

СООТНОШЕНИЯ ФАЗОВОГО И КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ГРАНАТА И ОМФАЦИТА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ 4.0-7.0 ГПА В СОПОСТАВЛЕНИИ С ПРИРОДНЫМИ ДАННЫМИ

Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Литвин Ю.А., Маракушев А.А. (ИЭМ РАН)

butvina@iem.ac.ru; Тел.: (096) 522-5876

Результаты экспериментального изучения фазовых равновесий гранатовых (пироп-альмандин, пироп-гроссуляр-альмандин) [1] и эклогитовых (альмандин-омфацит, псевдотройная система пироп-альмандин-омфацит (+гроссуляр), ее политермический разрез гранат-омфацит) [2] систем были опубликованы ранее. В данной работе будет предложен анализ экспериментальных и природных данных (в качестве природного материала были выбраны эклогиты кимберлитовых трубок «Удачная» (наши образцы) и «Мир» [3,4]) для гранат-омфацитовых парагенезисов.

В результате изучения коллекции алмазоносных эклогитов кимберлитовой тр. Удачная (Якутия) был получен тренд (рис.1) (который соответствует гранат-клинопироксеновой котектике) на петрохимической диаграмме плавкости диопсид-пироп-альмандин. Экспериментально построенная псевдотройная диаграмма плавкости омфацит-пироп (+гроссуляр)-альмандин (+гроссуляр) также характеризуется котектическими отношениями граната и омфацита [2], что замечательным образом подтверждает природные соотношения граната и клинопироксена в эклогитах из тр. «Удачная» (рис. 1). Помимо этого, такие взаимоотношения показывают, что биминеральные эклогиты должны быть наиболее распространенными среди всех типов магматических эклогитов.

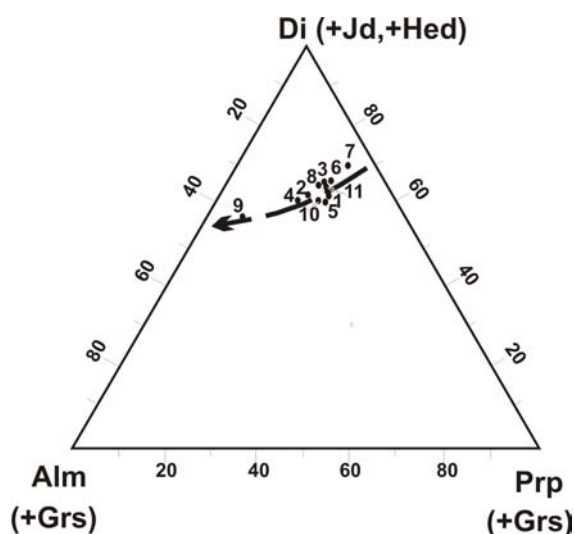


Рис.1. Петрохимический тренд составов эклогитов из нодулей кимберлитовой трубки «Удачная» в системе нормативных минералов

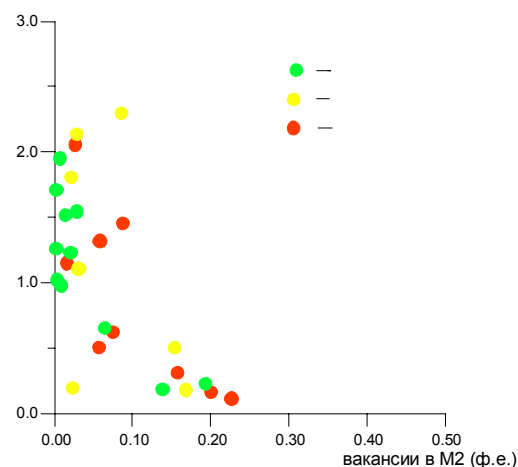


Рис.2. Зависимость логарифма константы распределения железа и магния между гранатом и пироксеном от содержания вакансий в позиции M2 в омфаците

На основе изучения гранат-клинопироксеновых пар из продуктов экспериментов в системе омфацит-гранат при 7.0 ГПа была найдена зависимость логарифма константы распределения железа и магния между гранатом и пироксеном $\ln K_d$, где K_d – константа обменной реакции: $\text{Hed} + \text{Prp} = \text{Di} + \text{Alm}$, от содержания кальциевой молекулы Эскола в пироксене (рис.2). Таким образом, для определения температур гранат-клинопироксеновых парагенезисов, образованных при высоких давлениях (например, включения в алмазе), необходимо учитывать влияние содержания кальциевой молекулы Эскола в клинопироксене на константу перераспределения

магния и железа между гранатом и клинопироксеном. Вместе с тем, между температурой образования и содержанием Са-молекулы Эскола в пироксене нет определенной зависимости, скорее всего изменение содержания Са-молекулы Эскола влияет, прежде всего, на давление [5,6].

