

Н. В. СОБОЛЕВ, З. В. БАРТОШИНСКИЙ, Э. С. ЕФИМОВА,
Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ, Л. Н. ПОСПЕЛОВА

**АССОЦИАЦИЯ ОЛИВИН — ГРАНАТ — ХРОМДИОПСИД
ИЗ ЯКУТСКОГО АЛМАЗА**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 25 XII 1969)

В последние годы при помощи электронного микроскопа уже получены первые данные по прямым определениям химического состава минералов, включенных в алмаз^(6, 16, 17), указывающие на их особое положение в процессе глубинного минералообразования. Однако, несмотря на довольно значительное количество проанализированных сингенетических включений (около 50), данные по такому важному минералу, как хромдиопсид, полностью отсутствуют. Сведения по составу включений различных минералов из одного кристалла алмаза также очень ограничены и касаются только пар оливин — гранат, оливин — энстатит, оливин — хромит, гранат — хромит⁽¹⁷⁾, в то время как наиболее существенная информация для суждения об условиях кристаллизации могла бы быть получена при изучении пар пироксенов или пироксенов с гранатом.

В связи с этим большой интерес представляло исследование разнообразных включений содержащихся в алмазе из трубки «Удачная», Якутия (обр. № 57/9). При дроблении этого кристалла были извлечены: оливин (2 включения), гранат (2 включения), хромдиопсид, а также сросток граната и хромдиопсида. По количеству содержащихся разных минералов изученный набор включений является уникальным.

Алмаз представлял собой почти изометричный октаэдр размером около 8 мм в поперечнике и весом 0,851 г (4,25 карата). Грани октаэдра сложены серией толстых пластин роста дитригональной формы, смещенных друг относительно друга по направлению к ребрам и вершинам. Вокруг включений была развита тонкая система трещин.

Извлеченные из алмаза идиоморфные включения оливина и граната были подвергнуты гониометрическим исследованиям на двукружном гониометре ГД-1. Кристалл оливина (рис. 1) заметно вытянут вдоль [001]; его размеры $0,25 \times 0,14 \times 0,18$ мм. Из-за незначительных размеров кристалла и слабых сигналов с расплывчатыми контурами рт большинства граней регистрация сферических координат для них производилась по отблескам. В связи с этим разница между измеренными и вычисленными значениями координат ϕ и ρ для отдельных форм достигает 2° .

Центральные части граней вертикального пояса оказались гладкими и плоскими, а периферические — закругленными; по сути, на месте ребер здесь присутствовали узкие, а местами и довольно широкие цилиндрические поверхности. Наиболее крупными гранями были плоскости $a\{010\}$; также хорошо развитыми, но значительно уступающими им по размеру оказались грани $u\{540\}$ и $z\{140\}$. В виде очень узких плоских полосок наблюдались плоскости $r\{130\}$ и $t\{180\}$. Все эти формы, за исключением $t\{180\}$, ранее не наблюдавшейся на оливине, обычны для индивидов этого минерала. Грани на головках значительно уступали по размеру граням вертикального пояса и в той или иной степени слегка закруглены. Среди них установлены следующие формы: $\theta\{304\}$, $h\{499\}$, $s\{132\}$, $y\{152\}$, $x\{172\}$, $p\{221\}$, $\phi\{142\}$; на кристаллах оливина других генетических типов такие формы до сих пор не встречены. Наиболее крупными из них являются грани $s\{132\}$ и $x\{172\}$, остальные — очень мелкие (см. рис. 1).

Включение граната представляет собой ограненный кристалл октаэдрического габитуса с размерами $0,30 \times 0,19 \times 0,17$ мм, сильно удлинённый

вдоль одной из осей L_2 (рис. 2). На месте вершин октаэдра, вследствие искажения, присутствовали довольно длинные, плавно закругленные ложные ребра. Доминирующее положение на кристалле занимали разновеликие грани октаэдра, которые давали на гониометре очень яркие и четкие сигналы; на одной из граней $o\{111\}$ присутствовал крупный нарост, обнаруживший слоистое строение. На месте ребер октаэдра развиты узкие цилиндрические поверхности, местами с тончайшей продольной штриховкой, дающие на гониометре сигналы в виде тонких прямолинейных лучей. На каждом таком луче фиксировался один довольно яркий, но расплывча-

