

Б. А. МАЛЬКОВ, Т. Н. ПОПОВА

## ХРОМШПИНЕЛИДЫ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТИИ КАК КРИТЕРИЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 29 V 1972)

Хромшпинелиды — характерные акцессорные минералы кимберлитов. Они встречаются в магматическом цементе кимберлитов в виде отдельных зерен, сростков с алмазом и другими минералами и в составе ксенолитов ультраосновного и основного состава.

Содержание хромшпинелей в кимберлитах колеблется в пределах от десятитысячных до десятых долей процента к весу породы <sup>(1)</sup>. Для алмазоносных районов Якутии — Мало-Ботуобинского, Алаkitского, Далдынского, Верхне-Мунского характерны относительно пониженные содержания от 0,0015 до 0,009% по сравнению с неалмазоносными Алданским и Куойкским (0,054—0,16%) <sup>(2)</sup>.

Хромшпинелиды — наиболее распространенные из сингенетических включений в алмазах. Они наряду с оливином, пиропом, хромдиопсидом, энстатитом, рутилом и коэситом рассматриваются как парагенетические спутники алмаза. Неоднократно отмечалась поисковая роль пироба, хромдиопсида и выявлены их типоморфные разновидности, встречающиеся в ассоциации с алмазами. Противоречивые заключения делались относительно поискового значения хромшпинелидов. Одни исследователи <sup>(3)</sup> указывали на прямую связь между содержанием хромшпинелей и алмазоносностью кимберлитов, другие <sup>(2)</sup> справедливо отмечали, что наиболее высокие содержания хромшпинелей установлены в кимберлитах Алданского и Куойкского полей — самых бесперспективных в отношении алмазоносности.

Наши исследования привели нас к выводу, что показателем алмазоносности может служить не общее количество хромшпинелей, а только их определенной фракции, химический состав и физические свойства которой отвечают хромитам, ассоциирующим с алмазами.

Физическими и химическими методами установлены широкие вариации физических свойств и химического состава хромшпинелей <sup>(1, 2, 4-6)</sup>. Состав хромшпинелидов из кимберлитов почти строго укладывается в пределы одного изоморфного ряда хромит — шпинель ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  —  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), так как содержание трехвалентного железа обычно мало и соответствует не более 3—5%  $\text{Le}^{3+}$ -компонента <sup>(5)</sup>. Естественно, что параметры элементарной ячейки варьируют в пределах 8,36—8,08 Å, отвечающих конечным членам вышеприведенного изоморфного ряда.

Большинство химических анализов хромшпинелидов из концентратов обогащения различных трубок, известное из литературы <sup>(1, 2)</sup>, отвечает смесям хромшпинелей. Поэтому замеренные параметры элементарной ячейки более или менее случайны и, строго говоря, не всегда соответствуют приводимым химическим составам. Большую ценность имеют определения химического состава хромшпинелидов, выполненные на отдельных зернах при помощи рентгеновского микроанализатора <sup>(6)</sup> и позволяющие производить расчеты параметров элементарной ячейки для этих зерен по известному для шпинелей уравнению регрессии <sup>(7)</sup>.

Таблица 1

Параметры элементарной ячейки  $a_0$  и содержание Сг-компонента в различных фракциях хромшпинелидов из кимберлитов

| № пробы | Фракция              | $a_0$ , Å | Сг-<br>-комп.,<br>мол. % | № пробы | Фракция              | $a_0$ , Å | Сг-<br>-комп.,<br>мол. % |
|---------|----------------------|-----------|--------------------------|---------|----------------------|-----------|--------------------------|
| УВ-1а   | Слабомагнитная       | 8,349     | 89                       | ТЗ-а    | Не определена        | 8,354     | 91                       |
| УВ-1б   |                      | 8,341     | 86                       | ТЗ-б    | »                    | 8,350     | 90                       |
| УВ-2    | Электромагнитная 1-я | 8,324     | 81                       | ТЗ-в    | »                    | 8,294     | 71                       |
| УВ-3    | » 2-я                | 8,315     | 78                       | ТЗ-2    | Электромагнитная 1-я | 8,260     | 60                       |
| УВ-4    | » 3-я                | 8,323     | 80                       | ТЗ-3    | » 2-я                | 8,296     | 71,5                     |
| УВ-5    | » 4-я                | 8,207     | 41,5                     | ТЗ-4    | » 3-я                | 8,157     | 25                       |
| УЗ-1    | Слабомагнитная       | 8,310     | 76                       | ТО-1    | Электромагнитная     | 8,245     | 54                       |
| ТМ-1    |                      | 8,359     | 92                       | ТО-2    | »                    | 8,235     | 51                       |
| ТМ-2    | Электромагнитная 1-я | 8,340     | 86                       | ТО-3    | »                    | 8,223     | 47                       |
| ТМ-3    | » 2-я                | 8,324     | 81                       | ТО-4    | »                    | 8,216     | 45                       |
| ТМ-4    | » 3-я                | 8,173     | 30                       | ТО-5    | »                    | 8,205     | 41                       |
| ТМ-5    | » 4-я                | 8,181     | 33                       | ТО-6    | »                    | 8,197     | 38,5                     |
| ТА-1а   | Слабомагнитная       | 8,310     | 76                       | ТО-7    | »                    | 8,140     | 20                       |
| ТА-1б   |                      | 8,304     | 74                       | ТР-1    | »                    | 8,250     | 56                       |
| ТА-2    | Электромагнитная 1-я | 8,340     | 53                       | ТР-2    | »                    | 8,217     | 45                       |
| ТА-3    | » 2-я                | 8,227     | 48,5                     |         |                      |           |                          |
| ТА-4    | » 3-я                | 8,233     | 50,5                     |         |                      |           |                          |
| ТА-5    | » 4-я                | 8,182     | 34                       |         |                      |           |                          |

