ВЕСТНИК ОНЗ РАН, ТОМ 3, NZ6060, doi:10.2205/2011NZ000190, 2011

Экспериментальные исследования межфазового распределения редких элементов в алмазообразующих эклогит-карбонатитовой и перидотит-карбонатитовой системах

А. В. Кузюра, Ю. А. Литвин, В. Ю. Окоемова, П. Г. Васильев, Ф. Волл, Т. Джеффрис
Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка
Московский государственный университет им М.В.Ломоносова, геологический факультет, Москва
Cornwall Campus of University of Exeter, UK
Natural History Museum, UK
shushkanova@iem.ac.ru, факс: 8 (496) 524 9687, тел.: 8 (496) 522 5876

Ключевые слова: рассеянные элементы, коэффициент распределения, перидотит-карбонатитовая система, эклогит-карбонатитовая ситема, карбонат-силикатные алмаз-формирующие расплавы.

Ссылка: Кузюра А.В., Ю. А. Литвин, В. Ю. Окоемова, П. Г. Васильев, Ф. Волл, Т. Джеффрис (2011), Экспериментальные исследования межфазового распределения редких элементов в алмазообразующих эклогит-карбонатитовой и перидотит-карбонатитовой системах, Вестник ОНЗ РАН, 3, NZ6060, doi:10.2205/2011NZ000190.

Исследования геохимии сингенетических включений с ростовыми карбонатно-силикатными расплавами и минералами, которые в них кристаллизовались вместе с алмазом, не просты, и данные о коэффициентах распределения редких элементов между минеральными и расплавными фазами алмазообразующих систем мантии Земли крайне малочисленны.

Ранее авторами при высоком давлении были изучены фазовые превращения и межфазовое распределение редких элементов при плавлении природного карбонатита [*Kuzyura, et al*, 2008]. Составы химически изменчивой карбонатно-силикатной ростовой среды для алмаза моделировались меланократовыми карбонатитами Чагатайского комплекса (Узбекистан), расплавы которых высокоэффективны для нуклеации алмазной фазы [*Литвин и др*., 2001, 2005]. При этом сингенетически с алмазами формируются гранаты и клинопироксены, подобные ассоциированным в высококальциевых алмазоносных эклогитах и гроспидитах [*Бобров и др*., 2004].

