

РАВНОВЕСИЯ МИНЕРАЛОВ И АЛМАЗООБРАЗОВАНИЕ В МАНТИЙНЫХ ЭКЛОГИТАХ

© Бутвина В.Г., Литвин Ю.А.*

Московский государственный университет им.М.В. Ломоносова, геологический факультет
 *Институт экспериментальной минералогии РАН, г.Черноголовка Московской обл.
 butvina@hotmail.ru тел: (095) 939-29-71

Фазовые равновесия эклогитов на примере многокомпонентной системы гранат – клинопироксен (омфацит) исследованы в эксперименте при 7 ГПа и 1200 – 1600°C, что отвечает РТ - условиям стабильности алмаза. Это позволило построить поверхность ликвидуса в базовой тройной системе (альмандин, гроссуляр) – (пироп, гроссуляр) – омфацит, а также определить физико – химические закономерности формирования алмазоносных эклогитов. Развита предположения, в соответствии с которыми главное значение в формировании алмазов в эклогитах могут иметь карбонатно – силикатные и сульфидные природные среды, обоснованные как материнские современными экспериментальными [1] и минералогическими исследованиями [2]. Эксперименты показали, что силикатные расплавы, в их числе и эклогитовые, не являются эффективными растворителями углерода и не создают пересыщенные к алмазу лабильные растворы, критически необходимые для спонтанной нуклеации алмаза. Т.о. силикатные расплавы не могут быть материнскими природными средами для формирования алмаза.

Из многообразия составов эклогитов в кимберлитах (например, выделено 26 генетических групп гранатов по кластерному анализу [3]) избраны алмазоносные ильменит – рутиловые магнезиально – железистые эклогиты (группа 3). Такие же составы характерны и для эклогитов Максютковского эклогит – глаукофансланцевого комплекса (Южный Урал), который интересен нам с точки зрения полифациальности минералов (обратная зональность граната, параморфозы графита по алмазу). В табл.1 показано, что составы минералов в алмазоносных магнезиально – железистых эклогитах из кимберлитов и эклогитах Максютковского комплекса близки.

Таблица 1

Представительные химические анализы гранатов и клинопироксенов из эклогитов
 мантийных нодулей трубок Русловая и Обнаженная*

№ обр.	Минерал	Компоненты								Название трубки
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	
4/15	Grt***	37.20	0.10	21.60	25.00	0.60	4.00	11.50	0.00	
4/15	Cpx	54.60	0.10	8.80	7.30	0.00	8.30	14.70	6.20	
АО-319	Grt	38.52	0.13	21.25	27.63	0.58	3.78	8.11	0.00	Обнаженная
АО-319	Cpx	54.55	0.10	7.60	9.11	0.00	7.76	15.00	5.89	
РСЛ-8	Grt	37.43	0.04	21.25	28.57	0.59	3.49	8.61	0.02	Русловая
РСЛ-8	Cpx	55.60	0.22	7.81	8.98	0.00	8.14	14.86	4.39	
кл.груп па 3**	Grt	38.30÷ 42.93	0.00÷ 0.71	19.52÷ 23.60	11.59 ÷ 28.70	0.17÷ 0.84	7.50÷ 17.30	2.50÷ 14.28	0.00÷ 0.28	Разн.трубки, 129 анализов
кл.груп па 4**	Cpx	51.37÷ 56.57	0.00÷ 1.04	3.43 ÷ 12.91	1.56÷ 9.83	0.00÷ 0.45	7.92÷ 17.30	10.00÷ 20.30	2.81÷ 7.29	Разн.трубки, 176 анализов

* Литературные данные [9].

** Литературные данные [3]. Кластерная группа клинопироксенов №4 из: магнезиальных, магнезиально-железистых, глиноземисто ± алмазоносных эклогитов.

*** Условные обозначения используемых символов: Grt – гранат, Cpx – клинопироксен, Alm – альмандин, Pgr – пироп, Grs – гроссуляр, Jd – жадеит, Hd – геденбергит, Di – диопсид, L – расплав.

