## ТРУДЫ

ВСЕРОССИЙСКОГО ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ , ПЕТРОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

# (ВЕСЭМПГ-2017)



Москва, 18–19 апреля 2017 г.

УДК 550.4.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ **МНОГОАМПУЛЬНОЙ** МЕТОЛИКИ С ПЕРИЛОТИТОВОЙ АМПУЛОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАВЛЕНИЯ ФЛЮИДСОДЕРЖАЩЕЙ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПРИ **ДОКРИТИЧЕСКИХ** И НАДКРИТИЧЕСКИХ Р-Т. Горбачев Н.С., Костюк А.В., Некрасов А.Н.

Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Московская область (gor@iem.ac.ru, nastya@iem.ac.ru, alex@iem.ac.ru)

#### EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF MELTING OF FLUID-CONTAINING UPPER MANTLE AT SUBCRITICAL AND SUPERCRITICAL *P-T* CONDITIONS WITH THE USE OF MULTI-AMPOULE METHODOLOGY WITH PERIDOTITE AMPOULE. Gorbachev N.S., Kostyuk A.V., Nekrasov A.N.

Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Moscow district. (gor@iem.ac.ru, nastya@iem.ac.ru, alex@iem.ac.ru)

**Abstract.** The existence of critical relationships between silicate melts and aqueous fluid at high P-T is a feature of fluid-containing silicate systems. Platinum and peridotite ampoules, basalt and fluid are proposed to be used to fix the transition from subcritical to supercritical state. Features of the texture and phase composition of quenching samples are an indicator of such a transition. At subcritical P-T intergrain silicate glass cemented peridotite ampoule and fills its internal part. The absence of intergranular melt in supercritical P-T leads to destruction of peridotite ampoule consisting of relict minerals, quenching products of supercritical fluid melt and reaction phases formed during the interaction of supercritical fluid melt with restite minerals. The complete disintegration of the quench sample, wholly consisting of quenching products of the supercritical fluid melt, is observed at P-T at the second critical endpoint.

Keywords: experiment, melting relations, melts, mantle, fluid, critical relations

Особенностью флюид-содержащих силикатных систем является существование критических соотношений между силикатными расплавами и водным флюидом, обусловленных высокой их взаимной растворимостью. При сверхкритических давлениях (Рк) и температурах (Тк) наблюдается полная смесимость между расплавом и флюидом, а во второй конечной критической точке (2РкТк) при равенстве Р-Т солидуса силиката, Рк и Тк 2-х фазного равновесия расплавфлюид – полная смесимость между ликвидусными фазами, расплавом и флюидом, что затрудняет определение солидуса. В большинстве экспериментальных работах использовались «дистанционные» методы исследования, без анализа вещества, в которых переход из докритического в надкритическое состояние фиксировался оптически в «гидротермальных алмазных наковальнях (Shen, Keppler, 1997), с помощью высокотемпературной рентгенрадиографии (Mibe et al., 2007). Возможности первого метода ограничены модельными силикатными системами с низкими Т солидуса, такими как Ab, Ne, Jd, дацит, гаплогранит (Bureau, Keppler, 1999). Исключение составляют работы по изучению критических соотношений в системе SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>-MgO-H<sub>2</sub>O, эклогит-H<sub>2</sub>O, перидотит-базальт-H<sub>2</sub>O с использованием закалочного метода, в которых анализировался состав вещества, до- и надкритического флюида, силикатных фаз (Kennedy et al., 1962, Stalder et al., 2001, Kessel et al., 2005, Горбачев, 2000).

Для фиксации перехода системы перидотит-флюид из докритического в надкритическое состояние нами предлагается использовать экспериментальный ансамбль, состоящий из платиновой и перидотитовой ампул и исходной шихты. Перидотитовая ампула, приготовленная путем формовки и спекания перидотита, заполняется исходной шихтой, состоящей из базальта, источника флюида, акцессорных минералов, помещается в Pt ампулу, которая герметически заваривается. Снаряженную перидотитовую ампулу помещали в Pt ампулу, которая герметически заваривалась. После закалки ампулу распиливали, в специальной пресс-форме под давлением и нагреве запрессовывали в полистирол. Из полученной таблетки приготовляли полированные препараты, которые изучались и анализировались на микрозонде.

Докритические *P-Т условия*. При частичном плавлении перидотита сохранялось исходное строение образца: перидотитовая ампула, заполнена силикатным стеклом, продуктом закалки базальтового расплава. Закалочные образцы характеризуются массивной структурой,

### Труды ВЕСЭМПГ-2017

обусловленной тем, что при частичном плавлении межзерновое силикатное стекло - закалочный силикатный расплав, цементирует перидотитовую ампулу и заполняет ее внутреннюю часть. В условиях эксперимента фазовый состав представлен равновесной ассоциацией рестита перидотита и расплавом. Образование закалочных фаз, несмесимых расплавов (сульфидных, карбонатных) не изменяют массивную структуру образца. В системе перидотит (ампула) – базальт – сульфид– $H_2O+CO_2$  докритические условия сохраняются до T=1450°C, P= 4 ГПа, а в экспериментах с  $H_2O$  флюидом до T=1400°C, P=2.5 ГПа (Горбачев и др., 2008). Структуры и фазовые соотношения закалочных образцов приведены на Рис. 1.