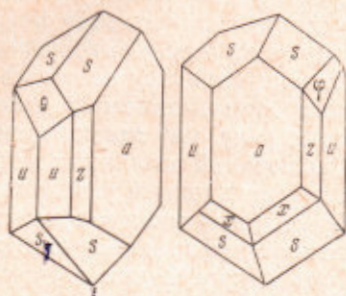


Рис. 1. Кристалл оливина из алмаза

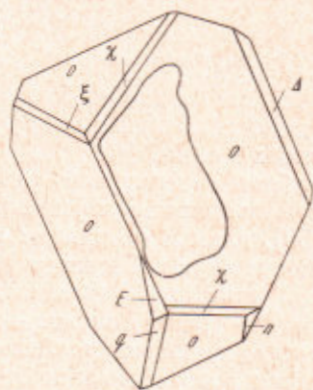


Рис. 2. Кристалл граната из алмаза

тый сигнал. Замеры этих рефлексов показали, что по своему кристаллографическому положению они наиболее близки к тригон-триоктаэдрам $q\{331\}$, $\xi\{551\}$, $\chi\{991\}$ и $\Delta\{774\}$; кроме того, в единичных случаях были встречены очень слабо закругленные тетрагон-триоктаэдры $n\{445\}$ и гексоктаэдр $E\{453\}$. Гранаты октаэдрического габитуса являются исключительной редкостью⁽¹¹⁾, в гранатах же из алмазов визуально фиксировались только ромбододекаэдры⁽²⁾. Эта же форма наряду с тетрагон-триоктаэдром отмечена для синтетических Ширпов⁽¹⁾.

Рентгеноспектральный анализ включений был выполнен на микроанализаторе MS-46 в условиях, описанных в^(4, 6). Измеренные отношения интенсивностей исправлялись на поглощение рентгеновского излучения в образце по методу Филибера⁽¹⁹⁾, на влияние атомного номера излучателя — по Дункамбу — Риду⁽¹⁰⁾ и на флуоресценцию от характеристического спектра — по Риду⁽²⁰⁾. Вычисление поправок проводилось на ЭВМ методом последовательных приближений.

В табл. 1 приведены результаты анализа оливина, предварительно изученного гониометрически (ан. 1), наиболее крупного изолированного включения граната, имеющего размер по длинной оси 0,8 мм (ан. 2), хромдиоксида (ан. 4) и включения в нем (ан. 6). Дополнительно был исследован состав граната (ан. 3) и хромдиоксида (ан. 5) из сростка (рис. 3, см.клейку к стр. 1347).

Бесцветный оливин характеризуется высоким содержанием форстерита (94%) и по количеству примеси Cr_2O_3 ⁽¹⁸⁾ аналогичен оливинам из алмазов, отличаясь от оливинов из кимберлитов и гипербазитов.

Гранат, имевший непосредственно в алмазе необычную чернильно-синюю окраску, был первоначально диагностирован рентгенографически. После извлечения из алмаза окраска граната оказалась синевато-фиолетовой. Составы обоих гранатов (табл. 1, ан. 2, 3) отличаются, в основном, в пределах погрешности анализа. Основным их отличием от известных хромсодержащих гранатов из алмазов и ксенолитов алмазосодержащих перидотитов является очень высокое содержание кальциевого компонента (около 36%)^(4, 6, 16). Они близки к некоторым редким разновидностям ширпов-уваровитовых гранатов из кимберлитов^(6, 23), отличаясь, однако, от

них пониженной железистостью. Они содержат (мол. %): пирона 57,1 и 58,0; альмандина 5,8 и 5,7; шпессарита 0,6 и 0,6; гроссуляра 7,0 и 6,8; андрагита 5,9 и 6,1; уваровита 23,6 и 22,8. $N_{\text{замер}} = 1,769$; $N_{\text{рассчит}}^{(21)} 1,768$.

Хромдиоксиды (табл. 1, ан. 4, 5) характеризуются практически полным отсутствием Al^{IV} , повышенным значением отношения $Cr / (Cr + Al)$ и тенденцией к некоторому накоплению K_2O , аналогично пироксенам алмазовых эклогитов (3). Составы двух пироксенов близки при незначительных отличиях по содержанию глинозема и железа.

