

Академик В. С. СОБОЛЕВ, Н. В. СОБОЛЕВ, Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ

ВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗЕ ИЗ АЛМАЗОНОСНОГО ЭКЛОГИТА

Среди различных типов ксенолитов в кимберлитовых трубках значительный интерес для исследования представляют алмазосодержащие разновидности, образующиеся в условиях, аналогичных условиям образования алмаза. Известны уже довольно многочисленные находки ксенолитов эклогитов, содержащих алмазы, — более 30 образцов, — найденных в Якутии и Южной Африке. Вместе с тем, гранаты и пироксены, очень близкие по составу аналогичным минералам ксенолитов эклогитов, обнаружены в ряде случаев включенными в алмазы (⁷, ¹⁴). Известна также находка алмазов, содержащих включения рутила, в ксенолите алмазоносного эклогита (¹³).

Однако до настоящего времени еще не описаны включения граната и пироксена в кристаллах алмаза из таких ксенолитов, где можно было бы сравнить их состав с составом минералов породы.

Настоящая работа посвящена исследованию кристаллических включений, обнаруженных в алмазе одного из ксенолитов эклогитов (обр. № М-46) из кимберлитовой трубки «Мир». Сам ксенолит и слагающие его минералы описаны ранее (⁸). Материалы для данного исследования были любезно переданы нам А. И. Боткуновым, которому авторы выражают сердечную благодарность.

Алмаз, содержащий включения, представленный плоскогранным октаэдром, расположен на внешней стороне ксенолита округлой, сглаженной формы, имеющего около 1,5 см в поперечнике, и выступает из образца.

В алмазе обнаружена серия кристаллических включений, большая часть которых извлечена. Характерно, что часть включений имеет октаэдрическую огранку (⁹), часть представлена идиоморфными кристаллами. К включениям с октаэдрической огранкой относится клинопироксен, а также сросток клинопироксена и граната. Кроме того, включения клинопироксена встречаются в виде очень мелких (< 0,1 мм), сильно удлинённых кристалликов, окруженных темным ореолом (графитовым³). Зафиксировано три таких кристаллика. Два извлеченных включения рутила также представлены идиоморфными кристаллами.

При визуальной диагностике цвет минералов, извлеченных из алмаза и соответствующих минералов эклогита, оказался идентичным, — это светло-зеленый пироксен и желто-оранжевый гранат. Составы минералов из эклогита и алмаза определялись при помощи рентгеновского микроанализатора MS-46 в условиях, описанных в предыдущих работах (³, ⁶). Дополнительно подчеркнем, что все изучавшиеся минералы были смонтированы в одну и ту же шашку из эпоксидной смолы и состав соответствующих минералов сравнивался в процессе исследований. Для всех образцов анализ повторен трижды после переполитовки. Измеренные отношения интенсивностей исправлялись на поглощение рентгеновского излучения в образце (¹⁵), на влияние атомного номера излучателя (¹¹) и на флуоресценцию от характеристического спектра (¹⁶). Вычисление поправок проводилось на ЭВМ методом последовательных приближений.

Приведенные данные для минералов эклогита лишь немного отличаются от результатов предыдущих исследований состава из того же образца, выполненных методом химического анализа из весьма малых навесок (⁵).

Т а б л и ц а 1

Состав минералов алмазоносного эклогита (обр. № М-46, %)