Примечание. УВ — трубка Удачная Восточная; УЗ — Удачная Западная; ТМ — трубка Мир; ТА — трубка Айхал; ТЗ — трубка Загадочная (а — включение в хромдиопсиде, б — включение в хромдиопсиде, в — включение в диловом пиропе из сростка с хромдиопсидом); ТО — трубка Обнаженная; ТР — трубка Руслонная (Куойское поле). Условия съемки: Fe-излучение;  $D = 57,3$  мм;  $d = 0,35$  мм; асимметричный метод; промер на компараторе с точностью до 0,01. Точность определения  $a_0 = \pm 0,001$  Å. Съемка производилась из одного зерна.

С целью строгой корреляции физических свойств и химического состава пробы хромшпинелидов из якутских кимберлитов разделялись методом магнитной сепарации на пять фракций в порядке убывания магнитных свойств. При помощи магнита С-5 А. Я. Сочнева нами извлекалась слабомагнитная фракция (первая), при помощи изодинамического сепаратора СИМ-1 — остальные (вторая — пятая) электромагнитные фракции.

Было установлено, что с убыванием магнитности происходят закономерное уменьшение параметров элементарной ячейки (см. табл. 1), уменьшение удельного веса, смена темноокрашенных разновидностей светлоокрашенными, закономерное смещение полос поглощения в и.-к. спектрах.

Соотношение фракций в концентратах хромшпинелидов из различных кимберлитовых трубок неодинаково. В концентратах обогащения присутствуют хромшпинелиды с более широким диапазоном свойств (и соответственно фракций), чем в определенных разновидностях ультраосновных ксенолитов. Малохромистые разновидности хромшпинелидов с низкими значениями  $a_0$  (8,1—8,2 Å) характерны для перидотитов и пироксенитов; более хромистые с  $a_0$  8,20—8,24 Å — для дунитов и гранатовых перидотитов (<sup>4</sup>, <sup>6</sup>). Для хромшпинелидов из включений в якутских, африканских и уральских алмазах установлены наиболее высокие значения параметров элементарной ячейки  $a = 8,29$ — $8,37$  Å (2,8—10), отвечающие хромитам с весьма высоким (более 75—80%) содержанием хромового компонента (<sup>5</sup>). Хромитовые включения в алмазе содержат хрома больше, чем хромит из любого другого земного источника. Они сопоставимы с хромитами из палласитов и из силикатных включений в железных метеоритах (<sup>11</sup>). Максимальное содержание Сг-компонента в хромитах обычных ультрабазитов около 80% при  $a_0 = 8,31$  Å (<sup>12</sup>).

Расчет параметров элементарной ячейки для хромитов, включенных в алмазы или находящихся в сростании с ними, был выполнен нами по