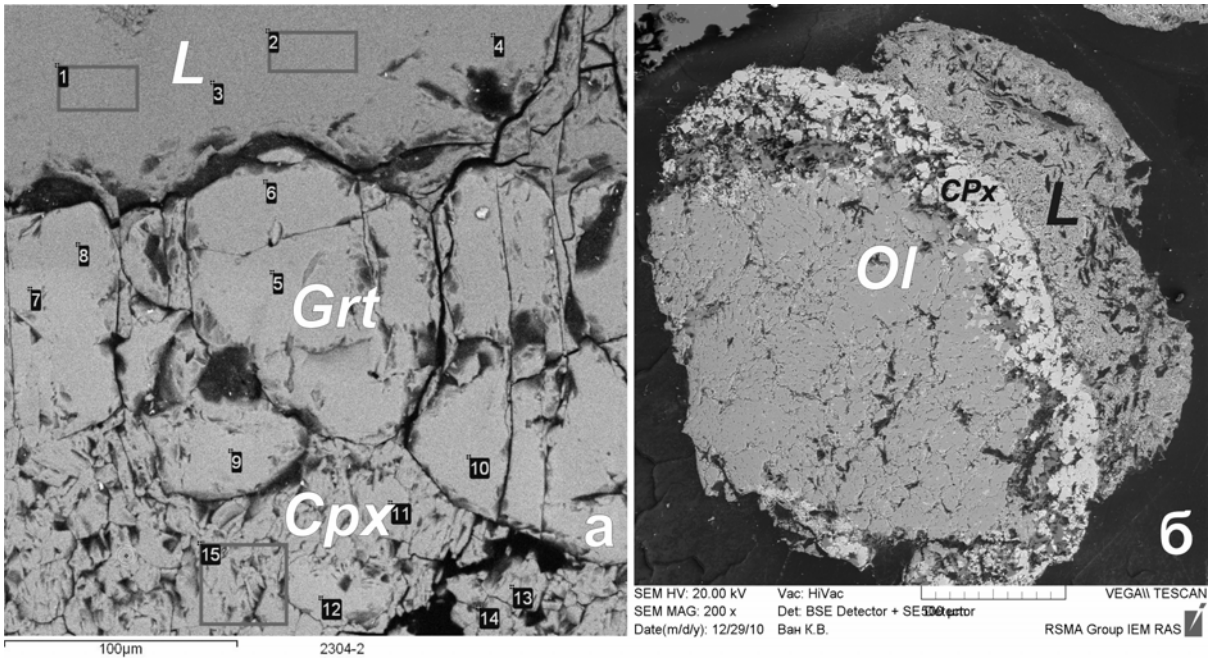

Рис. 1. Фотографии СЭМ экспериментальных образцов: а) образец 2304, система эклогит-карбонатит $[CPx_{52}Grt_{28}(SiO_2)_{20}]_{59.3}Dol_{39.3}RE_{1.4}$, 8.5 ГПа, 1600°C, выдержка 155 мин.; б) образец 2351, система перидотит-карбонатит $[Per_{30}Carb_{70}]_{99}RE_1$, 7 ГПа, 1400°C, выдержка 180 мин. *Grt* – гранат, *CPx* – клинопироксен, *Ol* – оливин, *L* – полностью смесимый карбонатно-силикатный расплав, *Dol* – доломит, RE – «коктейль» редких элементов, *Per* – перидотит, *Carb* - карбонат

Дальнейшее исследование распределения редких элементов в алмазообразующих мантийных системах было связано с модельными эклогит-карбонатитовой и перидотит-карбонатитовой системами. В связи с этим была проведена серия опытов на установке типа «наковальня-с-лункой» (ИЭМ РАН) при 7-8.5 ГПа по экспериментальному исследованию равновесного распределения редких элементов типа минерал-расплав и минерал-минерал в системах эклогит-карбонатит и перидотит-карбонатит. К системам примешивался специально составленный коктейль редких элементов (RE), в основном, в виде оксидов: Li, Rb, Cs, Ba, Th, U, Ta, Nb, La, Ce, Pb, Pr, Sr, Nd, Zr, Hf, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, and Zn. Стартовые соотношения компонентов были $[[CPx_{40\text{-}64}Grt_{16\text{-}40}(SiO_2)_{20}]_{59.3}Carb_{39.3}]_{98.6}RE_{1.4}$ для эклогит-карбонатитовой системы и $[[Ol_{36\text{-}60}OPx_{16}CPx_{12\text{-}24}Grt_{12\text{-}24}]_{30}Carb_{70}]_{99}RE_1$ для перидотит–карбонатитовой системы. Давление 7–8.5 ГПа и высокие температуры создавали в тороидном аппарате «наковальня с лункой». После закалки экспериментальные образцы раскалывали и полировали. Электронмикроскопические и микрорентгеноспектральные исследования выполняли на полированных поверхностях с углеродным напылением в ИЭМ РАН. Содержания редких элементов на тех же образцах, с которых было снято углеродное напыление, определяли методом LA-ICP-MS в минералогическом отделении Музея Естественной Истории в Лондоне. Анализировали однородные участки расплава и изометрические зерна минералов – граната, клинопироксена, оливина.