Таблица 1
Химический состав минералов, извлеченных из алмаза (обр. № 59/7)

	Оливин		Гранаты		Хромдиоксиды		Включ. в хромдиоксид
	1	2	3	4	5	6	
SiO ₂	41,4	41,0	41,0	55,4	54,1	62,0	
TiO ₂	—	0,46	0,42	0,07	0,10	—	
Al ₂ O ₃	0,02	16,2	16,3	1,75	1,50	0,7	
Cr ₂ O ₃	0,06	8,00	7,82	1,65	1,62	0,7	
FeO*	6,00	4,66	4,64	1,36	1,11	1,6	
MnO	0,11	0,30	0,29	0,03	0,03	—	
MgO	52,9	15,2	15,5	16,6	16,8	27,0	
CaO	0,04	13,5	13,3	21,4	22,1	9,3	
N ₂ O	0,02	0,07	0,06	1,40	1,31	0,4	
K ₂ O	(NiO 0,34)	0,00	0,00	0,15	0,14	—	
Сумма	100,89	99,39	99,33	99,81	98,81	101,7	
Si	0,991	3,031	3,031	1,999	1,979	2,09	
Al ^{IV}	—	—	—	0,001	0,021	—	
Ti	—	0,026	0,024	0,002	0,002	—	
Al ^{VI}	—	1,413	1,422	0,072	0,045	0,03	
Cr	0,001	0,470	0,456	0,048	0,048	0,02	
Fe ³⁺ **	—	0,117	0,122	—	—	—	
Fe ²⁺	0,121	0,172	0,167	0,041	0,033	0,04	
Mn	0,002	0,018	0,018	—	—	—	
Mg	1,887	1,676	1,711	0,893	0,917	1,36	
Ca	0,001	1,071	1,053	0,828	0,866	0,34	
Na	(Ni 0,006)	0,008	0,008	0,100	0,092	0,02	
K	—	—	—	0,007	0,007	—	
Fe/(Fe + Mg) (f), %	6,0	14,6	14,5	4,4	3,5	3,0	
Ca/(Ca + Mg), %***	—	36,4	35,6	48,1	48,6	20	
Cr/(Cr + Al), %	—	24,9	24,3	39,3	42,1	—	

* Все железо в виде FeO. ** Только для гранатов, в дополнение до 2,00. *** Для гранатов — содержание кальциевого компонента.

В изолированном включении хромдиоксида обнаружены мелкие (5–10 μ) округлые выделения, анализ которых (табл. 1, ан. 6) показал их принадлежность к пироксену типа пижонита, однако с более высоким отношением $Ca / (Ca + Mg)$ и низкой железистостью.

При интерпретации полученных результатов прежде всего возникает вопрос о возможности рассмотрения охарактеризованных минералов в одном алмазе в качестве равновесных фаз. Подтверждением предположения об их равновесном характере может служить: 1) наличие сростка гранат — хромдиоксид и 2) идентичность составов изолированных включений (ан. 2, 4) и составов тех же минералов сростка (ан. 3, 5). Дополнительным подтверждением такого предположения могут служить данные по составу двух гранатов (обр. 15) и хромитов (обр. 3) из одного алмаза в каждом случае (17), а также получение нами (Н. В. Соболев, новые данные) одинаковых значений для двух хромовых гранатов из одного алмаза и аналогичные данные С. И. Футергендлер (устное сообщение).

Наиболее необычным для граната в ассоциации с оливином в природе является впервые фиксируемое резко повышенное содержание кальциевого

компонента (36%) по сравнению с таковым для перидотитовой ассоциации в присутствии энстатита 11—18% (5, 8). Эта особенность граната позволяет исключить энстатит в качестве минерала, возможного в данной ассоциации, так как состав граната в равновесии с энстатитом, форстеритом и диопсидом очень мало зависит от давления (8). В то же время область состава гранатов в парагенезисе диопсид — форстерит, хотя и близка к отмеченной величине при давлениях порядка 20 кбар, сильно расширяется при повышении давления (14); до 45% Ca-компонента при $P = 45$ кбар, $T = 1300^\circ$.