Ранние эксперименты в эклогитовой системе [4] дали возможность установить фазовые поля на псевдобинарной диаграмме гранат-клинопироксен, а также определить характер гра-

нат-клинопироксенового равновесия. Эксперименты проводились с использованием вольфрамового буфера: капсулы футеровались изнутри вольфрамовой фольгой толщиной 0.02 мм для предотвращения частичной абсорбции железа из расплава сплавом Pt₆₀Rh₄₀. При частичном окислении вольфрама в опытах формировалась буферная пара W/WO₂, обеспечивающая устойчивость двухвалентного железа [5]. Давление и температура определялись с точностью, соответственно, ± 0.1 ГПа и ± 10°C в интервале 1500 – 1700°C и ± 20°C при более высоких температурах.

Таблица 2

Условия и результаты экспериментов в системе гранат-клинопироксен при 7,0 ГПа

№	Grt-Cpx	материал ампулы	t, мин	T, C	Фазы	компоненты, ат.%						
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
старт. Сост.					Grt Cpx	37,20 54,60	21,60 8,80	25,00 7,30	0,60 0,00	4,00 8,30	11,50 14,70	6,20
722	50-50	PtRh	60	1200	р.а.* Cpx+Grt Cpx Cpx Grt Grt	56,26 55,41 38,02 39,24	12,35 12,00 20,75 20,81	9,96 7,31 22,08 24,16	0,03 0,03 0,71 0,47	4,34 6,63 6,49 4,55	8,12 11,34 11,96 10,42	8,83 7,17
748	50-50	PtRh	155	1300	р.а. Cpx+Grt Cpx Grt	54,15 40,98	16,77 22,66	4,75 12,66	0,14 0,80	6,87 10,88	11,67 12,03	5,55
719	50-50	PtRh	60	1400	р.а. Cpx+Grt Cpx Cpx Cpx Grt Grt	55,65 55,70 55,08 40,58 38,98	11,13 12,35 11,96 19,95 20,31	10,66 8,02 7,13 19,04 23,51	0,01 0,02 0,17 0,46 0,00	5,34 5,71 6,69 8,87 6,17	10,07 11,28 11,88 11,01 11,03	7,11 6,81 7,05
908	50-50	PtRh, W	50	1450	р.а. Cpx+Grt+L L Grt Grt Cpx Cpx	50,74 40,71 41,21 55,22 55,14	15,94 21,91 22,07 14,09 15,55	13,61 20,27 18,34 6,74 5,83	0,00 0,56 0,46 0,00 0,00	6,55 6,81 8,66 6,85 6,77	10,58 9,74 9,26 10,08 9,49	2,60 7,03 7,22
916	50-50	PtRh, W	10	1500	р.а. Cpx+Grt+L L(рассч)** Grt Grt Grt Cpx Cpx	47,42 40,55 39,67 39,87 55,74 55,69	15,70 21,63 21,41 21,12 11,70 10,21	16,68 23,24 23,07 22,38 7,41 7,06	0,31 0,39 0,44 0,27 0,23 0,00	6,35 5,39 6,25 7,01 6,86 8,21	13,53 8,80 9,15 9,35 11,30 12,00	3,20 6,75 6,84
909	50-50	PtRh, W	75	1550	р.а. L L(рассч) L L L	47,42 41,46 45,27 50,74	15,70 12,19 14,70 14,41	16,68 14,20 17,93 12,23	0,31 0,59 0,43 0,00	6,35 10,52 5,04 4,18	13,53 14,01 14,49 16,67	3,20 7,04 2,13 1,77

Примечание: *р.а.-равновесная ассоциация в данном поле фазовой диаграммы; **состав расплава рассчитан для котектической температуры (1500C).