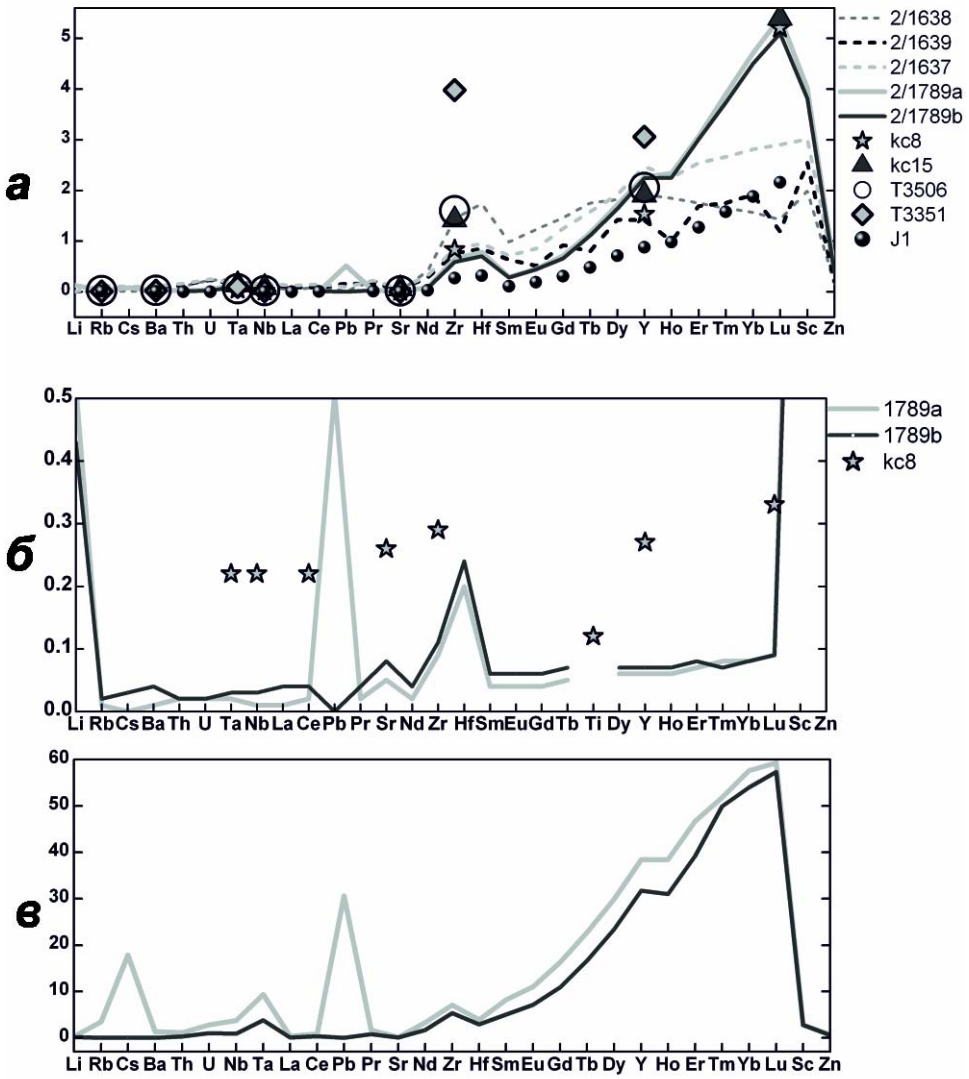

Рис. 2. Диаграммы межфазового распределения редких элементов между: (а) – гранатом и карбонатно-силикатным расплавом: (б) – клинопироксеном и карбонатно-силикатным расплавом; (в) – гранатом и клинопироксеном; kc8, kc15, T3506, T3351, J1-литературные данные; 2/1638, 2/1639, 2/1637, 2/1789 – наши экспериментальные образцы, полученные при плавлении природного чагатайского карбонатита и модлеьной системы эклогит-карбонатит

В опытах при 7.0–8.5 ГПа из расплава кристаллизовались достаточно крупные (до 100 и более мкм) кристаллы граната, клинопироксена, оливина (рис. 1). Чаще всего в закаленных образцах эти кристаллы встречаются окруженными расплавом. В некоторых случаях крупные кристаллы отделены от материнского карбонатно-силикатного закалочного расплава благодаря низкой вязкости указанного расплава и эффекту гравитации. В таких образцах карбонатно-силикатный расплав находится в межзерновом пространстве. Расплав модельных систем эклогит-карбонатит и перидотит-карбонатит закаливался в мелкокристаллический агрегат. Для анализа расплава в этой системе выбирались наиболее мелкозернистые участки, анализ проводился по площадям.

По результатам анализов концентраций редких элементов методом LA-ICP-MS, содержащихся в экспериментальных фазах рассчитаны коэффициенты (Кр) их межфазового распределения типа гранат-расплав, клинопироксен/расплав и гранат/клинопироксен. На рис. 2 приведена диаграмма, иллюстрирующая распределение редких элементов между гранатом и карбонатно-силикатным расплавом, клинопироксеном и карбонатно-силикатным расплавом, а также гранатом и клинопироксеном. Такие данные имеются для природной системы с чагатайским карбонатитом и модельной эклогит-карбонатитовой системы. Главной особенностью полученной картины межфазового распределения редких элементов является заметно контрастное поведение легких (La, Ce, Pr) по отношению к средним и тяжелым (Nd, Zr, Hf, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) элементам. Если легкие элементы преимущественно распределены в расплавную фазу, то тяжелые – в гранатовую. Другие элементы, включая LILE (Rb, Sr, Ba), Sc, а также Zn, Ta, Pb, Th, и U имеют ясно выраженное сродство к карбонатно-силикатному расплаву. Характер кривой на диаграмме распределения гранат-расплав практически повторяет характер кривой гранат-клинопироксен, что свидетельствует о том, что в распределении редких элементов главными участниками являются гранат и карбонатитовый расплав, клинопироксен играет в этом процессе лишь роль концентратора Zn.

В перидотит-карбонатитовой системе по предварительным данным гранат и клинопироксен также являются основными концентраторами редких элементов.