Что касается температуры, то отсутствие в парагенезисе энстатита делает невозможной оценку ее по отношению $Ca / (Ca + Mg)$ в диопсиде (9). Нижний предел температуры можно оценить по появлению восточков пикролита необычного состава. По экспериментальным данным, (13), даже при атмосферном давлении такой распад возможен при температурах не ниже 1100° , если учитывать, что в данном случае распад мог произойти уже после падения давления. Судя по данным МакГрегора (14), давление можно оценить цифрой более 40 кбар.

Таким образом, в дополнение к двум известным алмазосодержащим ассоциациям: оливин + Cr-пироп и гранат + омфацил, — в настоящей работе охарактеризован новый, третий, тип ассоциации, содержащей алмаз, отличающийся по составу минералов от известных в природе парагенезисов. Пока трудно судить о распространенности описанной ассоциации в поле устойчивости алмаза. Однако установление ее позволяет предположить возможность находок в алмазах единичных включений хромдиопсида с высоким отношением $Ca / (Ca + Mg)$, близким к 0,50, аналогично большинству зерен хромдиопсидов из кимберлитового концентрата (7).

Повышенная величина $K_d Cr / (Cr + Al)$ для граната и пироксена индивидуальных включений и сростка соответственно (0,52—0,44) согласуется со сделанным нами предварительным выводом (22) и данными МакГрегора (15) о влиянии давления на относительное повышение содержания Cr в сосуществующих фазах пироповых перидотитов.

В заключение отметим, что приведенные данные открывают также возможность более определенного суждения о преимущественном распределении рассеянных содержаний K_2O при высоких давлениях в пироксеновой фазе (12). Представляет интерес также обнаружение Na_2O в гранате.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
28 X 1969

Львовский государственный университет
им. Ив. Франко

Амакинская экспедиция Якутского территориального
геологического управления
пос. Нюрба, ЯАССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. С. Медведева, С. В. Попова, Геохимия, № 11 (1969). ² Ю. Л. Орлов, Тр. Минерал. музей, в. 10 (1959). ³ В. С. Соболев и др., В сборн. Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенного минералообразования, 1967. ⁴ В. С. Соболев и др., ДАН, 188, № 5 (1969). ⁵ Н. В. Соболев, Парагенетические типы гранатов, «Наука», 1964. ⁶ Н. В. Соболев и др., ДАН, 189, № 1 (1969). ⁷ F. R. Boyd, Am. J. Sci., Schairer Vol., 267-A (1969). ⁸ F. R. Boyd, Carn. Inst. Year Book, 68 (1970). ⁹ B. T. C. Davis, F. R. Boyd, J. Geophys. Res., 71, 3567 (1966). ¹⁰ P. Duncumb, S. J. B. Reed, Quantitative Electron Microprobe Microanalysis, Nat. Bur. Stand. Spec. Publ., № 298, 133 (1968). ¹¹ V. Goldschmidt, Kristallographische Winkeltabellen, Berl., 1897. ¹² K. Ito, T. Matsumoto, N. Kawai, J. Geosci. Osaka City Univ., 11, Art. 1 (1968). ¹³ I. Kushiro, Am. J. Sci., Schairer Vol., 267-A (1969). ¹⁴ I. D. MacGregor, Carn. Inst. Year Book, 64 (1965). ¹⁵ I. D. MacGregor, Intern. Symp. Phase Transformations, Abstr. Vol., 80 (1969). ¹⁶ H. O. A. Meyer, Science, 160, 1446 (1968). ¹⁷ H. O. A. Meyer, Carn. Inst. Year Book, 67 (1969). ¹⁸ H. O. A. Meyer, F. R. Boyd, Carn. Inst. Year Book, 68 (1970). ¹⁹ J. Philibert, X-ray Optics and X-ray Microanalysis, N. Y., 1963, p. 379. ²⁰ S. J. B. Reed, Brit. J. Appl. Phys., 16, 913 (1965). ²¹ B. I. Skinner, Am. Mineralogist, 44, № 5—6 (1956). ²² N. V. Sobolev, Phys. Earth. Planet. Inter. Canberra Proc., 1968. ²³ N. V. Sobolev et al., J. Petrol., 9, № 2 (1968).