

УДК 549.6

Д. члены Ю. П. МЕНЬШИКОВ, И. В. БУССЕН, Е. А. ГОЙКО,  
Н. И. ЗАБАВНИКОВА, А. Н. МЕРЬКОВ и А. П. ХОМЯКОВ

### БОРНЕМАНИТ — НОВЫЙ СИЛИКОФОСФАТ НАТРИЯ, ТИТАНА, НИОБИЯ И БАРИЯ<sup>1</sup>

Минерал борнеманит (bornemanite) обнаружен в натролитовой зоне пегматоидной залежи «Юбилейная» в Ловозерском щелочном массиве (Буссен и др., 1972). Название дано в честь Ирины Дмитриевны Борнеман-Старынкевич — известного исследователя минералов Хибинских и Ловозерских тундр.

Борнеманит образует желтого цвета пластинчатые выделения до  $10 \times 8 \times 0.2$  мм, развитые по спайности и на поверхности крупных табличатых кристаллов коричневого ломоносовита (обр. 1), реже — скопления изогнутых пластинок в натролите (обр. 2). Содержит мелкие включения ломоносовита и иголки эгирина, образует с ломоносовитом сростки, параллельные {001}. Пластинки имеют агрегатное строение и состоят из вытянутых по оси *a* мельчайших ( $0.2 \times 0.1 \times 0.05$  мм) чешуек или волокон, ориентированных субпараллельно. Обр. 1 исследовался в Геологическом институте Кольского филиала АН СССР, обр. 2 — в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. Структурная идентичность обоих образцов установлена на основании тождества дебаеграмм.

Рентгенограмма порошка обр. 1 (табл. 1) получена в камере РКД (*D*-57.3) и дополнена линиями, снятыми для малых углов на дифрактометре ДРОН-0.5 (Fe излучение). Индексирование дебаеграммы произведено с помощью ЭВМ «Минск-22», по программе, разработанной Э. М. Медведевой (Рогачев и др., 1969). Совпадение расчетных и экспериментальных межплоскостных расстояний хорошее. По данным монокристалльного рентгенографического исследования, симметрия борнеманита ромбическая. Параметры элементарной ячейки определены по рентгенограммам колебания и кфорограмме *hol* (РКОП, КФОР, Cu излучение) и уточнены по дебаеграмме:  $a_0 = 5.48 \pm 0.05$ ,  $b_0 = 7.10 \pm 0.05$ ,  $c_0 = 48.2 \pm 0.1$  Å<sup>2</sup>;  $V_0 = 1875.4$  Å<sup>3</sup>; ось *c* перпендикулярна уплотнению кристаллов. По подсчетам на кфорограммах *h0l*—*h3l* (Cu излучение) предпочтение можно отдать диффракционному символу *mmm1b*, в который входят пространственные группы  $D_{2h}^{28} = Im\bar{m}$  (*-Ima*) и  $C_{2v}^{22} = Ibm2$  (*-Ima*).

Цвет минерала светло-желтый, тонкие чешуйки почти бесцветны. Блеск перламутровый. Просвечивает, отдельные участки пластинок прозрачны. Спайность весьма совершенная по (001). Пластинки хрупкие, волокна гибкие, удельный вес 3.47—3.50. Микротвердость агрегата, измеренная С. И. Лебедевой на приборе ПМТ-3 при нагрузках 15—30 Г, составляет 257—283 кг/мм<sup>2</sup> ( $\sim 3^{1/2}$ —4 по шкале Мооса).

Борнеманит оптически двусный, положительный. Плоскость оптических осей параллельна (010);  $Ng = a$ ,  $Nm = b$ ,  $Np = c$ . Измеренные в иммерсии показатели преломления обр. 1 и 2 имеют значения соответственно:  $Ng$  1.720 и 1.718,  $Nm$  1.695 и 1.687,  $Np$  1.682 и 1.683. Угол  $2V$  обр. 2, измеренный в коноскопе на столике Федорова, равен 40°; вычисленные значения  $2V$  составляют 66° (обр. 1) и 40° (обр. 2). Под микроско-

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 25 мая 1973 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 20 ноября 1973 г.