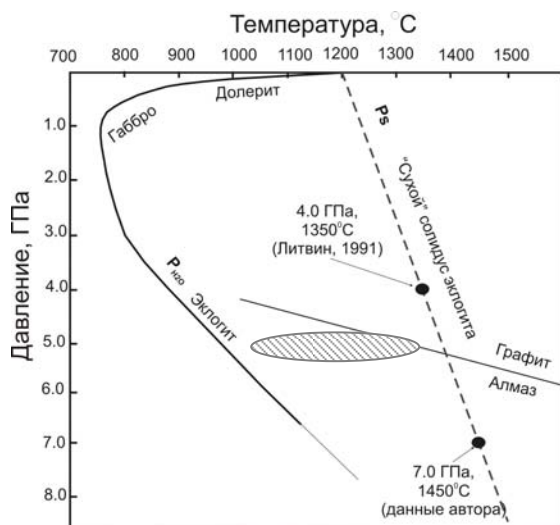


Рис.3. Схема вариаций солидуса основных магматических пород под воздействием давления на твердые фазы (Ps) и водного давления (P_{H2O}). Закрашенное поле на рисунке показывает Т образования алмазоносных эклогитов тр. «Удачная» и гранат-пироксеновой ассоциации из включений в алмазе «эклогитового» типа [9]. Линия водонасыщенного солидуса эклогита: 1) 0-2.5 ГПа [10]; 2) 3.0-6.5 ГПа [11]

На Т-Р диаграмме показаны «сухой» и «водный» солидус эклогитов (рис.3). Для построения «сухого» солидуса эклогитов были взяты наши экспериментальные данные по кристаллизации магнезиально-железистых эклогитов при 7.0 ГПа, 1450°C, а также данные Ю.А.Литвина [7] при 4.0 ГПа, ~1350°C. При нанесении на диаграмму Р-Т параметров образования алмазоносных эклогитов тр. «Удачная», а также Р-Т параметров образования ассоциации граната и клинопироксена при их совместном нахождении во включениях в кристаллах алмаза тр. «Мир» [8,9] видно, что все данные попадают в «сухой» субсолидус. Понижение температуры образования эклогитов (относительно «сухих» условий) могло быть связано с повышением парциального давления водного компонента флюидов в результате реакций диспропорционирования компонентов при кристаллизации алмаза из флюидных магм: $\text{H}_2 + \text{CO} = \text{C} + \text{H}_2\text{O}$; $3\text{H}_2 + \text{CO} = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ и др. [12]. Источником воды в магматических очагах алмазной фации глубинности могут быть потоки глубинных углеродно-водородных флюидов [12], в которых протекают подобные реакции. Таким образом, эксперименты в модельной системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, близкой к составу природных рутиловых эклогитов, при давлении 7.0 ГПа свидетельствуют о том, что температура «сухого» солидуса эклогита составляет около 1450°C. Это превышает температуры образования природных эклогитов из кимберлитовых трубок, что может свидетельствовать об их флюидно-магматической природе.

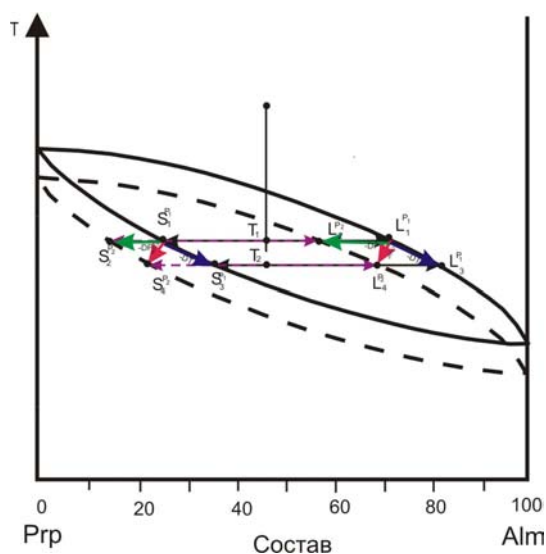


Рис.4. Схема кристаллизации гранатов

Фазовые диаграммы для бинарной системы пироп-альмандин при давлениях 6.5 и 4.0 ГПа [1,2] позволяют рассмотреть различные схемы изменения магнезиальности гранатов, кристаллизующихся из магматического расплава на фоне изменения температуры, давления или обоих интенсивных параметров одновременно (рис. 4). В этом отношении интересны ситуации связанные с уменьшением температуры и давления, связанные с остыванием расплава и его подъемом к поверхности.

(1) **Изобарическое остывание.** В этом процессе количество граната относительно расплава постоянно увеличивается, что свидетельствует о росте этого минерала. Таким образом, нормальная кристаллизация пироп-альмандинового расплава на фоне снижения температуры при постоянном давлении приведет к образованию прямой (снижение магнезиальности к краю) ростовой зональности в минерале. Аналогичная зональность кристаллов возникнет при условиях, когда скорость остывания превышает скорость падения давления.

(2) Согласно схеме на рисунке 4 противоположную эволюцию магнезиальности граната можно ожидать в процессе **изотермического снижения давления**. Однако в этом случае ростовая зональность не образуется в гранате, поскольку его количество уменьшается по отношению к расплаву. Иначе говоря, ранее выделившиеся кристаллы растворяются в расплаве. Аналогичные процессы растворения граната будут проявляться в результате быстрого сброса давления при медленном остывании. Таким образом, следует вывод, что обратная зональность в отдельных кристаллах граната не может возникнуть при нормальной кристаллизации из расплава.

