

УДК 549.632

МИНЕРАЛОГИЯ

В. И. КИЦУЛ, Ю. Д. ЛАЗЕБНИК, А. А. БРОВКИН, В. О. СУКНЕВ

ДИАГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТОСТИ КОРДИЕРИТОВ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 31 VII 1970)

Учитывая отсутствие в литературе удовлетворительных диаграмм для определения железистости кордиеритов ⁽¹⁾ и важное петрологическое значение кордиерита ^(2, 3), мы исследовали кордиериты в 25 образцах (22 из гранулитовой фации, 2 из амфиболитовой фации и 1 из пегматита в роговиках) с целью выявления корреляции между их физическими свойствами и составом, а также их структурным состоянием.

В результате было установлено, что отсутствие удовлетворительной корреляции показателей преломления и удельного веса с общей железистостью $F = (Fe + Mn) / (Mg + Fe + Mn)$ (мол. %) в 22 изученных образцах и в 16, данные по которым взяты из литературы ⁽⁴⁻¹¹⁾, связано главным образом с заметными колебаниями содержания в них H₂O и CO₂ (см. табл. 1), оказывающими существенное влияние на показатели преломления и удельный вес ⁽¹²⁾.

Поэтому были измерены показатели преломления (иммерсионным методом) и удельный вес (методом гидростатического взвешивания) в образцах кордиеритов после их нагревания на воздухе в силитовой печи при

Таблица 1
Характеристика исследованных кордиеритов

№ образ.				Исходные образцы									Нагретые образцы			N стек-ла
	F, %	H ₂ O, %	CO ₂ , %	N _{g1}	N _{p1}	d ₁ , Å	I _{отн}	a, Å	b, Å	c, Å	Δ	N _{g2}	N _{p2}	d ₂ , Å		
Анализируемые нами образцы																
393/8	9,1	1,00	0,70	1,539	1,529	2,567	1,29	17,077	9,717	9,344	0,24	1,527	1,520		1,559	
631/5	10,1	1,42	0,60	1,542	1,532	2,583	1,39	17,073	9,725	9,346	0,25	1,530	1,522	2,534	1,556	
435/2	14,2	1,42	0,58	1,539	1,531	2,573	1,51	17,093	9,725	9,335	0,28	1,530	1,523		1,559	
569/2	15,2	1,18	0,70	1,541	1,531	2,579	1,45	17,088	9,721	9,339	0,26	1,530	1,523		1,560	
555/9	18,6	1,12	0,21	1,541	1,530	2,582	1,65	17,106	9,732	9,335	0,24	1,533	1,525		1,563	
358-3	19,3	0,44	0,19	1,537	1,528	2,570	1,55	17,110	9,725	9,333	0,26	1,533	1,525	2,560	1,561	
492/1	19,5	0,97	0,58	1,548	1,538	2,593	1,66	17,110	9,732	9,337	0,26	1,532	1,525		1,561	
B105-5	21,1	0,53	0,54	1,547	1,533		1,56	17,110	9,732	9,335	0,28	1,533	1,526		1,562	
501/6	24,4	0,82	0,60	1,546	1,535	2,594	1,61	17,123	9,744	9,329	0,26	1,535	1,526	2,574	1,563	
555/4	26,2	0,64	0,27	1,546	1,535	2,620	1,75	17,132	9,742	9,332	0,24	1,537	1,528		1,566	
24/3	26,5	0,43	0,55	1,548	1,533	2,611	1,73	17,132	9,742	9,330	0,24	1,535	1,528		1,564	
3059/2	29,2	1,18	0,16	1,546	1,536	2,609	1,69	17,132	9,744	9,325	0,28	1,537	1,529		1,566	
225к	31,9	0,68	0,75	1,551	1,540	2,631	1,83	17,145	9,748	9,323	0,25	1,538	1,530		1,568	
B31-Д	32,1	1,00	0,73	1,552	1,543	2,629	1,79	17,132	9,742	9,330	0,25	1,538	1,531	2,586	1,568	
527/3	32,5	0,93	0,60	1,547	1,537	2,627	1,85	17,132	9,752	9,328	0,25	1,537	1,527		1,566	
223/03	37,0	1,47	0,61	1,549	1,538	2,627	1,85	17,136	9,742	9,323	0,25	1,539	1,530		1,570	
114/10	39,4	1,51	0,40	1,549	1,539	2,630	1,90	17,147	9,736	9,325	0,25	1,541	1,533		1,569	
72/25	39,4	0,94	0,50	1,550	1,539	2,635	1,93	17,136	9,752	9,324	0,26	1,541	1,533	2,610	1,571	
56-Г	87,6	1,26	—	1,575	1,559	2,767	>2	17,242	9,852	9,293	0,17	1,564	1,549	2,743	1,587	

Заемствованные данные

209				1,535	1,526	2,55	1,40	17,080	9,723	9,345	0,25	1,527	1,521		1,558	
Л-69				1,545	1,530	2,56	1,42	17,078	9,713	9,341	0,27	1,534	1,526		1,559	
В-20-Л				1,543	1,534	2,58	1,66	17,101	9,732	9,334	0,27	1,532	1,525		1,561	
К-17/2				1,545	1,536	2,59	1,61	17,101	9,744	9,334	0,26	1,534	1,526		1,563	
В-562/3				1,549	1,538	2,625	1,77	17,106	9,752	9,334	0,21	1,536	1,528		1,569	
В-3487/2				1,555	1,543	2,651	>2	17,134	9,732	9,325	0,18	1,541	1,533		1,569	

температурах 900 и 1000° в течение 10 мин. и больше (см. табл. 1). Показатели преломления и удельный вес нагретых образцов кордиеритов вполне удовлетворительно коррелируют с их общей железистостью (рис. 1) и описываются следующими уравнениями: $F = 2142 (N_g - 1,523)$; $F = 2631 (N_p - 1,518)$; $F = 2352 (N_{cp} - 1,521)$; $F = 351 (d_2 - 2,49)$. Наши прямые N_g , N_p и N_{cp} относительно ранее предложенных кривых этих же показате-

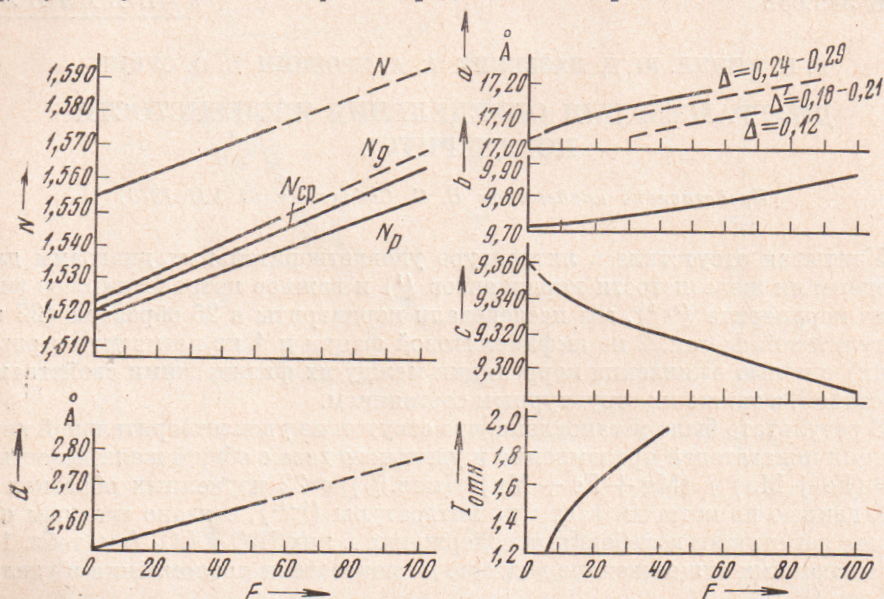


Рис. 1. Диаграммы для определения железистости кордиеритов

лей преломления (n) в области F от 0 до 50 мол. % проходят на 0,005 N ниже.

Выявлена хорошая корреляция между общей железистостью и показателем преломления стекол кордиеритов (см. рис. 1), выражающаяся уравнением $F = 2560 (N - 1,555)$. Кордиеритовые стекла получались путем плавления образцов кордиеритов в вольфрамовой корзинке при температуре белого каления вольфрамовой проволоки (выше 1500°) ⁽¹³⁾ в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. на установке УРВ-М. Однородность стекла проверялась кристаллооптически.

Вполне удовлетворительная корреляция установлена также между относительной интенсивностью ($I_{отн}^*$) полос 580 и 618 см^{-1} на и.-к. спектрах поглощения кордиеритов (рис. 2) и общей железистостью (см. рис. 1), которая имеет следующее аналитическое выражение: $F = \exp 4,065 \ln I_{отн} + 1,046$. Значение $I_{отн}$ не изменяется при нагревании образцов кордиеритов, т. е. нечувствительно к их структурному состоянию. $I_{отн}$ позволяет определять железистость кордиеритов только до 40 мол. %, так как при большей их железистости полосы 580 и 618 см^{-1} сливаются в одну (см. рис. 2). Съемка и.-к. спектров кордиеритов осуществлялась на двухлучевом спектрометре UR-10 с плотностью образца в KBr-таблетке 1,0 $\text{мг} / \text{см}^2$; прессование таблеток проводилось в вакууме 0,1 мм рт. ст. при давлении 700 $\text{кГ} / \text{см}^2$.

Была изучена также зависимость между общей железистостью и параметрами элементарной ячейки (э.я.) кордиеритов с учетом их структурного состояния.

* Относительная интенсивность определялась как отношение условного поглощения по Райту ⁽¹⁴⁾ полосы около 580 см^{-1} к условному поглощению полосы около 618 см^{-1} .

Вычисление параметров э.я. производилось по порошковым рентгенограммам, снятым с использованием внутреннего стандарта NaCl, параметр a которого был принят равным $5,63919 \text{ \AA}$ ⁽¹⁵⁾, на дифрактометре УРС-50И на FeK-излучении; скорость движения счетчика $0,5 \text{ град/мин}$, постоянная времени 4 сек. , скорость движения ленты соответствовала масштабу $24 \text{ мм на } 1^\circ \theta$. Дублет $K\alpha_{1,2}$ разрешался после $\theta = 30^\circ$. Индицирование порошков-грамм кордиеритов проведено путем сравнения измеренных и вычисленных межплоскостных расстояний, причем для вычисления d^{hkl} были использованы параметры э.я. кордиерита, для которого структура уточнена ⁽¹⁶⁾. Данные об интенсивностях рефлексов были заимствованы из ⁽¹⁷⁾ и ⁽¹⁸⁾. Для определения параметров э.я. использовали пики, отвечающие рефлексам 040; 10.00 и 008, при этом рефлексы 10.00 и 008 лежали в области углов θ , где дублет $\alpha_{1,2}$ разрешен; в области углов θ для 040 четкого разрешения этого дублета не было. Точность определения параметра a , b и c соответственно составляла $0,005$; $0,01$ и $0,002 \text{ \AA}$. Результаты определения параметров э.я. изученных нами кордиеритов приведены в табл. 1, а их связь с общей железистостью показана на рис. 1, где нанесены также литературные данные ^(7, 9, 15). Как видно из рис. 1, изменение параметров э.я. кордиеритов с изменением их общей железистости, в отличие от большинства кислородных соединений, происходит анизотропно относительно направлений, параллельных и перпендикулярных осям каналов структуры: с ростом железистости параметры a и b увеличиваются, а параметр c , наоборот, уменьшается, как это было установлено ранее ⁽⁹⁾. Наибольший разброс характерен для параметра a и зависит в большей степени от величины индекса искажения Δ ⁽¹⁸⁾, с ростом которого он увеличивается. Поэтому параметр a без знания Δ непригоден для определения железистости кордиеритов. Параметры же b и c менее чувствительны к структурному состоянию кордиеритов, как можно судить по их меньшему разбросу; наблюдаемый небольшой разброс этих параметров обусловлен осуществлением других типов изоморфных замещений, кроме главного $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Mg}$ в структуре кордиерита. Следовательно, параметры b и c могут быть использованы для оценки железистости кордиеритов, но только в сочетании с другими свойствами.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что железистость кордиеритов может быть определена по какому-нибудь одному из следующих их физических свойств: показатели преломления и удельный вес прокаленных образцов на воздухе при температуре 900 или 1000° в течение 10 мин. и дольше; показатель преломления стекла полностью расплавленного кордиерита в вакууме; относительная интенсивность полос в области 580 и 618 см^{-1} на и.-к. спектрах поглощения кордиеритов при их железистости до $40 \text{ мол.}\%$; параметры b и c э.я. кордиеритов. Точность определения общей железистости по предлагаемым диаграммам и уравнениям около $5 \text{ мол.}\%$, однако при комплексном использовании всех этих констант точность в определении железистости значительно возрастает.

Авторы выражают благодарность В. И. Березкину, Г. Н. Гамянину, А. Н. Зедгенизову, Л. И. Иоффе, А. С. Каневскому, П. А. Копылову, К. А. Лазебник, Б. Г. Лутцу и В. С. Шкодинскому за предоставление об-

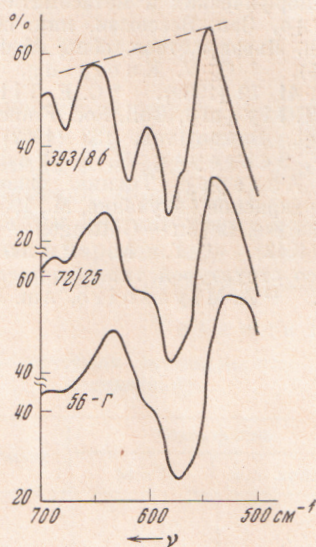


Рис. 2. Инфракрасные спектры поглощения кордиеритов в области $500\text{--}700 \text{ см}^{-1}$

разцов кордиеритов из своих коллекций, а также Б. Г. Лутцу и В. Л. Дуку за разрешение использовать их неопубликованные данные.

Институт геологии Якутского филиала
Сибирского отделения Академии наук СССР
Якутск

Поступило
20 VII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто и др., Фации метаморфизма, М., 1970.
² В. С. Соболев, В кн. Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд, «Наука», М., 1961. ³ А. А. Маракушев, Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород, «Наука», 1965. ⁴ Е. И. Лавренко, Зап. Всесоюзн. мин. общ., 86, № 1 (1957). ⁵ Е. Ф. Сидоренко, Мин. сборн. Львовск. геол. общ., № 15 (1961). ⁶ Т. Г. Хмарук, Геол. журн., 25, в. 2 (1965). ⁷ O. V. Knorring, Th. G. Sahama, M. Lentinen, Bull. Geol. Soc. Finl., 41, 79 (1969). ⁸ C. E. Tilley, Austr. Antarct. Exp. Rep., Ser. A, 4, 339 (1940). ⁹ J. T. Iiyama, Bull. Soc. Franc. Min. Cryst., 83, № 7—8 (1960). ¹⁰ P. Escola, Am. J. Sci., Bowen vol., 133 (1952). ¹¹ G. G. Sastri, Geol. Mag., 100, 331 (1963). ¹² W. Schreyer, H. S. Yoder, Neues Jahrb. Mineral. Abh., 101, 271 (1964). ¹³ Э. Ангелер, Техника физического эксперимента, М., 1962. ¹⁴ Ж. Леконт, Инфракрасное излучение, М., 1958, стр. 348. ¹⁵ K. Sagel, Tabellen zur Röntgenstrukturanalyse, Berlin — Göttingen — Heidelberg, 1958. ¹⁶ G. V. Gibbs, Am. Mineral., 51, 1 (1942). ¹⁷ Г. М. Рылов, Кристаллохимические исследования минералов со структурой типа берилла. Автореф. кандидатской диссертации, Новосибирск, 1970. ¹⁸ A. Miyashiro, Am. J. Sci., 255, 43 (1957).