<sup>2</sup> Оси ячейки обозначены в соответствии с установкой кристалла ломоносовита, принятой в справочной литературе.

пом минерал имеет бледно-желтую окраску, слабо плеохроирует от буроватого (*Ng*) до бесцветного (*Nm*, *Np*). Схема абсорбции прямая:  $Ng > Nm = Np$ .

Минерал на холоду разлагается 5%-ми  $HCl$  и  $HNO_3$ , обесцвечиваясь и выделяя пластинки геля кремнекислоты; в  $H_2SO_4$  растворяется при нагревании. Перед паяльной трубкой легко сплавляется в буроватое прозрачное стекло. На термограмме (рис. 1) плавлению соответствует резкая эндотермическая остановка при  $720^\circ C$ . Потеря веса обр. 2, прокаленного в азоте до  $1000^\circ$ , составила 0.7%, что совпало с содержанием воды, найденным в том же образце химическим анализом. Экспериментом, проведенным А. В. Быковой, установлено, что после 2-часового кипячения растертого борнеманита в дистиллированной воде из него выщелачивается заметная часть натрия (4.30%  $Na_2O$  из 20.00% в

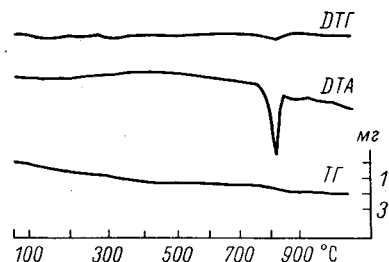


Рис. 1. Термограмма борнеманита. Навеска 288.9 мг. Потеря веса 2 мг  $\approx 0.7\%$  (дериватограф, ИГЕМ АН СССР).

исходном образце) и фосфора (3.00%  $P_2O_5$  против 6.80%). Соотношение между атомными количествами этих элементов свидетельствует об их выносе из минерала в форме  $Na_3PO_4$ .

ИК спектр борнеманита (рис. 2) характеризуется наличием хорошо разрешенных максимумов поглощения в полосах  $1070-870$  и  $595-440$   $cm^{-1}$ , из которых первая (по заключению Е. С. Рудницкой) отвечает области валентных колебаний тетраэдров  $SiO_4$  и  $PO_4$ , а вторая — области деформационных колебаний связей  $Si-O$  и  $P-O$ . Слабые максимумы в области  $3600$  и  $1600$   $cm^{-1}$  указывают на присутствие в минерале небольших количеств гидроксил-иона и молекулярной воды.

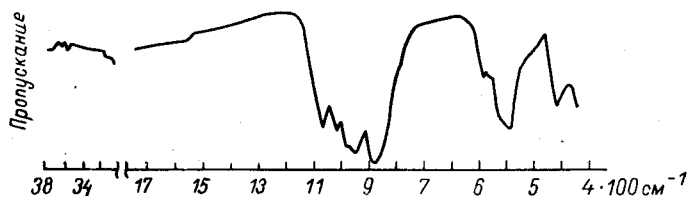


Рис. 2. ИК спектр поглощения борнеманита (спектрофотометр UR-10, ИГЕМ АН СССР).

Химическим анализом двух образцов борнеманита, изученных в разных лабораториях, получены близкие результаты (табл. 2).<sup>3</sup> Ан. 1 после пересчета по параметрам элементарной ячейки ( $Z=1$ ) приводит к эмпирической формуле  $(Na, Ca)_{14.1}(Ba, K, Sr)_{3.9}(Mn, Fe, Mg, Li)_{2.0}(Ti, Nb, Zr)_{11.9} \cdot (Si, Al)_{16.0}O_{68.1}F_{3.1} \cdot 3.6 Na_3PO_4 \cdot 5.3 H_2O$ . Идеализированная формула  $Na_{14}Ba_4Mn_2Ti_9Nb_3Si_{16}O_{69}F_3 \cdot 4Na_3PO_4$  (формульный вес  $M=3957.23$ , рентгеновская плотность  $\rho_{рент.}=3.50$ ).

