

Академик В. С. СОБОЛЕВ, А. Д. ХАРЬКИВ, Н. В. СОБОЛЕВ,
Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ, Л. Н. ПОСПЕЛОВА

ЗОНАЛЬНЫЙ ГРАНАТ ИЗ КИМБЕРЛИТА ТРУБКИ «МИР»

Петрографическое изучение кимберлитов, проводящееся уже около 100 лет, показало, что они представляют собой сложные образования, в которых наряду с минералами, возникшими непосредственно при кристаллизации расплава, присутствует огромное количество ксеногенного материала, захваченного на разных уровнях — от обломков прорванных осадочных пород до минералов мантии. Более того, в настоящее время можно определенно говорить о магматической кристаллизации в самом кимберлите лишь минералов, образующихся во второй этап протомогматической стадии (⁴) и еще позднее, т. е. типичных, хорошо ограненных фенокристаллов, часто с флюидальным расположением и позднейших микролитов. Что касается минералов наиболее ранней стадии кристаллизации кимберлитов, в частности самого алмаза, то критерии их отличия от захваченных минералов часто представляются дискуссионными (⁶, ²).

Для устранения неопределенности при попытках различить ксеногенный материал и ранние продукты кристаллизации кимберлитовой магмы в самом очаге следует уделить особое внимание изучению тех случаев, где такое разделение может быть произведено по каким-то определенным дополнительным признакам. Из всех ранних минералов особый интерес, конечно, представляют гранаты, отличающиеся большим разнообразием (⁶) и большей частью являющиеся ксеногенными минералами.

К гранатам, кристаллизовавшимся в кимберлите, можно отнести зерна с резко выраженной зональностью, для которых известны единичные находки (⁹). Такое зерно хромсодержащего граната, обнаруженное в трубке «Мир» (обр. № М-49), и послужило объектом настоящего исследования. Зерно имеет шаровидную форму, размер — около 5 мм в поперечнике, покрыто очень тонкой оболочкой (0,05—0,1 мм) темно-серого цвета. Центральная часть зерна, окрашенная в фиолетово-красный цвет, почти не трещиновата ($N \sim 1,785$), содержит редкие включения хромшпинелидов в виде изометричных и игольчатых зерен. Периферическая зона граната трещиновата, и количество включений хромшпинелидов здесь резко возрастает. Эта зона имеет зеленовато-серую окраску ($N \sim 1,792$) и хорошо отличается от внутренней. Зональность носит концентрический характер, при некоторой асимметрии внешней зоны, в которой зафиксирована псевдоморфоза серпентина по оливину, размером около 0,7 мм в поперечнике.

Рентгеноспектральный анализ граната и зерен хромшпинелидов был выполнен на макроанализаторе MS-46 в условиях, описанных в (¹, ⁷, ⁸).

С целью изучения характера зональности анализ выполнялся по профилю по точкам с интервалом 40 μ и иногда 100 μ . Результаты исследования подтвердили наличие зональности: это четко выраженная внутренняя область, отличающаяся пониженным содержанием CaO (7,5%), и внешняя — повышенным (11—14%). Выделено семь зон граната различного состава (табл. 1) с интервалами, обозначенными на рис. 1.

Наиболее четко зональность проявлена в содержании CaO, MgO, Al₂O₃, Cr₂O₃ (см. рис. 1). Что касается содержания FeO, то четкий минимум его соответствует центральной зоне граната (зона 4). В этой же зоне пони-

жается и содержание титана. В периферической части граната (зоны 1, 5—7) с одной стороны образца зафиксирована трещиноватая область — «зона дробления», располагающаяся между зонами 6 и 7 (рис. 1), в которой встречены обломки зерен граната (табл. 1 (а)) и клинопироксена (б).

Общие особенности состава внешних зон граната свидетельствуют об их близости к составам зеленых гранатов из кимберлитов, для которых, по ряду признаков (⁶, ⁷), предполагается верлитовый парагенезис. Состав центральной зоны по содержанию CaO и Cr₂O₃ близок к составу гранатов из лерцолитового парагенезиса, отличаясь, однако, существенно более высокой железистостью.

Представляют интерес данные по составу хромшпинелидов (см. табл. 1). Изученные зерна, часто зональные (рис. 2), характеризуются переменным содержанием Al₂O₃ и Cr₂O₃, а также повышенной примесью титана. Характерна также повышенная роль Fe³⁺, устанавливаемая при пересчете анализов. Внутренняя зона многих зерен обогащена TiO₂ (рис. 2), обеднена Al₂O₃ и содержит больше магнетитового компонента (до 25 мол. %).

