

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО**

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

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ



**2–3 НОЯБРЯ 2017
ЧЕРНОГОЛОВКА**

УДК 550.4.02

VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ»: Сборник материалов. Черноголовка: ИПХФ РАН. 2017. 112 с.

В сборнике представлены материалы VIII Всероссийской школы молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия» (г. Черноголовка, 2-3 ноября 2017 г.). Школа организована на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экспериментальной минералогии Российской академии наук. 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 авторском варианте

ISBN 978-5-91845-078-9

© ИЭМ РАН

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ ШКОЛЫ:

Председатель:

Ю.Б. Шаповалов, чл.-корр. РАН, ИЭМ РАН

Заместитель председателя:

Е.Г. Осадчий, д.х.н., ИЭМ РАН

Председатель программного комитета:

О.Г. Сафонов, проф. РАН, д.г.-м.н., врио директора ИЭМ РАН

Сопредседатели:

Т.Н. Ковальская, к.г.-м.н., ИЭМ РАН

Т.В. Сеткова, к.х.н., ИЭМ РАН

Ученые секретари:

А.В. Костюк к.г.-м.н., **Д.А. Варламов**, ИЭМ РАН

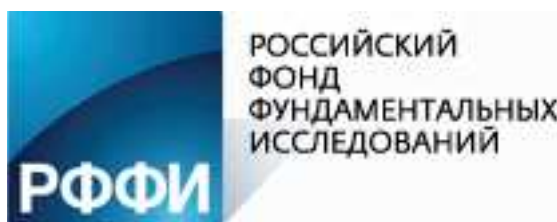
Технический оргкомитет:

А.В. Спивак, **Д.А. Ханин**, **М.В. Воронин**, **А.А. Сердюк**, **Е.В. Ханина**

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Российский фонд фундаментальных исследований,

Грант № 17-35-10299 мол-г



ФАНО России
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ВЕРХНЕМАНТИЙНЫХ СИЛИКАТНЫХ И КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫХ МАГМ (ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ 6–8 ГПа)

Лиманов Е.В., Кузюра А.В., Варламов Д.А., Литвин Ю.А.

ИЭМ РАН (г. Черноголовка)

limanov.z@gmail.com, shushkanova@iem.ac.ru

Исследования ксенолитов пород верхней мантии Земли в кимберлитах Якутии, Ю. Африки, Сев. Америки и др. свидетельствуют о том, что верхняя мантия сложена главным образом перидотитами, доминирующими своим количеством над эклогитами в отношении около 95:5 об. % [7; 9]. К настоящему времени известны 4 гипотезы происхождения мантийных эклогитов: (1) как результат эволюции глубинных мантийных магм в режиме фракционной кристаллизации; (2) образование эклогитового вещества в основании утолщенной континентальной коры с последующей его деляминацией; (3) при метаморфическом преобразовании океанической коры в областях субдукции; (4) при реакционном взаимодействии кислых магм с перидотитами в мантийном клине. Обсуждаемая в данной работе мантийная модель «in situ» ультрабазит-базитовой магматической эволюции и происхождения непрерывных серий перидотитовых и эклогитовых пород в коренном веществе верхней мантии (гипотеза 1) основывается на петрохимических трендах, отражающих возрастание концентраций компонентов Са и Fe в гранатах, Fe и Na в клинопироксенах [4], а также Al и Fe в перидотитовых и эклогитовых породах [3], при переходе от ультрабазитовых пород и минералов к базитовым.

Обобщение аналитических данных о химических и фазовых составах породообразующих минералов верхней мантии и парагенных включений в алмазах показывает [1], что они принадлежат к единой многокомпонентной системе-комплексу оливин [Ol=(Mg,Fe)₂SiO₄] – гранат [Grt=(Mg,Fe)₃Al₂Si₃O₁₂] – клинопироксен [Cpx=[Ca(Mg,Fe)Si₂O₆·NaAlSi₂O₆]ss] – корунд [Crn=Al₂O₃] – коэсит [Coes=SiO₂] (рис. 1, а), что позволяет рассматривать дифференцированное вещество мантии в рамках единой многокомпонентной системы.