Ан. 2 пересчитывается как на приведенную выше формулу, так и (при той же сумме катионов) на эмпирическую формулу  $(Na, K, Mn)_{15.9}(Ba, Sr, Ca)_{4.1}Ti_{8.0}(Nb, Ta, Ti, Zr, Mg, Fe)_{3.8}Si_{16.2}O_{68.0}[F_{3.4}(OH)_{0.6}]_{4.0} \cdot 3.7Na_3PO_4 \cdot 1.2H_2O$ . Идеализированная формула при  $Z=4$   $Na_4BaTi_2NbSi_4O_{17}F \cdot Na_3PO_4 = Na_7BaTi_2NbPSi_4O_{21}F$  ( $M=985.34$ ,  $\rho=3.49$ ).

<sup>3</sup> Дополнительно к данным табл. 2 спектральным анализом в минерале установлены примеси Be, Ga и Cu.

Таблица 1

## Межплоскостные расстояния борнеманита

<i>I</i>	$\frac{d}{n}$	<i>hkl</i>
10	24.1	002
1	12.0	004
10	8.04	006
3	4.82	0.0.10, 105
1	4.26	112, 019, 107
3	4.02	0.0.12
5	3.80	116, 109
1	3.52	118, 022, 0.1.12
10	3.44	0.0.14, 1.0.11
2	3.08	1.1.11, 1.0.13, 0.1.13
10	3.02	0.0.16
1	2.832	1.1.13, 125
1	2.758	1.0.15, 0.1.16, 200
8	2.682	0.0.18, 1.1.14, 128, 204
1	2.586	1.1.15, 206
6	2.413	0.0.20
3	2.152	133, 2.1.12, 222
5	2.012	139, 229, 0.0.24
3	1.970	1.3.10, 2.2.10
1	1.894	2.1.17, 1.1.23
7	1.781	232, 233, 040
3	1.704	216, 239, 048
8	1.610	0.0.30, 149, 324, 323
1	1.570	328, 0.3.23, 3.1.14
1	1.538	3.2.10, 2.3.16, 2.1.25
4	1.507	0.0.32, 1.1.30, 2.2.23, 1.3.23
2	1.491	242, 241, 240, 2.3.18, 1.2.28, 3.2.13
1	1.442	1.3.25, 332, 333, 2.2.25, 331, 330
5	1.420	0.0.34, 051, 052, 050, 1.1.32
1	1.396	339, 2.4.12, 056, 2.1.29
1	1.346	411, 412, 1.1.34, 3.2.20, 3.1.13, 157, 2.2.28, 406, 410
2	1.160	4.1.21, 068, 0.1.41, 2.1.37, 1.1.40, 2.4.26, 3.4.17
3	1.0976	0.0.44, 359, 1.0.43, 1.6.14
1	1.0653	269, 3.5.14, 4.2.25, 518
1	1.0077	0.0.48, 1.0.47, 1.2.45, 5.2.13, 3.5.21, 0.6.25

Примечание.  $D=57.3$ ,  $FeK_{\alpha}$  излучение, без фильтра. Аналитик Ю. П. Меньшиков.

Окончательно вопрос о формуле изученного минерала может быть решен лишь после завершения структурной расшифровки.

Борнеманит — поздний гидротермальный минерал, образующийся в резкощелочной среде позже ломоносавита, возможно при его изменении.