Таким образом, изученный гранат имеет совершенно особый характер как по своему зональному строению, так и по составу, отличаясь по ряду особенностей от наиболее распространенных в кимберлитах гранатов, относящихся к лерцолитовому парагенезису (рис. 3). Полученные результаты позволяют, прежде всего, отметить, что центральная часть зерна кристаллизовалась уже не в начальные стадии эволюции кимберлита. Об этом свидетельствует как более высокая железистость граната по сравнению не только с гранатами, встреченными в алмазах, но и с гранатами перидотитовых ксенолитов (рис. 3), так и состав хромита первой генерации, резко обогащенного магнетитовым компонентом и титаном. Установлено, что хромит такого состава явно неравновесен с алмазом, образуясь в значительно более окислительных условиях (⁶).

Зональность, прослеженная в изученном гранате, свидетельствует об общей тенденции изменения состава, начиная от умеренного содержания кальция, близкого таковому для лерцолитового парагенезиса, в сторону значительного обогащения Ca-компонентом с сохранением высокой хромистости.

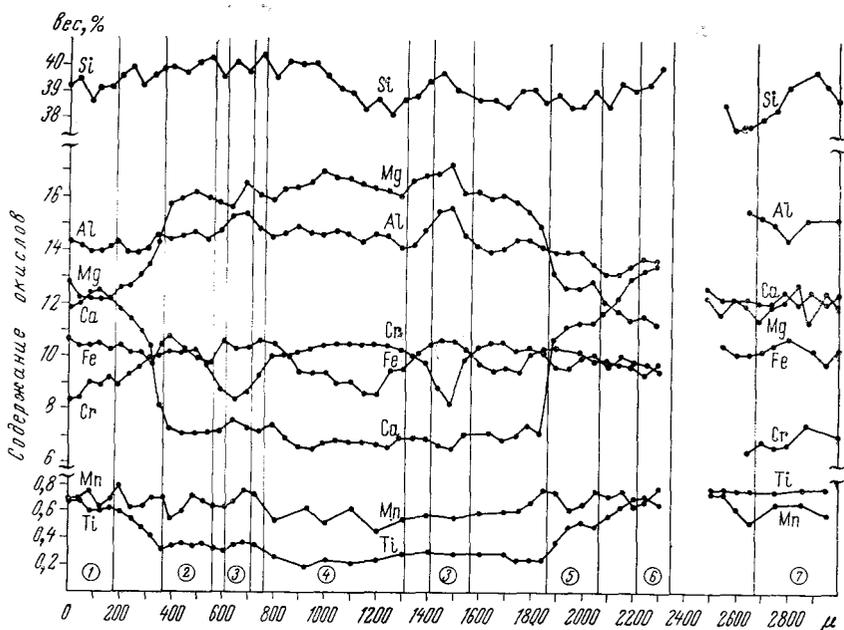


Рис. 1. Концентрационный профиль через зональный гранат обр. № М-49. Номера зон соответствуют таковым в табл. 1

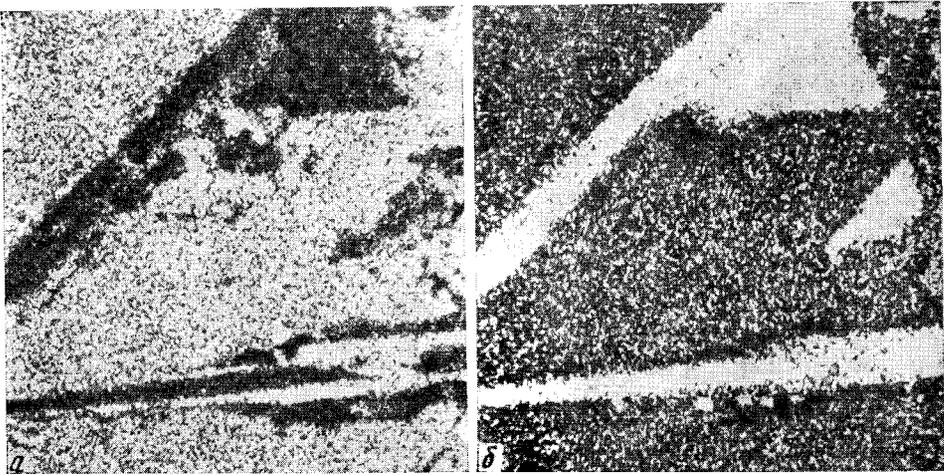


Рис. 2. Вростки зональных хромшпинелидов в гранате обр. № М-49. а — в рентгеновском AlK_{α} -излучении; б — в рентгеновском TiK_{α} -излучении. Участок $200 \times 200 \mu$

стости и повышением железистости (см. рис. 3). Резкое повышение глиноземистости хромшпинелида второй генерации может свидетельствовать о понижении давления. Однако это справедливо только для парагенезисов, содержащих ромбический пироксен. В данном же случае такое изменение состава хромшпинелидов может зависеть только от недостатка SiO_2 (при снижении температуры). При этом характерно, что в равновесии с более глиноземистым хромшпинелидом будет более кальциевый гранат.

