МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Д.С. КОРЖИНСКОГО РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

XIII ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ»

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

27-28 октября 2022 г.
Черноголовка

УДК 550.4.02

XIII ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ»: Сборник материалов, ИЭМ РАН, Черноголовка, 2022 г., 101с.

В сборнике представлены материалы XIII Всероссийской школы молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия». Школа организована на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук (г.Черноголовка, 27-28 октября 2022 г.). В сборнике обсуждаются общие и частные проблемы экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Уделяется внимание условиям зарождения и эволюции магм, минеральным равновесиям в силикатных и рудных системах, исследованиям гидротермальных и флюидных систем, синтезу макро- и нанокристаллов, технической петрологии и материаловедению.

Все материалы представлены в авторской редакции

ISBN 978-5-6041841-8-9

ISBN 978-5-6041841-8-9

9 785604 184189

©ИЭМ РАН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ФЛОГОПИТА В СИСТЕМЕ ГРОССУЛЯР-КНОРРИНГИТ-ПИРОП-ЭНСТАТИТ В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА H_2O-KCl ПРИ 3 ГПа И 900°С

***Лиманов Е.В.*[1], *Бучинский В. В.*[2], *Бутвина В.Г.*[1], *Сафонов О.Г.*[1], *Варламов Д.А.*[1]**
[1]***ИЭМ РАН (г. Черноголовка),*** [2]***МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва),*** *limanov.ev@iem.ac.ru*

Модальный мантийный метасоматоз – процесс взаимодействия пород мантии с флюидами и расплавами различного состава и происхождения, в ходе которого происходит как образование новых минеральных ассоциаций, так и изменение составов первичных минералов. Ведущими факторами этого процесса рассматриваются активности H_2O и CO_2 [1], а также активности Na и K, о роли которых говорят многочисленные минеральные и геохимические данные. Во флюиде Na и K находятся в виде различных солей, таких как карбонаты или хлориды. Главным индикатором активности K во флюидах, производящих метасоматоз в мантийных перидотитах, является флогопит, образование которого осуществляется в ходе реакции [2]:

$$5MgSiO_3 + CaMg_2Al_2Si_3O_{12} + [K_2O + 2H_2O] = K_2Mg_6Al_2Si_6O_{20}(OH)_4 + CaMgSi_2O_6, \quad (1)$$

или 5En + Grt + [K_2O + 2H_2O] = Phl +Di. Данная реакция является комбинацией краевых реакций

$$1/2Prp + 3/2En + [1/2K_2O + H_2O] = Phl \quad (2)$$

$$1/2Grs + 9/2En + [1/2K_2O + H_2O] = Phl + 3/2Di \quad (3)$$

Наличие в гранате кноррингитового компонента позволяет ввести ещё одну реакцию:

$$Prp + 1/2Knr + [1/2K_2O + H_2O] = Cr\text{-}Phl + 5/2En, \quad (4)$$

где Cr-Phl является гипотетическим компонентом Cr-содержащего флогопита $KMg_2CrAl_2Si_2O_{10}(OH)_2$, в котором Cr расположен в октаэдрической позиции структуры.

Экспериментальные данные по изучению образования флогопита при участии водно-солевых флюидов немногочисленны и не позволяют выявить закономерности вариаций состава сосуществующих минералов в зависимости от концентрации (активности) щелочных компонентов флюида. Для решения этой задачи нами были ранее исследованы системы пироп-энстатит, гроссуляр-пироп-энстатит и кноррингит-пироп-энстатит в присутствии флюида H_2O-KCl [3]. Процесс флогопитизации в данных системах сопровождался разложением граната и ортопироксена, а также изменением компонентного состава сосуществующих минералов. Среди прочего было установлено, что при небольших концентрациях KCl во флюиде кальциевость и хромистость граната возрастали. Высоко калиевые же рассолы, наоборот, приводили к снижению обеих компонент вплоть до полного разложения граната. Изначальное увеличение гроссуляровой и кноррингитовой составляющих граната при малых степенях метасоматоза может объясняться преобладаем реакции (2) над реакциями (3) и (4). Эти результаты побуждают к исследованию системы, включающей в себя как гроссуляровый, так и кноррингитовый компоненты граната. Целью работы является экспериментальное исследование системы гроссуляр-кноррингит-пироп-энстатит в присутствии флюида H_2O-KCl при 3 ГПа и 900°С с целью выявление закономерностей совместных вариаций содержаний Ca и Cr в гранате в ходе реакций образования флогопита в зависимости от концентрации калиевого компонента во флюиде.

В качестве стартовых составов использовались гелевые смеси пиропа, гроссуляра, кноррингита, в соотношении 70:10:20 соответственно, синтетического брусита и кварца в расчёте на $MgSiO_3$ + H_2O. В них добавлялся KCl в соответствии с необходимым во флюиде X_{KCl}. Эксперимент проводился с помощью аппарата высокого давления “наковальня с лункой” НЛ-40 при 3 ГПа и 900°С в течение 6 часов. Химический состав продуктов опытов (Таблица 1) определялся посредством рентгеноспектрального микроанализа с применением растрового электронного микроскопа Tescan Vega-II XMU (режим EDS, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 400 пА), оснащенного аналитической системой INCA Energy 450.