По составу и свойствам борнеманит резко отличается от батисита, иннелита, щербаковита и других титаносиликатов бария, имеет сходство с ийошимураитом, обнаруживает тесное структурное родство с минералами группы ломоносавита и группы сейдозерита. Так, параметры  $a_0$  и  $b_0$  борнеманита похожи на параметры  $a_0$  и  $b_0$  ломоносавита, беталомоносавита, мурманита, эпистолита и сейдозерита (Strunz, 1970), а параметр  $c_0$  ровно в 4 раза больше, чем у мурманита и эпистолита. Черты сходства борнеманита с минералами группы ломоносавита четко прослеживаются в особенностях рентгенограмм порошка и ИК спектров поглощения:

Минерал	Максимумы поглощения (в $cm^{-1}$ )
Борнеманит	1070 сильн., 1010 сильн., 980 сильн. — 950 сильн. — 930 сильн., 870 оч. сильн., 590 сл. — 580 сл. — 570 сильн.—545 сильн., 460 сильн.

Минерал	Максимум поглощения (в см <sup>-1</sup> )
Ломоносовит	1080 сильн., 1045 сильн., 1000 сильн., 940 оч. сильн., 870 сильн., 760 сл. — 700 сл., 590 сл. — 560 сильн., 470 сильн. — 435 оч. сильн.
Беталомоносовит	1080 сильн., 1040 сильн., 920 оч. сильн., 800 сл., 550 сильн., 340 сильн.

По типу химической формулы борнеманит подобен ломоносовиту  $\text{Na}_{3-4}\text{Ti}_4\text{Si}_4\text{O}_{18} \cdot 2\text{Na}_3\text{PO}_4$  и вуоннемиту  $\text{Na}_{4-5}\text{TiNb}_2\text{Si}_4\text{O}_{17}\text{F} \cdot 2\text{Na}_3\text{PO}_4$ , однако количество натриево-фосфатных слоев в нем вдвое меньше, чем в ломоносовите и вуоннемите. Этим, в частности, можно объяснить тот факт, что параметр  $c_0$  борнеманита оказался кратным параметру  $c_0$  мурманита и эпистолита, а не их фосфатных аналогов — ломоносовита и вуоннемита.

Таблица 2  
Химический состав борнеманита

Компоненты	Обр. 1		Обр. 2	
	вес. %	атомные количества	вес. %	атомные количества
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	6.57	0.0926	6.80	0.0958
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	9.22	0.0694	8.86	0.0667
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	—	—	0.66	0.0030
TiO <sub>2</sub> . . . . .	18.72	0.2343	18.00	0.2253
ZrO <sub>2</sub> . . . . .	0.20	0.0016	0.25	0.0020
SiO <sub>2</sub> . . . . .	23.96	0.3987	25.00	0.4160
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.55	0.0108	0.00	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	—	—	0.30	0.0038
FeO . . . . .	0.17	0.0024	—	—
MnO . . . . .	2.97	0.0419	2.48	0.0350
MgO . . . . .	0.04	0.0010	0.06	0.0015
BaO . . . . .	12.05	0.0786	13.00	0.0848
SrO . . . . .	0.70	0.0068	0.68	0.0066
CaO . . . . .	0.33	0.0059	0.77	0.0137
Na <sub>2</sub> O . . . . .	19.62	0.6331	20.00	0.6454
K <sub>2</sub> O . . . . .	0.65	0.0138	0.67	0.0142
Li <sub>2</sub> O . . . . .	0.10	0.0067	—	—
Rb <sub>2</sub> O . . . . .	0.0025	—	—	—
Cs <sub>2</sub> O . . . . .	0.002	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	2.44	0.2709	} 0.70	0.0778
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0.30	—		
F . . . . .	1.52	0.0800	1.64	0.0863
—O=F <sub>2</sub> . . . . .	0.64	—	0.69	—
Сумма . . . . .	99.47	—	99.18	—
Уд. вес . . . . .	—	3.47	—	3.50
Навеска (в г) . . . . .	—	0.460	—	0.500
Аналитик	Н. И. Забавникова		А. В. Быкова	

Примечание. Щелочи и щелочные земли в обр. 1 и 2 определены Г. Е. Каленчук методом пламенной фотометрии.