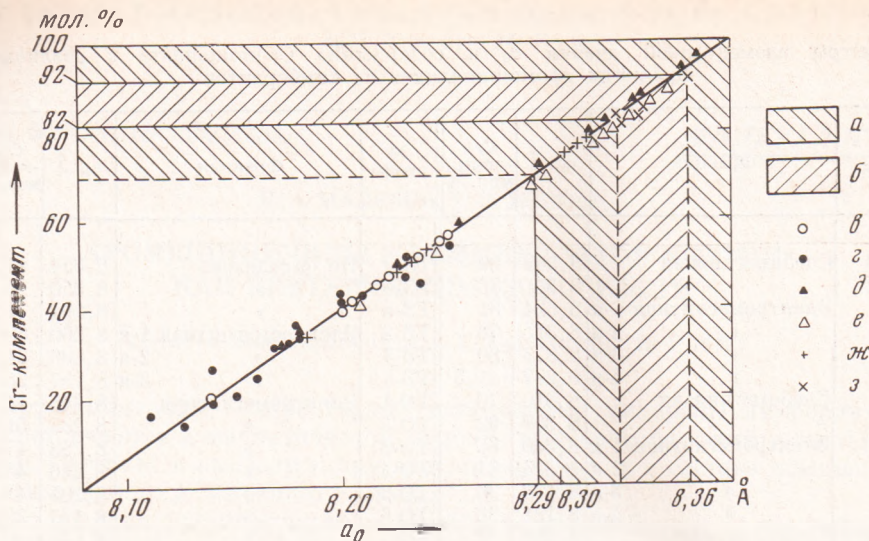


Рис. 1. Области состава и рентгенометрических параметров хромшпинелидов алмазонасной и неалмазонасной ассоциаций. *а* — область состава хромшпинелидов алмазной ассоциации по рентгенометрическим данным; *б* — та же область для трубки Мир по данным рентгеновского микроанализа <sup>(5)</sup>; *в*, *г* — составы хромшпинелидов из неалмазонасных кимберлитовых трубок Русловой, Обнаженной по нашим (*в*) и литературным (*г*) данным <sup>(6)</sup>; *д*, *е*, *ж* — составы хромшпинелидов алмазонасных кимберлитов из трубок Мир (*д*), Удачная Восточная (*е*), Айхал (*ж*) по нашим данным; *з* — составы хромшпинелидов алмазной ассоциации из трубки Мир по литературным данным <sup>(5)</sup>

известному для шпинелей <sup>(7)</sup> уравнению регрессии по результатам рентгеновского микроанализа пяти образцов из трубки Мир <sup>(5)</sup>. Для хромитов с содержанием Сг-компонента от 82 до 92% были получены  $a_0 = 8,33—8,36 \text{ Å} (\pm 0,015)$ , показывающие хорошее совпадение замеренных и рассчитанных значений  $a_0$ , что позволяет определять содержание Сг-компонента в хромшпинелидах даже в одном зерне по параметрам их элементарной ячейки, не прибегая к пока еще малодоступному рентгеновскому микроанализу (рис. 1).

Можно предполагать, что хромшпинелиды алмазного парагенезиса кристаллизуются одновременно с алмазами в кимберлитовой магме и частично попадают в кимберлит при дезинтеграции алмазонасных эклогитов и пироповых перидотитов.

Сравнение физических свойств и химического состава хромшпинелидов из кимберлитов алмазонасных и неалмазонасных районов выявляет существенное различие в их качественном составе. Параметры решетки наиболее хромистых шпинелидов из неалмазонасных трубок типа Обнаженной (Куйокское поле) не достигают тех значений, которые характерны для алмазного парагенезиса. В трубках алмазонасных кимберлитовых полей всегда присутствует некоторая фракция хромшпинелидов с параметрами элементарной ячейки, типичными для алмазного парагенезиса. Это хорошо иллюстрируется имеющимися в литературе рентгенометрическими данными хромшпинелидов из кимберлитовых трубок Мир, Айхал, Удачная Западная, Удачная Восточная <sup>(1, 2)</sup> и имеющимися у нас новыми рентгенометрическими данными по тем же и ряду других алмазонасных и неалмазонасных трубок (см. табл. 1).

Четкие типоморфные особенности хромитов, ассоциирующих с алмазами, позволяют использовать их в качестве надежного индикатора алмазонасности кимберлитовых полей в случае обнаружения таких высокохромистых с содержанием Сг-компонента более 75—80% разновидностей в протолочных пробах и концентратах обогащения. Принадлежность хром-

шпинелидов из кимберлитов почти к строгому бинарному изоморфному ряду хромит — шпинель исключает неопределенность, типичную для тройных систем <sup>(13)</sup>, и позволяет использовать для определения содержаний хромового компонента параметры элементарной ячейки.

Хромиты с параметрами, типичными для алмазной ассоциации, возникали одновременно с алмазами в магматических очагах в пределах верхней мантии только при реализации благоприятных для синтеза алмаза физико-химических условий. Если условия были иными, синтеза алмаза и хромита не происходило. Рождались хромшпинелиды менее хромистого состава и другие модификации углерода.

Институт геологии  
Коми филиала  
Академии наук СССР  
Сыктывкар

Поступило  
24 V 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. П. Бобриевич и др., Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии, 1964. <sup>2</sup> В. С. Ровша, И. П. Илупин, Геология и геофизика, № 2 (1970). <sup>3</sup> Н. Л. Добрецов, А. Д. Харьков, М. Л. Шемякин, Геология и геофизика, № 8 (1966). <sup>4</sup> В. А. Милашев, Зап. Всесоюз. минералогич. общ., в. 3 (1960). <sup>5</sup> Н. В. Соболев, А. И. Боткунов и др., Зап. Всесоюз. минералогич. общ., в. 5 (1971). <sup>6</sup> А. В. Уханов, Геохимия, № 9 (1970). <sup>7</sup> Т. А. Яковлевская, Минералогич. сборн., № 19 (1965). <sup>8</sup> С. И. Футергендлер, В сборн. Материалы по изучению алмазов и алмазоносных районов СССР, Л., 1960. <sup>9</sup> М. А. Гневушев, Э. С. Николаева, Тр. Якутск. фил. СОАН СССР, № 6 (1961). <sup>10</sup> I. F. Harris, Industr. Diamond. Rev., 28, № 334 (1968). <sup>11</sup> H. O. A. Meyer, F. R. Boyd, Carn. Inst. Wash. Yearb., 68 (1970). <sup>12</sup> Минералы, «Наука», 2, в. 3 (1967). <sup>13</sup> W. C. Allen, Am. Mineral., 51 (1966). <sup>14</sup> R. K. Datta, R. Ray, Am. Mineral., 53 (1968).