Таблица 1. Продукты опытов.

X_{KCl}	Фазовый состав продуктов опыта
0	Grt + Opx + L
0.05	Grt + Opx + L
0.1	Grt + Opx + Cpx + Phl + L
0.2	Phl + Opx + L
0.4	Phl + Opx + L

В продуктах опыта с флюидом, несодержащим KCl, стабильна ассоциация граната и ортопироксена (рис. 1 а). При X_{KCl} = 0.05 флогопит не образуется, а K концентрируется в небольших порциях расплава, который присутствуют в продуктах всех экспериментов (рис. 1 б). Флогопит обнаружен в продуктах опыта при X_{KCl} = 0.1. В интервале X_{KCl} = 0–0.1 кальциевость граната незначительно возрастает, подобно тому, как она возрастала в системе гроссуляр-пироп-энстатит [3]. Его состав смещается в сторону составов граната, характерных для верлитов (рис. 2 а). С появлением флогопита (рис. 1 в), а также при дальнейшем увеличении концентрации KCl во флюиде, происходит разложение граната, согласно реакции (1). Ортопироксен также разлагается, что сопровождается снижением Al_2O_3 в нём согласно реакции:

$$1/2\text{Mg-Ts} + 5/2\text{En} + [1/2K_2O + H_2O] = \text{Phl}, \quad (5)$$

где Mg-Ts – Mg-молекула Чермака $MgAl_2SiO_6$. При X_{KCl} = 0.1 в системе появляется клинопироксен, что приводит к снижению кальциевости ортопироксена. По всей видимости, ортопироксен становится основным концентратором Cr_2O_3, содержание которого сохраняется на одной и той же отметке во всех образцах (~3 масс. %). В противовес ортопироксену, флогопит теряет Cr_2O_3 с увеличением концентрации KCl во флюиде, что может быть связано со значительным увеличением количества флогопита (рис. 2 б). Флогопит является основным концентратором хлора в системе, количество которого в нём плавно возрастает с ростом X_{KCl}.

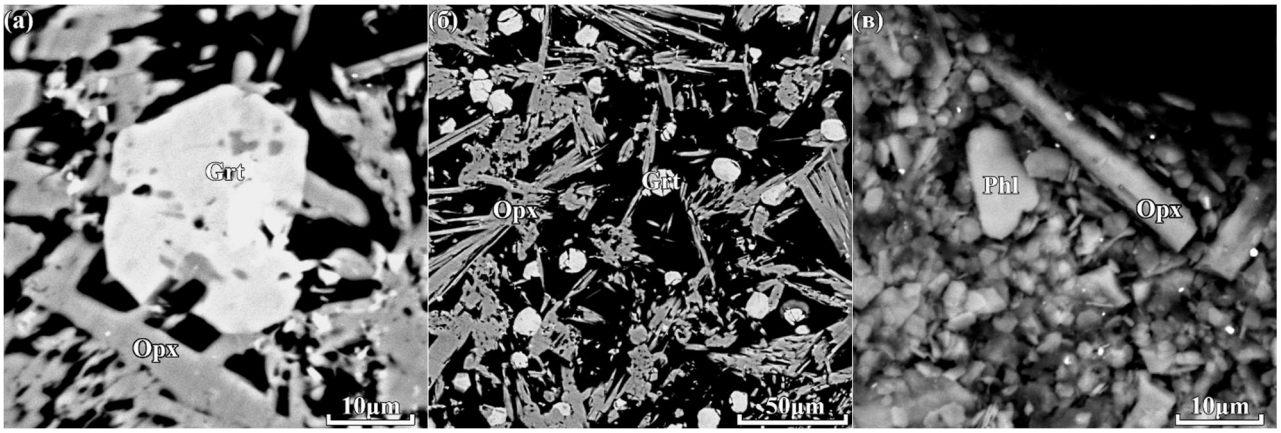

Рис. 1. Фотографии в отражённых электронах: а) X_{KCl} = 0, ассоциация граната, ортопироксена и расплава. Тёмные включения в гранате являются вкраплениями ортопироксена; б) X_{KCl} = 0,05; в) X_{KCl} = 0,2, вытянутые призматические кристаллы ортопироксена сосуществующие с флогопитом.

Установленные закономерности соответствуют полученным ранее результатам [3] и имеют подтверждение в природных данных. Увеличение количества флогопита напрямую влияет на степень сохранения граната [4] и ортопирокена [5] в породе. В гранатах из ксенолитов в ряде гранатовый гарцбургит – гранатовый гарцбургит с небольшим количеством флогопита – гранат-флогопитовый перидотит, наблюдается тенденция к росту CaO, но снижению содержания Cr_2O_3 [6], а в ряде гранат-флогопитовый перидотит – флогопитовый перидотит – флогопит-K-рихтеритовый перидотит наблюдается уменьшение Al_2O_3 у целого ряда минералов, а не только у ортопироксена [4]. Накопление хлора во флогопите имеет особое место в мантийных процессах, так как наличие галогенов в гранатовых лерцолитах может быть связано с плавлением флогопитов в родительского магме [7]. Полученные закономерные вариации состава граната и ортопироксена, сосуществующих с флогопитом, являются индикаторами различных стадий метасоматоза мантии, и характеризуют различные концентрации калиевого компонента во флюиде.

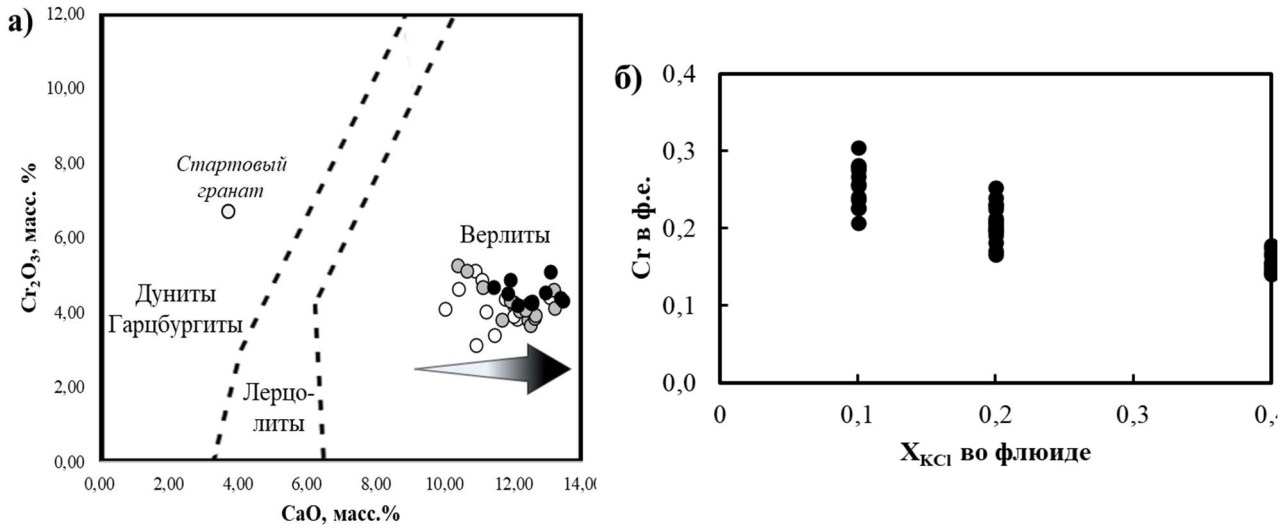

Рис. 2. а) Диаграмма CaO-Cr_2O_3, демонстрирующая составы гранатов в продуктах опытов. Белые точки – $X_{KCl} = 0$, серые точки – $X_{KCl} = 0.05$, чёрные точки – $X_{KCl} = 0.1$. б) График зависимости содержания хрома во флогопите от X_{KCl} во флюиде.

Литература:

1. O'Reilly, S.Y. and Griffin, W.L., Mantle metasomatism, Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock. // Harlov, D.E. and Austerheim, H., Eds., Berlin Heidelberg: Springer, 2013, P. 471 – 533
2. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. Реакции – индикаторы активности K и Na в верхней мантии: природные и экспериментальные данные, термодинамическое моделирование. // Геохимия, №10, 2016, С. 893–908.
3. Лиманов Е.В., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Ван К.В., Аранович Л.Я. Образование флогопита в системе ортопироксен–гранат в присутствии флюида H_2O–KCl в приложении к процессам мантийного метасоматоза. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, Т. 494, №1, 2020, стр. 60 – 65.
4. Erlank, A. J., Waters, F. G., Haggerty, S. E., & Hawkesworth, C. J. Characterisation of metasomatic processes in peridotite nodules contained in kimberlite. // International Kimberlite Conference: Extended Abstracts, V. 4, № 1, 1986, P. 232 – 234.
5. Arai, S., & Takahashi, N. Formation and compositional variation of phlogopites in the Horoman peridotite complex, Hokkaido, northern Japan: implications for origin and fractionation of metasomatic fluids in the upper mantle. // Contributions to Mineralogy and Petrology, V. 101, №2, 1989, P. 165 – 175.
6. van Achterbergh E., Griffin W.L., Stiefenhofer J. Metasomatism in Mantle Xenoliths from the Letlhakane Kimberlites: Estimation of Element Fluxes // Contrib. Mineral. Petrol., V. 141, № 4, 2001, P. 397 – 414.
7. Smith, J. V., Delaney, J. S., Hervig, R. L., & Dawson, J. B. Storage of F and Cl in the upper mantle: geochemical implications. // Lithos, V. 14, № 2, 1981, P. 133 – 147.