Натрий и фосфор переходят в водную вытяжку борнеманита в такой же форме, как из ломоносовита, беталомоносовита (Борнеман-Старынкевич, 1946; Соколова и др., 1971; Буссен и др., 1973). Легкость выщелачивания фосфата натрия свидетельствует о том, что в борнеманите, подобно минералам группы ломоносовита, натриево-фосфатные сетки слабо связаны с титаносиликатной основой структуры. Исходя из этого можно предположить, что процессы гидротермального и гипергенного изменений борнеманита должны приводить к его переходу в своеобразный бариевый мурманит.

Авторы благодарят Г. Е. Каленчук, Е. С. Рудницкую, Г. О. Пилюяна, А. С. Сахарова, Л. М. Федорову, В. Т. Зиновьеву, А. В. Быкову и С. И. Лебедеву за помощь в работе.

Образцы борнеманита переданы в Минералогический музей АН СССР, а также в музей Кольского филиала АН СССР и ИМГРЭ.

#### Литература

Борнеман-Старынкевич И. Д. (1946). О химической природе мурманита. В сб. *Вопр. минер., геохим. и петрограф.* Изд. АН СССР.

Буссен И. В., Л. Ф. Ганнибал, Е. А. Гойко, А. Н. Мерьков, А. П. Недорезова. (1972). Ильмаюкит — новый минерал из Ловозерских тундр. *Зап. Всесоюз. минер. общ.*, ч. 101, вып. 1.

Буссен И. В., А. П. Денисов, Н. И. Забавникова, Л. В. Козырева, Ю. П. Меньшиков, Э. А. Липатова. (1973). Вуоннемит — новый минерал. *Зап. Всесоюз. минер. общ.*, ч. 102, вып. 4.

Рогачев Д. Л., Э. М. Медведева, Л. Г. Латышева. (1969). Индицирование порошковых соединений с известными параметрами и структурой на ЭВМ «Минск-1». В кн.: *Применение математических методов в геологических исследованиях Кольского полуострова.* Изд. Кольского филиала АН СССР, г. Апатиты.

Соколова М. Н., Н. И. Забавникова, Е. С. Рудницкая, Н. И. Органова. (1971). Об особенностях состава и степени однородности минералов группы ломоносовита из Хибинского массива. В сб.: *Вопр. однородности и неоднородности минералов.* Изд. «Наука».

Strunz H. (1970). *Mineralogische Tabellen.* Leipzig.

Геологический институт Кольского филиала АН СССР, г. Апатиты, Поступила в редакцию 23 декабря 1974 г.  
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) АН СССР,  
Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) АН СССР, Москва.

УДК 549.8 (477.83)

Д. чл. Б. И. СРЕБРОДОЛЬСКИЙ

### АЦЕТАМИД $\text{CH}_3\text{CONH}_2$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ<sup>1</sup>

На одном из терриконов угольных шахт Львовско-Волынского бассейна нами был встречен органический минерал, аналог ранее неизвестного в природных условиях амида уксусной кислоты — ацетамид  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$ .

Ацетамид отмечен в обогащенных нашатырем участках, закрытых с поверхности от доступа кислорода и дневного света. Ацетамид — сезонный минерал. Он появляется только в периоды сухой погоды, а с наступлением дождливого времени растворяется в воде и выносится.

Ацетамид представлен зернистыми агрегатами и кристаллами гексагонального облика. Кристаллы находятся в небольших полостях среди мелкозернистой массы этого минерала. Они располагаются беспорядочно и имеют различные размеры, достигая в длину 5 мм и в поперечнике 2 мм. Характерно удлинение кристаллов по призме; все они имеют с одной стороны плохо ограниченную головку, а с другой — как бы обломаны. Форма

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 12 июля 1974 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 29 октября 1974 г.