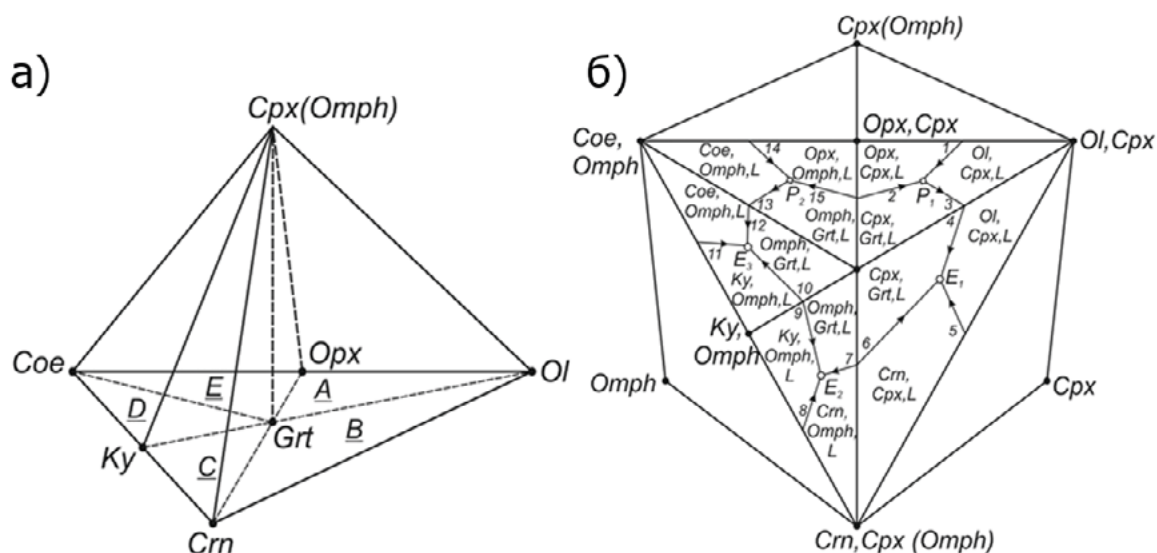


Рис. 1. Диаграмма-комплекс составов гранат-перидотитовой фации верхней мантии (а) и её развёртка (б). Симплексы А (перидотит-пироксенитовый) и В (оливин-эклогитовый) – области перидотитовых (ультрабазитовых) составов, симплексы С (корунд-кианитовых эклогитов), D (кианит-коэситовых эклогитов), E (коэсит-ортопироксеновых эклогитов) – области эклогитовых (базитовых) составов; P₁, P₂ – точки перитектики, E₁, E₂, E₃ – эвтектические точки.

Максимальными значениями температур для эволюционирующих расплавов характеризуются термальные барьеры, расположенные на плоскостях $Ky\text{-Grt-Cpx}$ и $Orx\text{-Crn-Cpx}$ полей (рис. 1). Второй термальный барьер известен как «эклогитовый термальный барьер» [8] указывающий на невозможность ультрабазит-базитовой эволюции вещества. Однако, если перидотит-пироксенитовый состав оливин насыщенных пород претерпит изменения и в ходе перитектических реакций лишится оливина и ортопироксена, то фигуративная точка состава из $Ol\text{-Orx-Cpx-Grt}$ поля сместится на $Grt\text{-Cpx}$ прямую биминеральных эклогитов, откуда точка состава получит возможность двигаться дальше, в область базитовых эклогитов (рис. 1 а, симплексы С, D и E), вследствие насыщения остаточных расплавов жадеитовым компонентом с переходом состава системы от оливин-насыщенных пород к кремнезём насыщенным, что позволит ультрабазит-базитовой эволюции осуществиться. В условиях фракционной кристаллизации содержание жадеитового компонента прогрессивно возрастает в остаточных расплавах и клинопироксенах с переходом от диопсидовых и авгитовых составов к омфацитовым (в оливине же и гранате жадеитовый компонент нерастворим).

