662–665.
- Dilek Y., Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere // *Geological Society of America Bulletin.* 2011. 123(3-4):387-411 DOI: 10.1130/B30446.1
- Kusky T.M., Zhai M. The neoproterozoic ophiolite in the North China craton: Early precambrian plate tectonics and scientific debate // *Journal of Earth Science.* 2012. V. 23, N. 3, P. 277–284 DOI: 10.1007/s12583-012-0253-6
- Mallik A., Dasgupta R. Reaction between MORB-eclogite derived melts and fertile peridotite and generation of ocean island basalts // *Earth and Planetary Science Letters.* 2012. V. 329–330 P. 97–108.
- Taylor L.A., Neal C.R. Eclogites with oceanic crustal and mantle signatures from the Bellsbank kimberlite, South Africa, part 1: mineralogy, petrography, and whole rock chemistry // *Journal of Geology.* 1989. V. 97 P. 551–567.
- Tumiati S., Fumagalli P., Tiraboschi C., Poli S. An experimental study on COH-bearing peridotite up to 3.2 GPa and implications for crust-mantle recycling // *Journal of Petrology.* 2013. V. 54. P. 453–479.
- Yaxley G.M. Experimental study of the phase and melting relations of homogeneous basalt plus peridotite mixtures and implications for the petrogenesis of flood basalts // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. V. 139. P. 326–338.