Таблица 1

	Зоны пирропа							Включения в пирропе						
	1	2	3	4	5	6	7	гранат (а)	пирокс. (б)	хромиты			хромит из зоны б	
										х	у	z	а	б
SiO_2	39,1	40,1	40,3	39,5	38,8	39,7	39,2	39,4	50,7	0,17	0,19	0,18	0,21	0,19
TiO_2	0,70	0,35	0,31	0,24	0,52	0,76	0,76	0,60	1,10	2,21	2,39	2,24	4,53	2,00
Al_2O_3	14,1	14,5	15,5	14,6	13,9	13,8	15,3	16,4	6,11	16,3	23,1	14,0	5,08	17,8
Cr_2O_3 *	8,70	10,1	8,44	10,3	10,2	9,54	7,0	6,57	2,64	38,5	32,5	40,3	36,5	36,6
Fe_2O_3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,9	8,4	10,2	18,5	8,9
FeO	10,4	10,2	10,1	10,24	9,81	9,77	10,4	11,0	4,00	22,8	21,9	21,5	23,1	22,2
MnO	0,66	0,64	0,66	0,56	0,67	0,68	0,64	0,93	0,19	0,42	0,52	0,38	0,30	0,31
MgO	12,0	16,0	16,5	16,6	12,9	11,5	12,3	12,4	12,2	8,45	9,77	8,88	7,97	8,42
CaO	12,4	7,15	6,90	6,73	11,3	13,6	12,4	11,2	18,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na_2O	—	—	—	—	—	—	—	—	2,55	—	—	—	—	—
Сумма	98,06	99,04	98,71	97,77	98,10	99,35	98,00	98,50	97,79	98,75	98,77	97,68	96,19	96,42
Si	3,029	3,026	3,032	3,009	3,005	3,040	3,019	3,010	1,892	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Al^{IV}	—	—	—	—	—	—	—	—	0,108	—	—	—	—	—
Ti	0,042	0,023	0,018	0,014	0,028	0,046	0,046	0,037	0,031	0,055	0,057	0,056	0,123	0,050
Al^{VI}	1,284	1,288	1,374	1,310	1,265	1,242	1,389	1,478	0,162	0,634	0,870	0,552	0,215	0,702
Cr	0,532	0,612	0,506	0,621	0,623	0,577	0,426	0,396	0,076	1,002	0,820	1,068	1,032	0,966
Fe^{3+}	0,142	0,077	0,102	0,055	0,084	0,135	0,139	0,089	—	0,246	0,199	0,258	0,499	0,225
Fe^{2+}	0,533	0,567	0,535	0,531	0,549	0,491	0,532	0,613	0,126	0,628	0,582	0,603	0,690	0,620
Mn	0,042	0,041	0,041	0,037	0,042	0,046	0,042	0,060	0,07	0,012	0,013	0,010	0,009	0,012
Mg	1,387	1,801	1,848	1,887	1,488	1,311	1,412	1,414	0,679	0,414	0,461	0,445	0,426	0,417
Ca	1,028	0,581	0,557	0,550	0,940	1,118	1,023	0,918	0,731	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	—	—	—	—	—	—	—	—	0,184	—	—	—	—	—
j	32,7	26,3	25,6	23,7	29,8	32,3	32,2	33,2	15,7	58,1	53,1	55,1	57,1	57,8
Ca-номп.	34,4	19,4	18,7	18,3	31,1	37,7	34,0	30,5	47,6	—	—	—	—	—
Cr-номп.	26,6	30,6	25,3	31,1	31,2	28,9	21,3	19,8	22,0	50,1	41,0	53,4	51,6	48,3
Ca/Ca+Mg	—	—	—	—	—	—	—	—	51,8	—	—	—	—	—
Al-номп.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31,7	43,3	27,6	10,8	35,1
Ульвошпин.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,5	5,7	5,6	12,3	5,0
Магнетит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,3	10,0	12,9	25,0	11,3
K_0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28,2	25,6	30,1	42,0	26,5

* Для хромшпинелидов установлено после пересчета составов.