**Рис. 1.** Система перидотит-базальт-H<sub>2</sub>O, T=1400°C, P=2.5 ГПа. Микрофотография закалочных образцов во вторичных электронах при докритических P-T: а) – перидотитовая ампула, общий вид: 1- перидотитовая ампула; 2-реакционная зона; 3-силикатное стекло. б) текстура и фазовый состав перидотитовой ампулы.

Надкритические Р-Т условия. При критических Р-Т равновесия расплав-флюид закалочное стекло не образуется. Отсутствие межзернового расплава приводит к деструкции перидотитовой ампулы, состоящей из изолированных ликвидусных минералов – оливина, орто- и клинопироксенов. Внутренняя ее часть состоит из продуктов закалки надкритического флюидорасплава в виде рыхлой, несвязанной смеси микролитов силикатов, сульфидных и алюмосиликатных микроглобулей, реакционных фаз, образующихся при взаимодействии надкритического флюидорасплава с минералами рестита перидотита. На Рис. 2 приведены микрофотографии экспериментального образца, характеризующих структуру и фазовый состав в системе перидотит (ампула) –базальт–сульфид–щелочно-водно-карбонатный флюид при 1400°С, 4 ГПа (Горбачев и др., 2008). С взаимодействием надкритического флюидорасплава с минералами реакционные рестита перидотита связаны соотношения Оl-Орх-СаСрх-КСрх-карбонат, образование флогопита, с закалкой надкритического флюидорасплава образование Al-Si глобуль.

Отсутствие признаков частичного плавления, аномальные фазовый состав и структура образцов, растворение реликтовых минералов перидотита, образование реакционных кайм, закалочных фаз свидетельствуют о плавлении перидотита в надкритических условиях, а реакционные соотношения – о высокой реакционной способности надкритических флюидорасплавов.

В системе перидотит (ампула)-базальт-сульфид-H<sub>2</sub>O при T=1400°C, Р=4 ГПа наблюдалась полная дезинтеграция закалочных образцов, состоящих из не связанной смеси микролитов силикатных минералов и их сростков игольчатой, дендритовой формы, с глобулями силикатного

стекла, сульфидов (Горбачев, 2000). Дезинтеграция образцов, отсутствие признаков частичного плавления – межзернового расплава, ликвидусной ассоциации свидетельствуют о критических соотношениях в системе при Р и Т близких к конечной критической точке (Рис. 3).





в)



**Рис. 2.** Система перидотит-базальт-(K,Na)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, T=1400°C, P=4.0 ГПа Микрофотографии закалочного образца в отраженных электронах (Горбачев и др., 2008)

a) продольный разрез ампулы: 1 – перидотитовая ампула; 2 – реакционная зона на контакте перидотитбазальт; 3 – внутренняя, базальтовая часть; б) микролиты закалочного надкритического флюидорасплава базальтовой части; в) реакционные соотношения Ol-Opx-CaCpx-КCpx-карбонат-флогопит при взаимодействии надкритического флюидорасплава с минералами рестита перидотита; г) фазовые соотношения рис. 2в, отмеченные квадратом.

Таким образом, предложенная методика может служить тестом перехода флюидсодержащих перидотитовых систем из докритического в надкритическое состояние и определять P-T перехода. Кроме того, предложенная методика позволяет изучать особенности фазового состава в ходе частичного плавления флюидсодержащего перидотита при до- и надкритических P-T, особенности взаимодействия надкритических флюидов с минералами перидотита.



Рис. 3. Система перидотит-базальт-H<sub>2</sub>O при Т=1400°С, Р=4.0 ГПа, близких к конечной (Горбачев, 2000). критической точке закалочного Микрофотографии образца в отраженных электронах. Форма выделений закалочного надкритического материала флюидорасплава.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00930а.

#### Литература

- Горбачев Н.С. Надкритическое состояние в водосодержащей мантии (по данным экспериментального изучения флюид содержащего перидотита при P=40 кбар, T=1400°C) //ДАН. 2000. 371.3. С. 362-365.
- Горбачев Н.С., Костюк А.В., Некрсов А.Н. Частичное плавление флюидсодержащего перидотита при докритических и надкритических Р-Т условиях: текстурные и минералогические различия. Вестник ОНЗ РАН. №1, 2008. URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h dgggms/1-2008/informbul-1 2008/magm-8.pdf
- H. Bureau, H. Keppler. Complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids in the upper mantle: experimental evidence and geochemical implications // Earth Planet Sci. Lett. 1999. 165. p.187-196.
- Kennedy G.C., Wasserburg G.J., Heard H.C., Newton R.C. The upper three-phase region in the system SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O // Am J Sci. 1962. 260(7):501–521.
- Mibe K., Kanzaki M., Kawamoto T., Matsukage K. N., Fei Y. and Ono S. Second critical endpoint in the peridotite–H<sub>2</sub>O system // J. Geophys. Res. 2007. 112, B03201.
- R. Kessel, P. Ulmer, T. Pettke, M.W. Schmidt, A.B. Thompson. The water-basalt system at 4 to 6 GPa: Phase relations and second critical endpoint in a K-free eclogite at 700 to 1400°C // Earth and Planetary Science Letters, 2005. V. 237. P. 873-892.
- Shen A.H., Keppler H. Direct observation of complete miscibility in the albite-H<sub>2</sub>O system // Nature. 1997. 386(6618):710–712.
- Stalder R., Ulmer P., Thompson A.B., Gunther D. High pressure fluids in the system MgO–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O under upper mantle conditions // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. V.140. P. 607–618.