Образцы изучались методом микрозондового анализа на электронном микроскопе CamScan с энгергодисперсионным микрозондом Link AN 10/85S (кафедра петрологии МГУ, при участии

Е.В. Гусевой и Н.Н. Коротаевой) и микронзонде Camebax (ИЭМ РАН, при участии А.Н. Некрасова).

Условия и результаты опытов приведены в табл. 2, полученная фазовая диаграмма системы клинопироксен – гранат при 7.0 ГПа дана на рис. 1. Система гранат - омфацил является внутренним политермическим разрезом тройной системы (альмандин + гроссуляр) – (пироп + гроссуляр) – клинопироксен (рис.4), ликвидусные равновесия которой важны для петрологических оценок.

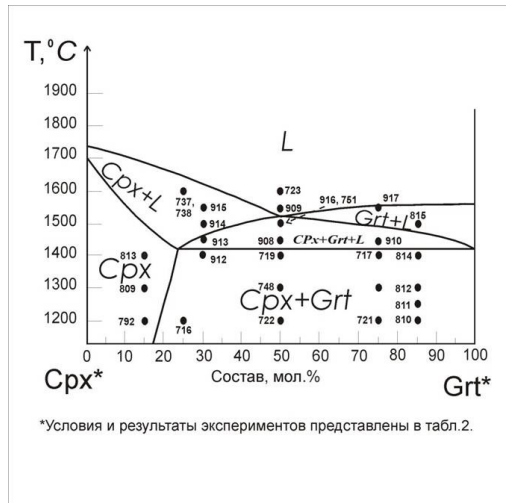


Рис.1. Диаграмма плавкости псевдобинарной эклогитовой системы клинопироксен (омфацил) – гранат с многокомпонентными составами граничных фаз при давлении 7 ГПа.

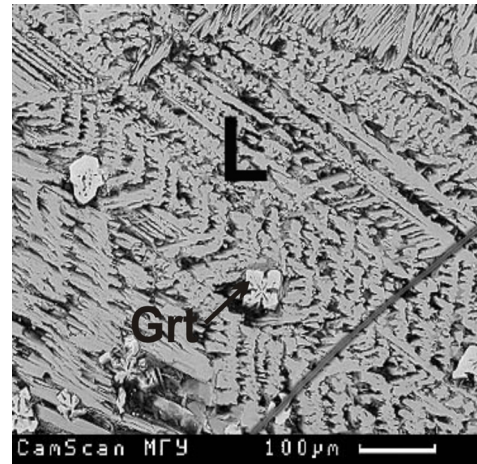


Рис.2. Дендритная кристаллизация фаз в процессе закалки эклогитового расплава состава $Cpx_{50}Grt_{50}$ (обр. 723, 7 ГПа, 1600 °С, 30 мин).

Прежде всего, рассмотрим фазовые отношения псевдобинарной системы клинопироксен (омфацил) – гранат (рис. 1). В ее субсолидусе два фазовых поля: (1) Cpx_{ss} и (2) $Cpx_{ss} + Grt_{ss}$. Составы Cpx_{ss} формируются как твердые растворы Mg-, Ca-, Fe- компонентов типа ортопироксена и молекулы Чермака (с суммарными составами граната) в клинопироксене. Граница между однофазовым и двухфазовым полями представляет собой кривую температурной зависимости предельно насыщенных составов клинопироксена, и ее положение коррелирует с составами клинопироксенов двухфазового поля. Плавление двухфазовой ассоциации омфацил + гранат начинается при 1400 °С и имеет эвтектический характер. Наличие поля $Cpx+Grt+L$ свидетельствует о существовании моновариантной котектики в базовой тройной системе. С повышением температуры составы всех котектических фаз изменяются. В образцах котектического поля расплавы закаливались в виде стекла, дендритных закалочных форм не наблюдалось. В образцах 910, 916 расплавы не удалось проанализировать, и их составы рассчитывались по составу системы в точке ее полного плавления при 1500 °С ($Cpx_{50}Grt_{50}$, мол. %), которая является минимальной температурой ликвидуса. Ликвидусными фазами являются клинопироксен и гранат. При закалке расплавы чаще превращаются в однородные стекла. Иногда формируются закалочные дендритные текстуры. На рис.2 дан пример такой текстуры, внутри которой можно наблюдать единичные скелетные микрокристаллики клинопироксена и граната, образовавшиеся, скорее всего, в процессах закалки при температурах ниже ликвидусных – в поле, соответствующем моновариантной котектике $Cpx+Grt+L$ (рис. 1). На рис.3 представлен образец трехфазовой котектической ассоциации $Cpx+Grt+L$; составы сосуществующих фаз см. табл.2. Наблюдается незначительное повышение содержания магнезиального компонента в гранате с повышением температуры в поле субсолидуса (обр.722-719) и обратный характер в поле $Cpx+Grt+L$ (обр.908-916).