	Гранат		Омфацит	
	в алмазе	в эклогите	в алмазе	в эклогите
SiO ₂	40,0	39,7	54,8	55,5
TiO ₂	0,46	0,43	0,48	0,56
Al ₂ O ₃	22,0	21,5	9,79	9,39
Cr ₂ O ₃	0,04	0,07	0,05	0,06
FeO	20,9	18,7	4,94	4,48
MnO	0,52	0,39	0,07	0,04
MgO	9,02	9,79	8,97	8,96
CaO	8,18	8,53	13,1	12,7
Na ₂ O	0,17	0,17	6,70	6,82
K ₂ O	—	—	0,30	0,08
Сумма	101,29	99,28	99,20	98,59
Si	3,001	3,014	1,981	2,007
Al ^{IV}	—	—	0,019	—
Ti	0,027	0,025	0,013	0,015
Al ^{VI}	1,947	1,924	0,398	0,400
Cr	0,002	0,004	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,024	0,047	0,071	0,065
Fe ²⁺	1,287	1,139	0,079	0,072
Mn	0,032	0,027	0,002	0,001
Mg	1,005	1,108	0,482	0,482
Ca	0,658	0,693	0,508	0,491
Na	0,027	0,027	0,469	0,478
K	—	—	0,014	0,004
Сумма катионов	8,010	8,008	4,037	4,017
Пироп	33,4	37,0		
Альмандин	42,7	38,0		
Спессартин	1,1	0,9		
Гроссуляр	20,1	20,2		
Андрадит	1,2	2,3		
Ti-андрадит	1,4	1,3		
Уваровит	0,1	0,2		
Fe/(Fe + Mg) (f)	56,6	51,7	23,7	22,1
Ca-компонент	22,8	24,0	51,3 *	50,5 *

* Ca/(Ca + Mg).

Приведенные результаты анализов (см. табл. 1) не только совершенно однозначно подтверждают, что включения в алмазе принадлежат к эклогитовому парагенезу, но и показывают, что по составу как граната, так и пироксена они очень близки минералам вмещающего эклогита. Таким образом, сингенетичность образования алмаза и эклогита не вызывает никаких сомнений.

Наряду с указанным сходством состава выявлены некоторые существенные, притом закономерные, отличия: 1) железистость и граната и пироксена, включенных в алмаз, оказалась выше (а не ниже!), чем железистость тех же минералов из эклогита; 2) содержание K₂O в пироксене, включенном в алмаз, почти в четыре раза превосходит содержание K₂O в пироксене эклогита.

И по данным экспериментов, и по результатам изучения природных парагенезисов для всех минералов, содержащих изоморфно замещающиеся Fe и Mg, считается установленным, что при кристаллизации из распла-

ва твердая фаза обладает более низкой железистостью по сравнению с расплавом и что с понижением температуры железистость расплава возрастает. Однако непосредственно диаграмма плавления системы алмадин—пироп пока отсутствует, и судить о ее форме можно лишь по аналогии с другими системами (например, форстерит—фаялит) и некоторым минералогическим данным.

Уже давно известно, что железистость граната обычно значительно выше железистости не только других сосуществующих силикатных минералов, но и пород, в которых он присутствует. Правда, для сложной системы, как, например, система оливин—гранат (форстерит—фаялит—пироп—алмадин) или моноклинный пироксен—гранат, это может быть связано с наклоном треугольника фаз, а не с обратным расположением его вершины и направленностью кристаллизации котектического расплава. В этом случае при одновременном выделении двух минералов общая железистость суммы твердых фаз будет меньше железистости расплава. То же самое будет относиться и к эволюции состава каждой из твердых фаз, в том числе и граната, как в двухкомпонентной, так и более сложной системе. Только при кристаллизации из жидкости одного граната будет происходить понижение железистости остаточного расплава, причем диапазон этого изменения будет зависеть от количества кристаллизовавшегося граната.

Большинство исследователей исходят из этой схемы, считая, что тип диаграмм плавления системы пироп—алмадин аналогичен другим системам магнезиально-железистых силикатов. Так, констатируя факт особо низкой железистости магнезиальных хромсодержащих гранатов, включенных в алмаз, Г. Мейер и Ф. Бойд⁽¹⁴⁾ объясняют его тем, что включения являются наиболее ранними кристаллами, выделившимися из расплава. Однако А. А. Маракушев в своей последней статье⁽²⁾, очевидно, отходит от такого представления, предполагая, что алмазоносные эклогиты с железистым гранатом являются реститовыми породами, после «выплавления бедных глиноземом ультраосновных магм», в том числе магм, отвечающих гранатовым перидотитам, в которых кристаллизующиеся гранаты гораздо богаче магнием. По-видимому, здесь идет речь о полной инверсии диаграммы алмадин—пироп с обогащением легкоплавкой части магнезиальным компонентом.