На основе экспериментальных исследований прошлых лет известно, что на ликвидусе ультрабазитовой системы $Ol\text{-Orx-Cpx-Grt}$ (рис. 1, б) реализуется перитектическая реакция ортопироксена и расплава с образованием клинопироксена, и выходом к регрессивной моновариантной котектике $Ol+Cpx+Grt+L$ [1]. Также установлено, что при высоком давлении (выше 4.5 ГПа) оливин в реакции с жадеитовым компонентом образует гранат [6]. В рамках данной работы, было проведено экспериментальное исследование обеих перитектических реакций в ультрабазит-базитовой системе $Ol - Cpx (=Di_xJd_{1-x})$ с изменчивыми составами диопсид-жадеитовых твердых растворов, а также построение поверхности ликвидуса системы. Эксперименты проводились при давлении 6 ГПа и температурах 1200–1600°C. В качестве стартового вещества использовались стехиометрические гели форстеритового, клинопироксенового и жадеитового состава, оптимизированные на основе минералов гранатового лерцолита (табл.).

Составы стартовых гелевых смесей, использованных в опытах при изучении системы $Ol - Cpx (= Di_xJd_{1-x})$, а также их природных прототипов [1]

Окислы	Оливин		Клинопироксен		Жадеит	Карбонат
	Природ.	Эксп.	Природ.	Эксп.	Эксп.	Эксп.
SiO ₂	38.00	40.00	55.10	55.92	58.61	0.00
Al ₂ O ₃	0.05	0.00	3.88	4.28	22.38	0.00
FeO	13.6	12.00	4.13	4.68	0.00	10.00
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89	0.00
MgO	47.6	48.00	17.10	16.88	0.00	10.00
CaO	0.07	0.00	15.10	15.66	0.00	10.00
Na ₂ O	0.00	0.00	2.77	2.60	15.13	10.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00
Сумма	99.32	100	98.08	100.02	100.01	100.00

Природные образцы: оливин – обр. РМ-2258; клинопироксен – обр. 327.

На основе полученных результатов построена диаграмма ликвидусной поверхности системы $Ol - Cpx (= Di_xJd_{1-x})$. В точке схождения моновариантных котектик $Ol+Cpx+L$ и $Ol+Grt+L$, определено положение неинвариантной перитектической точки, что соответствует составу (в мас. %): SiO₂ 47.1, Al₂O₃ 2.75, MgO 33.5, FeO 8.75, CaO 6.15, Na₂O 1.75, что характери-

зует также состав перитектического расплава. Фигуративная точка расплава, насыщенного оливином, при понижении температуры перемещается по ликвидусной поверхности в следующем порядке: дивариантное поле $Ol+L \rightarrow$ моновариантная котектика $Ol+Grt+L \rightarrow$ квази-нонвариантная перитектика $Ol+Grt+Cpx/Omph+L$ (исчезает Ol) \rightarrow моновариантная котектика $Omph+Grt+L$ с завершением кристаллизации и формированием биминеральных эклогитов $Omph+Grt$. Поверхность ликвидуса ультрабазит-базитовой системы $Ol-Di-Jd$ является частью более сложной четверной ликвидусной системы $Ol-Di-Jd-Grt$ (рис. 2). Поверхности ликвидуса сопряженных систем построены с использованием литературных данных [5].