На рис.4 представлена диаграмма поверхности ликвидуса псевдотройной системы (альмандин + гроссуляр) – (пироп + гроссуляр) – омфацил при 7.0 ГПа. При построении использованы полученные экспериментальные данные для псевдобинарной системы омфацил – гранат, являющейся внутренним политермическим разрезом рассматриваемой тройной системы (штрих – пунктирная

линия на рис.4). Температуры плавления граничных фаз оценивались, исходя из известных данных для отдельных компонентов твердых растворов Cpx_{ss} и Grt_{ss} . Так, граничная система алмадин – пироп изучена нами ранее при 6.5 ГПа [6] и отличается неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях. Небольшие количества гроссулярового компонента принципиально не меняют картину, так как гроссуляр также является компонентом твердого раствора граната. Также граничной является система алмадин, гроссуляр – клинопироксен. Температура (1450 °C при составе $\text{Cpx}_{40}\text{Alm}_{60}$) эвтектического плавления оценена с помощью специальных опытов в системе алмадин – клинопироксен. Полученные данные позволили определить позицию моновариантной котектики в тройной системе. Третьей граничной системой является пироп – клинопироксен, температура эвтектического плавления (1520 °C) и состав эвтектики были оценены по известным данным для диопсида, пироба и жадеита [7,8]. Рассчитана форма поверхности ликвидуса тройной системы и проведены изотермы ликвидусной поверхности на основе экспериментальных данных (см. рис.1).

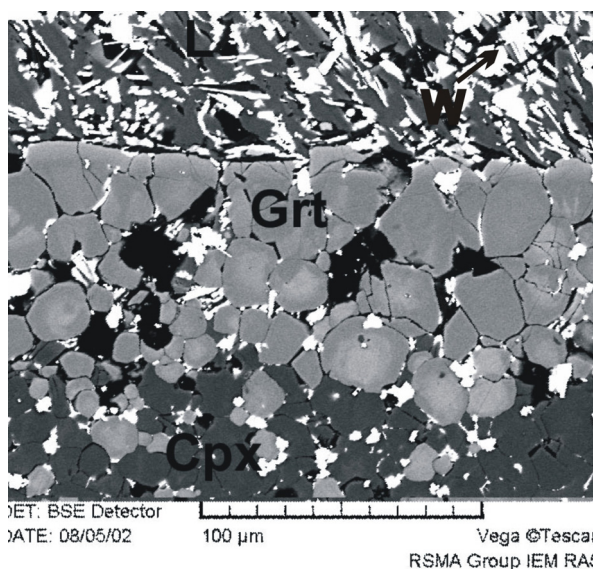


Рис.3. Равновесная котектическая ассоциация клинопироксена, граната и стекла (обр. 908, 7 ГПа, 1450 °C, 50 мин).

