

УДК 549.632

МИНЕРАЛОГИЯ

В. С. СУКНЕВ, В. И. КИЦУЛ, Ю. Д. ЛАЗЕБНИК, А. А. БРОВКИН  
**О ПРИСУТСТВИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ CO<sub>2</sub>  
В КОРДИЕРИТАХ ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ И ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 14 VII 1970)

Наличие в структуре кордиерита достаточно больших резервных полостей-каналов обуславливает потенциальную возможность размещения в них объемистых структурных единиц. В настоящее время достоверно установлено присутствие в полостях-каналах кордиерита катионов щелочных металлов и молекул H<sub>2</sub>O<sup>(1)</sup>. Можно допустить, что при кристаллизации кордиеритов в минералообразующей среде, содержащей CO<sub>2</sub>, последняя в благоприятных термодинамических условиях также будет входить в структурные полости-каналы. Подтверждением этого может являться установление в структурном аналоге кордиерита — берилле ориентированных молекул CO<sub>2</sub> в полостях-каналах в количестве не менее 0,1 вес. %<sup>(2)</sup>. В литературе<sup>(3)</sup> уже сообщалось о вероятном присутствии CO<sub>2</sub> в кордиеритах по данным и.-к. спектроскопии.

С целью изучения CO<sub>2</sub> в кордиеритах были подобраны образцы кордиеритсодержащих метаморфических пород из амфиболитовой и гранулитовой фаций Алданского и Анабарского кристаллических массивов, кристаллизовавшихся, по современным представлениям, в условиях высоких температур и давлений в присутствии флюида, богатого CO<sub>2</sub>; для сравнения взят один образец из кордиеритсодержащего пегматита роговиковой фракции контактного метаморфизма (см. табл. 1). Извлеченные из этих образцов мономинеральные фракции кордиеритов растирали в порошок, смешивали с 800 мг КВг и при помощи пресс-формы РВ-20 изготавливали диски плотностью 1,0 мг/см<sup>2</sup>. Прессование проводили в вакууме 0,1 мм

Таблица 1

Содержание CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O<sub>общ</sub>, условное поглощение полосы ν<sub>3</sub> и показатели преломления кордиеритов

| № обр.   | CO <sub>2</sub> ,<br>вес. % | I <sub>ν<sub>3</sub></sub> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> , вес. % |                         | N непрокал.<br>обр. |                 | N прокал.<br>обр. |                 | $\frac{N_{g1} + N_{p1}}{2} - \Delta N$ | $\frac{N_{g2} + N_{p2}}{2}$ |
|----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------|
|          |                             |                            | метод<br>Пен-<br>фильда                | метод<br>абсорб-<br>ции | N <sub>g1</sub>     | N <sub>p1</sub> | N <sub>g2</sub>   | N <sub>p2</sub> |                                        |                             |
| В-24-П   | 0,60                        | 0,30                       | Не опр.                                | 0,49                    | 1,543               | 1,543           | 1,532             | 1,525           | 1,528                                  | 1,528                       |
| К-17/2   | 0,59                        | 0,40                       | " "                                    | 0,92                    | 1,545               | 1,536           | 1,534             | 1,526           | 1,526                                  | 1,530                       |
| И-555/4  | 0,27                        | 0,21                       | 0,74                                   | 0,71                    | 1,546               | 1,535           | 1,536             | 1,528           | 1,531                                  | 1,532                       |
| К-223/03 | 0,61                        | 0,40                       | 1,47                                   | 0,84                    | 1,549               | 1,538           | 1,539             | 1,530           | 1,530                                  | 1,533                       |
| В-562/3  | Не опр.                     | 0,25                       | Не опр.                                | Не опр.                 | 1,549               | 1,538           | 1,536             | 1,528           | —                                      | —                           |
| К-225к   | 0,75                        | 0,52                       | 0,68                                   | 0,72                    | 1,551               | 1,540           | 1,538             | 1,530           | 1,532                                  | 1,534                       |
| В-31-Д   | 0,73                        | 0,40                       | 1,01                                   | 0,87                    | 1,552               | 1,543           | 1,538             | 1,531           | 1,532                                  | 1,530                       |
| В-3487/2 | Не опр.                     | 0,18                       | Не опр.                                | Не опр.                 | 1,555               | 1,543           | 1,541             | 1,533           | —                                      | —                           |
| Г-56     | " "                         | 0,00                       | 1,26                                   | " "                     | 1,574               | 1,558           | 1,564             | 1,549           | 1,554                                  | 1,557                       |

Примечание. В — образцы из коллекции В. И. Березина, амфиболитовая фация; В — из коллекции В. С. Шкодинского, гранулитовая фация; Г — из коллекции Г. Н. Гаминина, пегматит; И — из коллекции Л. И. Иоффе, гранулитовая фация; К — из коллекции В. И. Кицула, гранулитовая фация. ΔN — суммарный вклад в показатель преломления кордиерита CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

рт. ст., давление прессования  $7000 \text{ кг/см}^2$ . Съемку и.к. спектров поглощения кордиеритов производили на двухлучевом спектрометре UR-10 в области  $400\text{--}4000 \text{ см}^{-1}$ .

На спектрах 21 образца кордиерита метаморфических пород — из 22 исследованных — присутствует полоса валентного антисимметричного колебания молекулы  $\text{CO}_2$  ( $\nu_3$ ) в области  $2356 \text{ см}^{-1}$ ; полоса деформационного колебания, вероятно, накладывается на полосу поглощения в области  $647 \text{ см}^{-1}$ , всегда присутствующую в кордиеритах; полоса  $\text{CO}_2$  отсутствует

в спектре обр. № 56 из пегматита (см. рис. 1). При прокаливании кордиеритов полоса  $\nu_3 \text{ CO}_2$  уменьшается, полностью исчезая в зависимости от крупности зерен при температурах от  $600^\circ$  (порошок) до  $900^\circ$  (зерна  $0,25\text{--}0,5 \text{ мм}$ ). Выход  $\text{CO}_2$  из кордиеритов при нормальном давлении необратим, судя по тому что в спектре кордиерита, нагревавшегося в токе  $\text{CO}_2$  при  $860^\circ$  в течение 5 час., отсутствовала полоса  $\text{CO}_2$ .

Об относительном количестве  $\text{CO}_2$  в кордиеритах можно судить по величине условного поглощения полосы

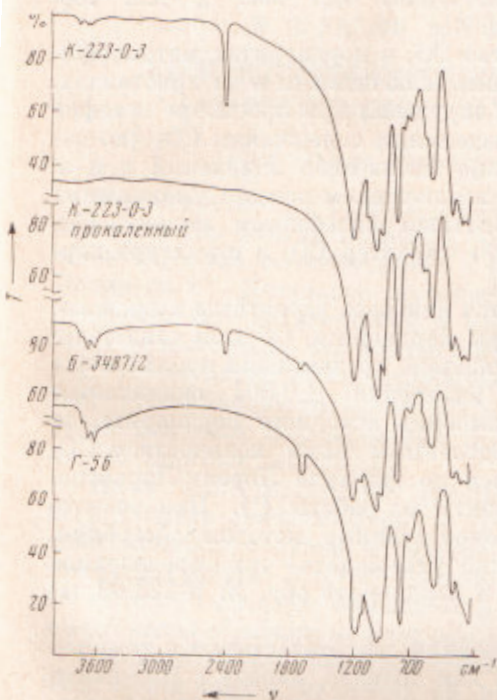


Рис. 1. Инфракрасные спектры кордиеритов. Указаны номера образцов

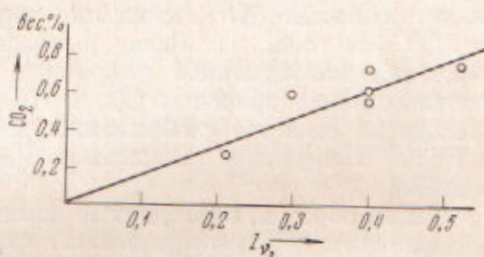


Рис. 2. Корреляция между содержанием  $\text{CO}_2$  (вес.%) и условным поглощением полосы  $\nu_3$  в кордиеритах

$\nu_3$  на и.к. спектре (<sup>4</sup>); возможный вклад в интенсивность этой полосы атмосферной  $\text{CO}_2$  вследствие некоторой разности хода сравнительного и измерительного лучей незначителен, о чем можно судить по спектру обр. № Г-56 и прокаленного обр. № К-223-0-3. Значения интенсивностей условного поглощения полосы —  $I_{\nu_3}$  находятся в пределах  $0,18\text{--}0,52$ , причем значения выше  $0,25$  отмечаются только в образцах кордиеритов из метаморфических пород гранулитовой фации (см. табл. 1).

Химическое определение содержания  $\text{CO}_2$  в кордиеритах было выполнено нами абсорбционным методом (<sup>5</sup>). Навеску образца кордиерита  $20\text{--}100 \text{ мг}$  в кварцевой лодочке помещали в кварцевую трубку и затем нагревали в токе кислорода до температуры  $1000^\circ$  в течение 40 мин. Предварительно было установлено, что потеря веса кордиерита прекращается при температуре выше  $800^\circ$ . Количество  $\text{CO}_2$  определяли по величине привеса поглотителя — аскарита, количество  $\text{H}_2\text{O}$  — по величине привеса поглотителя — ангидрона. Для контроля чистоты пропускаемого кислорода систематически проводили холостые опыты, подтверждавшие отсутствие в кислороде примесей  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Отдельным опытом было установлено, что потеря веса образца кордиерита, нагретого до той же температуры на воздухе, равна сумме привеса поглотителей. Взвешивание производили на аperiодических аналитических весах с точностью взвешивания  $0,002 \text{ мг}$ .

Определенное таким путем содержание  $\text{CO}_2$  в кордиеритах шести образцов оказалось в пределах 0,27—0,75 вес. % (см. табл. 1).

Данные химического определения  $\text{CO}_2$  в кордиеритах были сопоставлены со значениями условного поглощения полосы  $\nu_2$  тех же образцов кордиеритов (см. рис. 2). Как можно судить по полученному нами корреляционному графику, содержание  $\text{CO}_2$  в остальных 15 изученных образцах кордиеритов метаморфических пород, по данным и.-к. спектроскопии, не превышает 0,80 вес. %, причем для кордиеритов из метаморфических пород амфиболитовой фации оно составляет 0,27 вес. % для обр. № Б-3487/2 и 0,38 вес. % для обр. № Б-562/3.

Присутствие и выявленное количество  $\text{CO}_2$  в кордиеритах метаморфических пород не связано с газовой-жидкими включениями в их кристаллах, поскольку такие включения не были обнаружены при просмотре шлифов образцов даже с наиболее высокими значениями содержания  $\text{CO}_2$  (по заключению Т. Ю. Базаровой). Отсутствие каких-либо изменений в и.-к. спектрах прокаленных кордиеритов, за исключением резкого уменьшения интенсивности полос, отвечающих валентным колебаниям молекул  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , указывает на «не дальтоновский» характер  $\text{CO}_2$  в структуре кордиерита.

После всего сказанного представляется наиболее вероятным вхождение молекул  $\text{CO}_2$  в полости-каналы структуры кордиерита. Об этом свидетельствует также тот факт, что средний показатель преломления прокаленных кордиеритов в пределах точности измерения  $\pm 0,003$  оказывается близким к среднему показателю преломления исходного кордиерита, за вычетом вклада ( $\Delta N$ ), вносимого определенным нами количеством  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  (см. табл. 1). Вклад вычислялся по формуле Лоренц-Лорентца, значения молекулярной рефракции взяты из работы (\*). При расчете использовались значения  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , определенные методом абсорбции. Исходя из этих же соображений, можно утверждать, что определенное методом Пенфильда содержание  $\text{H}_2\text{O}$  в кордиерите обр. № К-223/03 выше.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что в кордиеритах метаморфических пород, как правило, наряду с  $\text{H}_2\text{O}$  почти всегда присутствует  $\text{CO}_2$ , которая при силикатном анализе обычно не определяется. Обнаружение в кордиеритах  $\text{CO}_2$  имеет важное генетическое значение, поскольку оно указывает на содержание в минералообразующей среде заметных количеств двуокиси углерода. Отсутствие  $\text{CO}_2$  в кордиеритах из малоглубинных пегматитов контактных зон роговиковой фации и присутствие ее в кордиеритах метаморфических пород, особенно глубоководной гранулитовой фации, подтверждает развиваемое в настоящее время представление о росте мольной доли и парциального давления  $\text{CO}_2$  во флюиде с возрастанием глубинности минералообразования (<sup>7, 8</sup>).

В заключение авторы выражают благодарность Т. Ю. Базаровой за просмотр шлифов кордиеритов на предмет обнаружения в них газовой-жидких включений и Г. Н. Гамянину за предоставление образца кордиерита из пегматита.

Институт геологии  
Якутского филиала Сибирского отделения  
Академии наук СССР  
Якутск

Поступило  
15 VI 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> G. V. Gibbs, Am. Mineral., 51, № 7, 1068 (1966). <sup>2</sup> D. L. Wood, K. Nassau, Am. Mineral., 53, № 5—6, 777 (1968). <sup>3</sup> E. F. Farrel, R. E. Newnham, Am. Mineral., 52, № 3—4, 380 (1967). <sup>4</sup> Ж. Леконт, Инфракрасное излучение, М., 1958. <sup>5</sup> М. О. Коршун, Н. Э. Гельман, Новые методы элементарного анализа, М.—Л., 1949. <sup>6</sup> С. С. Бацанов, Структурная рефрактометрия, М., 1958. <sup>7</sup> В. С. Соболев, Н. Л. Добрецов, В. В. Хлестов, ДАН, 166, № 2, 451 (1966). <sup>8</sup> А. А. Макарушев, Термодинамика метаморфической гидратации минералов, М., 1968.