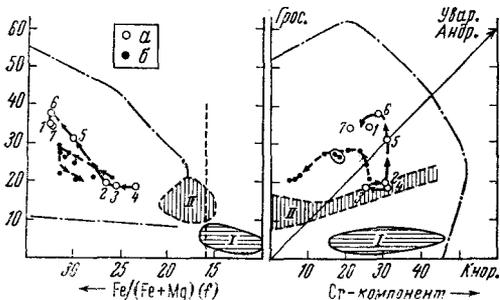


Рис. 3. Схема изменения состава зональных Mg—Fe-гранатов. а — обр. № М-49, указаны номера зон соответственно табл. 1; б — обр. № М-41, состав зон, в которых сосуществуют хромит и ильменит, обведены сплошной линией. Поле I — составы гранатов дунитового парагенезиса из алмазов, поле II — составы гранатов лерцолитов. Положение полей I и II нанесено по данным⁽⁶⁾. Вертикальная прерывистая линия отделяет магнезиальные гранаты из алмазов (справа) от ксенолитов лерцолитов. Границы поля составов природных хромосодержащих гранатов по данным⁽⁶⁾ показаны штрих-пунктирной линией

Результаты изучения зонального граната дают представление о последовательности кристаллизации его в кимберлитовом расплаве или, во всяком случае, о порядке эволюции перидотитового расплава при кристаллизации в какую-то промежуточную стадию. Указанный порядок эволюции подтверждается также данными предварительного исследования еще одного образца зонального граната из трубки «Мир» (обр. № М-41). Видно (рис. 3), что составы внутренних зон и порядок их изменения близки зонам 2—5 обр. № М-49. Однако во внешних зонах обр. № М-41 наблюдается четкое понижение содержания Cr_2O_3 и CaO , т. е. здесь фиксируются дальнейшие этапы последовательной эволюции расплава, лишь самое начало которых отражено в зонах 6, 1, 7 обр. № М-49.

Незональный хромит в обр. № М-41 аналогичен по составу хромиту а в табл. 1 первой генерации из обр. № М-49. При дальнейшей эволюции состава с понижением хромистости граната (обр. № М-41) кристаллизация хромита сменяется появлением ильменита, причем в одной из зон хромит и ильменит сосуществуют в гранате, содержащем 5,7—6,0% Cr_2O_3 . Ильменит этой зоны относится к ильменитам, наиболее обогащенным Cr_2O_3 (10,7%) среди известных в природных условиях. В менее хромистых зонах гранат содержит только включения ильменита с постепенно понижающейся примесью Cr_2O_3 , и, наконец, самая внешняя зона представлена ассоциацией граната, клиновироксена и ильменита, причем подобный состав граната, так же как и парагенезис, часто фиксируются в кимберлитах. Интервал железистости, особенно широкий для разных зон обр. № М-49 (от 24 до 33%), несколько более узок для обр. № М-41 (от 26 до 31,5%), причем для последнего железистость во внешних зонах даже понижается. Оливин в парагенезисе с гранатами должен характеризоваться изменением железистости приблизительно в интервале 10—15%⁽⁶⁾.

В дальнейшем следует особое внимание уделить изучению зональных зерен граната и других минералов в кимберлите, что поможет восстановить историю кристаллизации этих интереснейших пород, а также лучше понять общий путь или один из путей кристаллизационной дифференциации ультраосновного расплава в мантии.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
3 IV 1972

Алмазная лаборатория
Центрального научно-исследовательского
горноразведочного института цветных,
редких и благородных металлов
г. Мирный, ЯАССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Е. Лазько, Зап. Всесоюз. мин. общ., 100, в. 6 (1971). ² В. А. Милашев, там же, 89, в. 3 (1960). ³ Н. Н. Сарсадских, В. С. Ровша, там же, 89, в. 4 (1960). ⁴ Г. И. Смирнов, Геология и геофизика, № 12 (1970). ⁵ В. С. Соболев, Б. С. Най и др., ДАН, 188, № 5 (1969). ⁶ Н. В. Соболев, Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии, Автореф. докторской диссертации, М., 1971. ⁷ Н. В. Соболев, З. В. Бартошинский и др., ДАН, 192, № 6 (1970). ⁸ Н. В. Соболев, Ю. Г. Лаврентьев и др., ДАН, 189, № 1 (1969). ⁹ И. П. Илущин и др., Зап. Всесоюз. мин. общ., 90, в. 4 (1961).