Однако схема (2) показывает, что в процессе быстрого снижения давления возможна кристаллизация последовательных генераций граната с увеличивающейся магнезиальностью при условии отделения ранее выделившихся кристаллов (фракционная кристаллизация). Если при этом процессе присутствует какая-либо фаза «консервирующая» ранее образованные кристаллы граната, то магнезиальность этих кристаллов будет возрастать от включенных в ядра фазы-хозяина до включенных в периферийные зона этой фазы. Необходимо отметить, что подобная эволюция магнезиальности должна проявляться и для омфацитов, если предположить что при давлениях более 4.0 ГПа диопсид и геденбергит образуют непрерывный ряд твердых растворов. Закономерное увеличение магнезиальности включений граната и омфацита, распределенных по зонам роста, действительно описано в алмазах из кимберлитовых трубок Якутии [8]. Совместное увеличение магнезиальности граната и омфацита в этом процессе однозначно свидетельствует об их равновесии с расплавом, поскольку равновесие этих фаз без расплава (в субсолидусе) на фоне снижения T и P привело бы к снижению магнезиальности. Подтверждением этому являются расплавные включения в этом же кристалле алмаза [8]. Кроме того, заметный рост магнезиальности граната указывает на то, что скорость декомпрессии, вероятно, превышала скорость остывания, что соответствует росту алмаза в процессе продвижения магматического расплава к поверхности. Таким образом, увеличение магнезиальности гранатов на фоне снижения T и P возможно лишь в условиях их равновесия с расплавом. Иначе говоря, анализ тенденций изменения магнезиальности гранатов различных генераций на основе диаграмм плавкости системы пироп-альмандин совместно с независимыми данными, показывающими тенденции в изменении T и P (например, вариации концентраций Na_2O и TiO_2 в гранатах, Na_2O и K_2O пироксенах) позволяют в ряде случаев выделять магматическую стадию эволюции эклогитовых парагенезисов. Это особо важно для включений в алмазах, среди которых не всегда присутствуют включения расплавов.

Поддержка РФФИ: гранты 04-05-64896, 04-05-97220, 05-02-17283, 05-05-64101, грант ведущей научной школы 2849.2006.5 (А.А. Маракушев) и программы РАН №П9-3

Литература

1. Бутвина В.Г., Бобов А.В., Литвин Ю.А. Экспериментальное изучение системы пироп-гроссуляр-альмандин при 6,5 ГПа и 1500-1900 С. // ДАН. 2001. Т. 379. № 5. СС. 655-658.
2. Бутвина В.Г., Литвин Ю.А., Маракушев А.А. Равновесие омфацит-гранат в системе Na_2O - CaO - FeO - MgO - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 , моделирующей ильменит-рутиловые магнезиально-железистые эклогиты // XV РСЭМ. Сыктывкар. 2005. Тез. докл. СС. 32-34.

3. *Beard B.L., Fraracci K.N., Taylor L.A., Snyder G.A., Clayton R.A., Mayeda T.K., Sobolev N.V.* Petrography and geochemistry of eclogites from the Mir kimberlite, Yakutia, Russia // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1996. V.125. PP. 293-310.
4. *Маракушев А.А.* Минеральные ассоциации алмаза и проблема образования алмазоносных магм // *Очерки физ.-хим. петрологии.* Москва. 1985. Вып.13. СС. 5-53.
5. *Шацкий В.С., Соболев Н.В., Гильберт А.Э.* Эклогиты Кокчетавского массива // *Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях.* 1989. СС.54-82.
6. *Katayama I., Parkinson C.D., Okamoto K., Nakajima Y., Maruyama S.* Supersilicic clinopyroxene and silica exsolution in UHPM eclogite and peliticgneiss from the Kokchetav Massif, Kazakhstan // *Amer. Mineral.* 2000. V. 85. PP. 1368-1374.
7. *Литвин Ю.А.* Физико-химические исследования плавления глубинного вещества Земли // М.: Наука. 1991. 312с.
8. *Буланова Г.П., Барашков Ю.П., Тальникова С.Б., Смелова Г.Б.* Природный алмаз-генетические аспекты // Новосибирск: Наука. 1993. 168с.
9. *Маракушев А.А., Бобров А.В.* Специфика кристаллизации эклогитовых магм в алмазоносной фации глубинности // *ДАН.* 1998. Т. 358. №4. СС. 526-530.
10. *Essene E.J., Hensen B.J., Green D.H.* Experimental study of amphibolite and eclogite stability // *Phys. Earth. Planet. Inter.* 1970. N3.
11. *Gupta A., Yagi K.* Experimental study on two picrites with reference to the genesis of kimberlite // 2nd Intern. Kimberlite Conf. Extended Abstr. 1977. PP. 339-343.
12. *Маракушев А.А.* Термодинамика систем геохимических минеральных фаций // *Геохимия.* 2000. № 12. СС. 1251-1265.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/term-3.pdf

Опубликовано 1 июля 2006 г

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006*

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