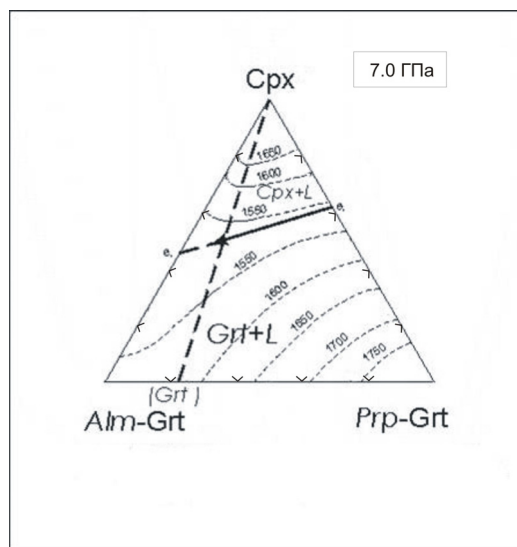


Рис.4. Ликвидусная поверхность эклогитовой системы клинопироксен – гранат при давлении 7 ГПа в развернутом виде вдоль граничных составов твердых растворов граната; исследуемое псевдобинарное сечение (рис. 1) показано толстой пунктирной линией; цифры возле изотерм (тонких пунктирных линий) – температуры в °C.

При постоянном давлении не существует физико – химических причин для формирования гранатов с обратной Mg/Fe зональностью по распределению в условиях как равновесной, так фракционной кристаллизации. Это связано с тем, что составы кристаллизующихся гранатов с понижением температуры контролируются в основном граничной пироп – алмадиновой гранатовой системой, что может привести только к их нормальной зональности – содержание железистого компонента растет от центра к периферии кристалла. Эффект же обратной Mg/Fe зональности, как показано ранее [6], может являться следствием кристаллизации эклогитовых магм при скачкообразном понижении общего давления, т. е. при их резком подъеме к поверхности.

Проблема алмазоносности эклогитов не может быть решена в рамках сугубо силикатной или, точнее, силикатно-углеродной системы. Предварительные экспериментальные исследования системы эклогит – карбонатит – сульфид – углерод при 6 – 8 ГПа, направленные на решение проблемы алмазоносности эклогитов, определили несмесимость силикатных и сульфидных расплавов при сверхдавлениях и показали важное значение карбонат – силикат – углеродных расплавов и сульфид – углеродных расплавов в алмазообразовании.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (по проектам № 01-05-64598, 02-05-64684, 03-05-06288мас), гранта Научной Школы - № 1301.2003.5 и ОНЗ РАН (приоритетная тема 10-6, 2003 г.).

Литература

1. Литвин Ю.А., Бутвина В.Г., Бобров А.В., Жариков В.А. // ДАН. 2002. Т. 382. №1. С. 106-109.
2. Vulanova G.G., Griffin W.L., Ryan C.G. // Mineral. Mag. 1998. V. 62. № 3. P. 409-419.
3. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 240 с.
4. Бутвина В.Г., Литвин Ю.А. Изучение системы омфациит-гранат при 7.0 ГПа: экспериментальное моделирование условий формирования алмазоносных эклогитов // Электр. науч.-инф. журн. "Вестник Отделения наук о Земле" № 1(20) 2002,
URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/informbul-1/faza-3.pdf
5. Литвин Ю.А. Физико – химические исследования плавления глубинного вещества Земли. Москва: Наука. 1991. 312 с.
6. Бутвина В.Г., Бобров А.В., Литвин Ю.А. // ДАН. 2001. Т. 379. № 5. С. 655-658.
7. Irifune T., Ohtani E. // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. № 39. P. 9357 – 9366.
8. Litvin Yu.A., Gasparik T. // Geochim. et cosmochim. acta. 1993. V. 57. P.2033-2040.
9. Екимова Т.Е. Включения рутиловых эклогитов в кимберлитах Якутии и условия их образования. Дис. к. г.-м. наук. М.: МГУ. 1980. 264 с.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(21) 2003

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2003 года (ЕСЭМПГ-2003)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/term-2.pdf

Опубликовано 15 июля 2003 г.

© Отделение наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2003

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна