

УДК 549.672.4(571.54)

МИНЕРАЛОГИЯ

А. П. ХОМЯКОВ, З. Т. КАТАЕВА, Т. А. КУРОВА,  
Е. С. РУДНИЦКАЯ, Н. Н. СМОЛЬЯНИНОВА

**БРЮСТЕРИТ — ПЕРВАЯ НАХОДКА В СССР**

(Представлено академиком Н. В. Беловым 14 IV 1969)

Брюстерит — цеолит состава  $(\text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — впервые описан в 1822 г. в Стронциане, Шотландия (1).

В 1963 г. этот минерал был встречен одним из авторов (А. П. Хомяковым) в массиве Бурпала, Северное Прибайкалье (2), в зоне трещиноватости, рассекающей аплиты и альбитизированные сиениты. Минерал в виде друзовых корочек и сплошных масс выстилает стенки пустот и трещин (рис. 1). Местами совместно с ним встречаются десмин, гейландит, натролит и пирит.

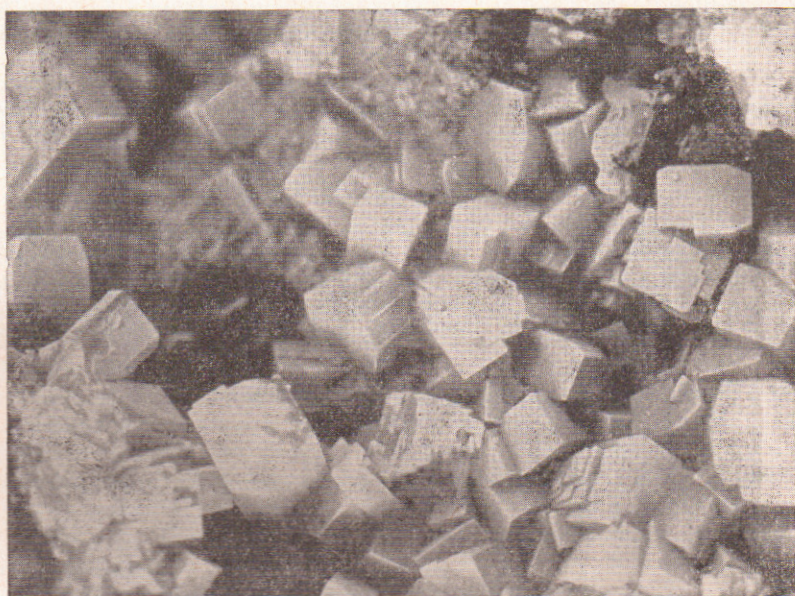


Рис. 1. Кристаллы брюстерита на стенке трещины в аплите. Напылено MgO. 20×

Кристаллы брюстерита до 1,5 мм длиною и до 1 мм в поперечнике (чаще значительно меньше) вытянуты по оси  $a$  и несколько уплощены по (010) (рис. 2). Принятая нами установка совпадает с рентгеновской и отличается от первоначально принятой Бруксом (4) взаимным перемещением осей  $a$  и  $c$ . Н. Н. Смольяниновой на двукружном гониометре Гольдшмидта измерено 7 кристаллов. Значения  $\varphi$  и  $\rho$ , измеренные и вычисленные из рентгеновских данных, приведены в табл. 1. Морфологическое отношение осей  $a : b : c = 0,3944 : 1 : 0,4459$ , вычисленное из сферических координат гра-

ней  $f$  (610) и  $k$  (011), близко к рентгеновскому (см. ниже). На всех измеренных кристаллах наблюдалось полное развитие форм  $c$  (001),  $a$  (100),  $b$  (010) и  $k$  (011). Грани  $f$  (610) и  $l$  (052) — более матовые и встречены только на одном кристалле.

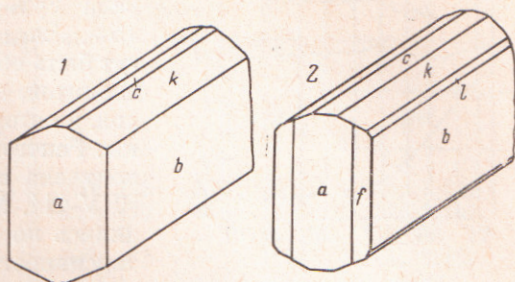


Рис. 2. Формы кристаллов брюстерита

Минерал бесцветный, прозрачный, в сплошных выделениях белый, кремовый, желтовато-зеленый. Блеск стеклянный до перламутрового на плоскости спайности. Спайность совершенная по (010). Хрупкий. Микротвердость (твердость вдавливания), измеренная С. И. Лебедевой на приборе ПМТ-3 при нагрузках 30 и 40 г на различных неориентированных сечениях в полированном брикете, находится в пределах 172—330 кг/мм<sup>2</sup>, что по шкале Мооса примерно соответствует 4—4,5. Удельный вес, определенный В. Ф. Недобой методом гидростатического взвешивания, равен 2,32. Показатели преломления, измеренные в иммерсии методом фокального экранирования, равны  $n_g = 1,522$ ;  $n_m = 1,510$ ;  $n_p = 1,506$ ,  $+2V = 60^\circ$ . Плоскость оптических осей и  $N_g$  перпендикулярны (010),  $aN_p = 28^\circ$  в тупом углу  $\beta$ .

Таблица 1

Кристаллографические формы брюстерита

Формы	Измеренные				Вычисл. из рентгеновских данных	
	пределы колебания		средние		φ	ρ
	φ	ρ	φ	ρ		
$c$ (001)	89°58'—90°02'	4°15'—4°20'	90°00'	4°18'	90°00'	4°16'
$a$ (100)	89°55'—90°00'	89°57'—90°05'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'
$b$ (010)	0°00'—0°06'	89°56'—90°02'	0°00'	90°00'	0°00'	90°00'
$f$ (610)	86°13'—86°17'	89°59'—90°01'	86°15'	90°00'	86°18'	90°00'
$k$ (011)	9°26'—9°40'	23°08'—25°00'	9°36'	24°20'	9°34'	24°11'
$l$ (052)	3°46'—3°50'	47°50'—48°00'	3°48'	47°55'	3°51'	48°01'

Химический анализ брюстерита выполнен З. Т. Катаевой. Щелочи определялись методом фотометрии пламени. Результаты анализа, пересчитанные на  $8(\text{Si} + \text{Al})$ , приводят к эмпирической формуле  $(\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,13}\text{Ca}_{0,09}\text{Na}_{0,04}\text{K}_{0,02})_{1,03}\text{Al}_{2,06}\text{Si}_{5,94}\text{O}_{15,97} \cdot 5,04\text{H}_2\text{O}$ , близкой к теоретической:

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SrO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Σ
Содерж. вес. %	54,02	15,86	0,11	0,80	11,80	3,01	0,21	0,14	13,72	99,67
Атомн. колич.	0,899	0,311	0,001	0,014	0,114	0,020	0,007	0,003	1,524	

Спектральным анализом в брюстерите отмечена примесь Ga, Mg, Mn, Zn, Pb, Cu.

Рентгеноструктурное исследование брюстерита выполнено Т. А. Куровой. В камере РКОП установлена моноклинная сингония минерала и определен класс Лауэ  $2/m$ . По рентгенограммам качания (медное излучение) были определены параметры решетки, которые впоследствии уточнялись по дебаеграмме:  $a_0 = 6,82 \pm 0,01$ ;  $b_0 = 17,51 \pm 0,02$ ;  $c_0 = 7,75 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 94^\circ 16' \pm 5'$ ,  $a_0 : b_0 : c_0 = 0,389 : 1 : 0,443$ . Эти данные весьма близки к полученным Перотта и Смитом<sup>(3)</sup> для минерала из Стронциана (пространственная группа  $P2_1/m$ ,  $a_0 = 6,77$ ;  $b_0 = 17,51$ ;  $c_0 = 7,74 \text{ \AA} \pm 0,05\%$ ,

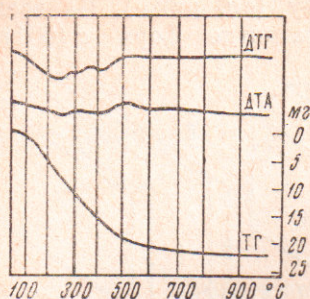


Рис. 3. Термограмма брюстерита. Навеска 156,3 мг. Потеря веса 21,6 мг (дериватограф ИГЕМ АН СССР)

ного методом термографии и и.-к. спектроскопии. Потеря веса при нагревании до  $1000^\circ$  составляет 13,8% (рис. 3), что соответствует содержанию в минерале воды по данным химического анализа. Дегидратация в процессе нагревания происходит не постепенно, а распадается на ряд

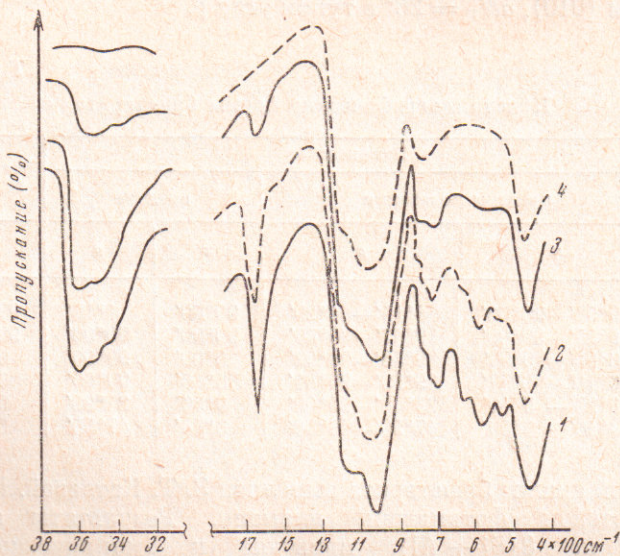


Рис. 4. И.-к. спектры брюстерита. 1 — исходный образец; 2—4 — образцы, прогретые при 300; 450 и  $500^\circ$

температурных ступеней с максимумами примерно при 250, 350 и  $450^\circ$ . Анализ и.-к. спектров брюстерита (рис. 4), полученных Е. С. Рудницкой, показывает, что в валентной области колебаний гидроксидов наблюдается интенсивная широкая полоса поглощения с тремя слабо проявленными максимумами: 3620; 3550; 3450  $\text{см}^{-1}$ . Деформационные колебания гидроксидов молекулярной воды представлены узкой полосой около 1630  $\text{см}^{-1}$ . Наличие трех максимумов на термограмме и полосе валентных колебаний ОН в и.-к. спектре указывает на присутствие в брюстерите трех типов молекулярной воды, различающихся своими энергетическими связями со структурой минерала. Это хорошо согласуется с данными Перотта и Смита (3), в соответствии с которыми расстояния между каждой из пяти молекул воды, окружающих атом Sr, и ближайшими к ней кислородами структуры или соседними молекулами воды равны: I.  $\text{H}_2\text{O}_{(4)}$  2,90; 3,02; 3,05 Å. II.  $\text{H}_2\text{O}_{(1)}$  2,96;

## Расчет дебаеграммы брюстерита

hkl	I	d, Å		hkl	I	d, Å	
		эксп.	выч.			эксп.	выч.
020	3	8,81	8,76	300; 242	32	2,265	2,264; 2,268
001	2	7,78	7,73	080; 320	19	2,187	2,189; 2,192
011	3	7,13	7,07	242	27	2,146	2,146
100	46	6,79	6,79	330; 081	23	2,107	2,111; 2,106
110	84	6,31	6,33	331	27	2,069	2,072
101	2	5,29	5,30	153; 252	50	2,016	2,019; 2,014
111	60	5,06	5,07	341; 271	10	1,973	1,978; 1,971
101	4	4,92	4,92	153	20	1,950	1,952
111; 031	70	4,65	4,74; 4,66	302; 091; 262;	23	1,888	1,893; 1,887; 1,882;
121	60	4,52	4,53	163			1,886
121	2	4,28	4,29	163	3	1,831	1,831
131	46	3,92	3,92	272	3	1,816	1,819
002	5	3,86	3,86	073; 360	5	1,791	1,795; 1,789
131	39	3,77	3,76	0.10.0; 272	35	1,751	1,751; 1,755
140	9	3,68	3,68	092	7	1,737	1,738
022	46	3,53	3,54	173	19	1,717	1,714
200; 112; 141	32	3,40	3,40; 3,41; 3,38	1.10.0; 290;	17	1,691	1,696; 1,688; 1,688
141	60	3,27	3,27	282			
112	39	3,19	3,20	371; 291	50	1,662	1,660; 1,662
150; 211	16	3,11	3,11; 3,15	282; 291	14	1,637	1,636; 1,637
122; 201	42	3,05	3,05; 3,04	371	16	1,619	1,622
132; 211	4	2,979	2,984; 2,983	292; 372	7	1,570	1,569; 1,572
060; 151	100	2,922	2,922; 2,918	—	17	1,556	—
151; 132	4	2,848	2,854; 2,844	—	17	1,525	—
231	5	2,798	2,805	—	4	1,478	—
142	42	2,724	2,720	—	9	1,463	—
160; 240	17	2,677	2,683; 2,682	—	17	1,448	—
142	16	2,616	2,613	—	9	1,430	—
003	39	2,575	2,576	—	17	1,404	—
161	16	2,509	2,511	—	17	1,368	—
202	16	2,459	2,462	—	23	1,338	—
232	10	2,414	2,414	—	17	1,318	—
222	5	2,373	2,370	—	10	1,286	—
170	32	2,345	2,348	—	17	1,280	—
				—	14	1,271	—
				—	17	1,252	—

Примечание. Условия съемки:  $\lambda$  Cr,  $2R = 114$  мм.

2,96; 3,05 Å. III.  $2H_2O_{(2)}$  3,02; 3,04; 3,07 Å;  $H_2O_{(3)}$  3,02; 3,04; 3,17 Å. Вода III группы, в которую входят три молекулы, вероятно, наиболее подвижна. Она уходит из брюстерита при  $t \approx 250^\circ$ , что по кривой потери веса соответствует примерно 50% всей воды, содержащейся в минерале. При  $t \approx 350^\circ$  уходит II группа молекул  $H_2O$  и при  $t \approx 450^\circ$  — I группа. Последняя содержит наименее подвижную воду и, согласно данным я.м.р., соответствует компоненте «жестко» связанных молекул  $H_2O$  (4).

Изученные образцы брюстерита переданы в Минералогический музей АН СССР и Музей минералогии и геохимии редких элементов Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов.

Поступило  
12 IV 1969

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Brooke, Edinb. Phil. J., 6 (1822). <sup>2</sup> А. Я. Жидков, ДАН, 140, № 1 (1961).  
<sup>3</sup> А. J. Perotta, J. V. Smith, Acta crystallogr., 17, Part 7 (1964). <sup>4</sup> И. А. Белицкий, С. П. Габуда, Геология и геофизика, № 6 (1968).