Полученные картины распределения сравнивались с данными других исследователей. Распределение редких элементов между гранатом и карбонатитовым расплавом, а также клинопироксеном и карбонатитовым расплавом и другими химически различными расплавами ранее было изучено экспериментально для ограниченного набора редких элементов при 2.7–3.3 ГПа and 1000°C [*Sweeney et al.*, 1992, 1995; *van Westrenen et al*, 1999; *Walter et al*, 2008]. Однако эти условия ниже области стабильности алмаза. Для сравнения коэффициенты распределения, доступные из публикаций по этим исследованиям, были нанесены на наши графики распределения. Так, обнаруживаются общие черты в контрастном поведении легких и тяжелых REE и других редких элементов при сравнении распределения редких элементов между гранатом и карбонатно-силикатным расплавом чагатайского карбонатита и модельной эклогит-карбонатитовой системы, с одной стороны, и с гранатом и модельным силикатным расплавом, с другой [*Van Westernen et al*, 1999].

Таким образом, обнаруживаемое сходство в тенденциях распределения редких элементов между гранатовой фазой, с одной стороны, карбонатитовыми и силикатными расплавами, с другой, в принципе, затрудняет идентификацию расплавного «партнера» на основании относительных содержаний редких элементов исключительно для гранатовой фазы.

Результаты показали, что распределение редких элементов не зависит значительно от состава расплава. Тяжелые РЭ концентрируются в гранате. Алмазообразующие карбонатно-силикатные, карбонатные или силикатные расплавы, равновесные с силикатными минералами ведут себя аналогично в отношении распределения редких элементов.

Исследования геохимии сингенетических включений с ростовыми карбонатно-силикатными расплавами и минералами, которые в них кристаллизовались вместе с алмазом, не просты, и данные о коэффициентах распределения редких элементов между минеральными и расплавными фазами алмазообразующих систем мантии Земли не были известны до настоящей работы. Изучение закономерностей межфазового распределения редких элементов для мантийных алмазообразующих процессов становится возможным в связи с развитием методов физико-химического эксперимента в сочетании с высокочувствительными аналитическими методами. Эти исследования имеют и более общее геохимическое значение, поскольку формирование ростовых сред для основной массы природных алмазов и сингенетически включенных в них минералов являются частью общего процесса магматической эволюции мантийного вещества и сопряжено с ним физико-химически и пространственно.

Работа поддержана грантами РФФИ 10-05-00654, 11-05-0040, грантом Президента РФ № МК- 913.2011.5.

Литература

Бобров, А. В., Ю. А. Литвин, Ф. К. Диваев (2004), Фазовые отношения и синтез алмаза в карбонатно-силикатных породах Чагатайского комплекса, Западный Узбекистан: результаты экспериментов при P = 4–7 ГПа и T = 1200–1700°C, *Геохимия*, № 1, сс. 49–60.

Литвин, Ю. А., А. П. Джонс, А. Д. Берд и др. (2001), Кристаллизации алмаза и сингенетических минералов в расплавах алмазоносных карбонатитов Чагатая, Узбекистан (эксперимент при 7.0 ГПа), *ДАН, т. 381*, № 4, сс. 528–531.

Литвин, Ю. А., Г. Курат, Г. Добоси (2005), Экспериментальные исследования формирования алмазитов в карбонатно-силикатных расплавах: модельное приближение к природным процессам, *Геология и геофизика, т. 46,* № 12, сс. 1300–1313.

Kuzyura, A. V., T. Jeffries, F. Wall, Yu. A. Litvin (2008), Partitioning of trace elements between garnet, clinopyroxene and diamond-forming carbonate-silicate melt at 7 GPa, *Mineralogical Magazine, vol. 74,* № 2, pp. 227–239.

Sweeney, R .J., D. H. Green, S. H. Sie (1992), Trace and minor element partitioning between garnet and amphibole and carbonatitic melt, *Earth and Planetary Science Letters, v. 114,* № 1–2, pp.1–14.

Sweeney, R. J., V. Prozesky, W. Przybylowich (1995) Selected trace and minor element partitioning between peridotite minerals and carbonatite melts at 18–46 kb pressure, *Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 59,* pp. 3671–3683.

Van Westrenen, W., J. Blundy, B. Wood (1999) Crystal-chemical controls of trace element partitioning between garnet and anhydrous silicate melt, *American Mineralogist, v. 84,* pp. 838–847.

Walter, M. J., G. P. Bulanova, L. S. Armstrong , et al. (2008), Primary carbonatite melt from deeply subducted oceanic crust, *Nature, v. 454,* pp. 622–626.