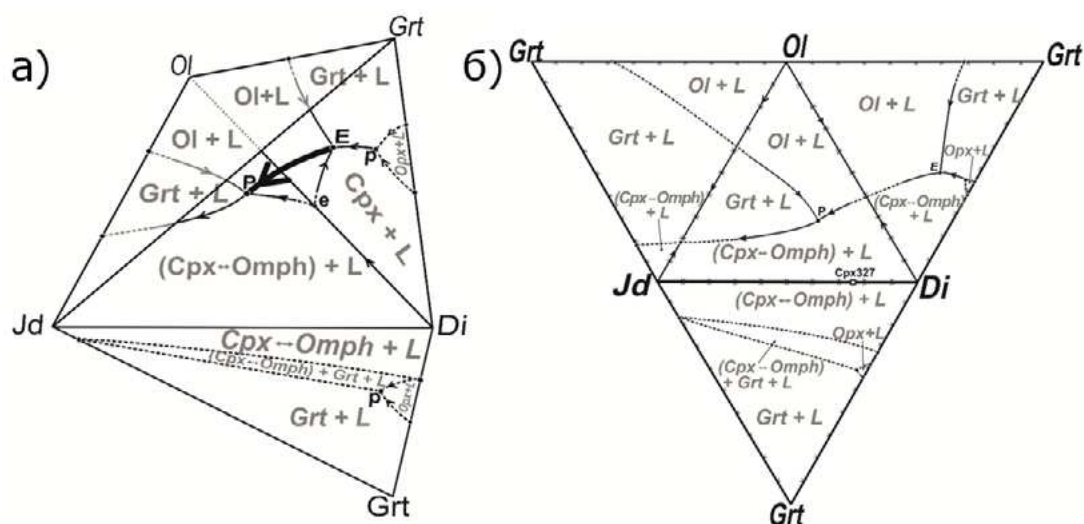


Рис. 2. Комплексная ликвидусная диаграмма (а) системы $Ol-Di-Jd-Grt$ и её развёртка (б), раскрывающая ликвидусные фазовые отношения тройных граничных систем, обоснованные экспериментальными данными [5]. P, p – точки перитектики; E, e – эвтектические точки.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями обоснована мантийно-карбонатитовая концепция генезиса алмазов и ассоциированных минеральных фаз [2]. Алмазообразующими средами в условиях гранат-перидотитовой фации верхней мантии являются полностью смесимые многокомпонентные силикат-карбонатные расплавы, пересыщенные растворенным углеродом. Данное основание побудило проведение экспериментального исследования ультрабазит-базитовой эволюции в системе $Ol - Cpx (= Di_x Jd_{1-x}) - \text{карбонат}$, с подробным изучением всех получаемых продуктов в эксперименте (состав стартового карбоната приведён в табл. 1). Было установлено, что механизм гранатизации оливина в реакции с жадеитовым компонентом в системе «наследуется» из системы $Ol - Cpx (= Di_x Jd_{1-x})$. Предварительный вывод заключается в том, что помимо механизма, система $Ol - Cpx (= Di_x Jd_{1-x}) - \text{карбонат}$ наследует также и положение перитектической точки системы без карбоната. Таким образом, проведенные исследования демонстрируют возможные механизмы реализации ультрабазит-базитовой эволюции в мантийном веществе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-05-00850, гранта Президента РФ # МД-3464.2017.5.

Литература:

1. Литвин Ю.А. Физико-химические исследования плавления глубинного вещества Земли. // М.: Наука, 1991.
2. Литвин Ю.А., Спивак А.В., Кузюра А.В. Основы мантийно-карбонатитовой концепции генезиса алмаза. // Геохимия, 2016, т. 10, с. 873-892.

3. Маракушев А.А. Нодули перидотитов в кимберлитах как показатели глубинного строения литосферы. В кн. Доклады советских геологов на XXVII сессии Международного геологического конгресса. // Петрология. М.: Наука, 1984, с. 153-160.
4. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. // Новосибирск, Наука, 1974, с. 154.
5. Davis B.T.C., Schairer J.F. Melting relations in the diopside-forsterite-pyroxene at 40 kilobars and one atmosphere. // Carnegie Institution Washington Yearbook 64, 1965, p. 123-126.
6. Gasparik T., Litvin Yu.A. Stability of $\text{Na}_2\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ and melting relations on the forsterite-jadeite join at pressures up to 22 GPa. // European Journal of Mineralogy, 1997, v. 9, №2, p. 311-326.
7. Mathias M., Siebert J.C., Rickwood P.C. Some aspects of the mineralogy and petrology of ultramafic xenoliths in kimberlite // Contr. Mineral. Petrol., No 26, 1970, p. 316-327.
8. O'Hara M. The bearing of phase equilibria in synthetic and natural systems on the origin and evolution of basic and ultrabasic rocks. // Earth-Sci. Rev., 1968, v. 4, p. 69-133.
9. Ringwood A.E. Composition and Petrology of the Earth's Mantle // New York, McGraw-Hill, 1975.