Если принять, что описанные эклогиты образовались полностью в результате магматического процесса, то в этом случае тоже придется говорить об обратной последовательности кристаллизации граната, так как более ранний гранат, включенный в алмаз, оказался более железистым. Мы не можем, однако, допустить такую схему для всего ряда магнезиальных гранатов. Из перидотитов Чешского массива Е. Федюковой отмечена нормальная зональность с повышением железистости в краевых частях. Подобный же тип зональности установлен и для гранатов из кимберлитов⁽⁴⁾.

При учете указанных данных можно было бы предположить, что кривые плавления ряда пироп—алмадин, по крайней мере в эвтектике с пироксеном ряда омфацита, будут иметь минимум, отвечающий приблизительно железистости граната $F = 40\%$. Такая диаграмма могла бы объяснить обратную зональность сравнительно железистых гранатов, нередко наблюдаемую для эклогитов земной коры^(1, 10, 12). Однако последняя может иметь и метаморфическое происхождение, так как подобная направленность зональности устанавливалась во многих минералах метаморфических пород.

Кроме железистости, должно быть объяснено изменение содержания K_2O в пироксенах. Система натрово-калиевых жадеитов, вернее стабилизирующая их часть, близкая к $NaAlSi_2O_6$, должна в этом случае относиться к первому типу Розебума, в то время как почти все подобные системы с изоморфным замещением $Na—K$ имеют минимум.

Отметим также, что и при подобном объяснении полученные данные не согласуются со схемой А. А. Маракушева ⁽²⁾ в целом, так как более калиевый пироксен во включениях парагенетически связан с более железистым, а не магнезиальным гранатом.

Более вероятным объяснением полученных данных, не требующим упомянутых допущений, является предположение позднейшего изменения состава минералов эклогита в мантии за счет частичной экстракции некоторых компонентов (калия и железа) под действием восходящих флюидов или частичного их выплавления. Подробное рассмотрение данной гипотезы выходит за рамки статьи.

Решение этих вопросов имеет весьма важное геологическое значение для обсуждения процессов в мантии Земли, и желательна постановка соответствующих экспериментальных исследований, а также поиски и изучение подобных включений в других алмазоносных ксенолитах.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
21 VII 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Д. Добрецов, Ю. Г. Лаврентьев и др., Геология и геофизика, № 7 (1971). ² А. А. Маракушев, Вестн. Моск. ун-ва, сер. 4, геол., № 2 (1972). ³ В. С. Соболев, Б. С. Най и др., ДАН, 188, № 5 (1969). ⁴ В. С. Соболев, А. Д. Харьков и др., ДАН, 206, № 6 (1972). ⁵ Н. В. Соболев, В. И. Пустынец и др., Геология и геофизика, № 3 (1969). ⁶ Н. В. Соболев, Ю. Г. Лаврентьев и др., ДАН, 189, № 1 (1969). ⁷ Н. В. Соболев, М. А. Гневущев и др., 198, № 1 (1971). ⁸ Н. В. Соболев и др., Тез. Международн. геохим. конгресса, М., 1971. ⁹ Н. В. Соболев, А. И. Боткупов и др., ДАН, 204, № 1 (1972). ¹⁰ P. D. Dudley, Am. Mineral., 54 (1969). ¹¹ P. Duncumb, S. Y. B. Reed, Quantitative Electron Probe Microanalysis, Nat. Bur. Stand. Spec. Publ., № 298, 133 (1968). ¹² B. W. Evans, Geol. Soc. Am. Spec. Pap., № 87, 54 (1966). ¹³ J. J. Gurney et al., Geol. Soc. South Afr. Spec. Publ., № 2 (1970). ¹⁴ H. O. A. Meyer, F. R. Boyd, Carn. Inst. Year Book, 68 (1970). ¹⁵ J. Philibert, Publ. Inst. Res. Ser. B, № 51 (1965). ¹⁶ S. J. B. Reed, Brit. J. Appl. Phys., 16, 913 (1965). ¹⁷ N. Shimizu, Earth and Planet Sci., Lett., 11, № 5 (1971).