

## НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.643 + 548 + 55(485)

© Д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ,\* д. чл. О. В. ЯКУБОВИЧ,\*\* д. чл. И. В. ПЕКОВ,\*\*  
д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ,\*\*\* В. МАССА\*\*\*\*

### БРИТВИНИТ $Pb_{15}Mg_9(Si_{10}O_{28})(BO_3)_4(CO_3)_2(OH)_{12}O_2$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЛОНГБАНА, ШВЕЦИЯ<sup>1</sup>

N. V. CHUKANOV, O. V. YAKUBOVICH, I. V. PEKOV, D. I. BELAKOVSKY, W. MASSA. BRITVINITE,  
 $Pb_{15}Mg_9(Si_{10}O_{28})(BO_3)_4(CO_3)_2(OH)_{12}O_2$  — A NEW MINERAL FROM LÅNGBAN, SWEDEN

\* Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка;  
e-mail: chukanov@icp.ac.ru

\*\* Московский государственный университет, 119899, Москва, Воробьевы горы

\*\*\* Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, Москва, В-71, Ленинский пр., 18-2

\*\*\*\* Fachbereich Chemie, Philipps-Universität, Marburg, Germany

A new mineral britvinite has been found in a manganese ore from the Långban deposit, Bergslagen ore region, Filipstad district, Värmland, Sweden. It is associated with calcite, barytoalcite, brucite, cerussite and hausmannite. Britvinite forms platelets up to  $0.2 \times 0.5 \times 0.5$  mm. Colorless to pale yellow, transparent, streak is white, luster is adamantine. The Mohs hardness is 3. Sectile, cleavage on  $\{001\}$  is perfect, micaceous. Calculated density is  $5.51 \text{ g/cm}^3$ . Britvinite is optically biaxial, negative,  $\alpha 1.896(2)$ ,  $\beta 1.903(2)$ ,  $\gamma 1.903(2)$ ,  $2V(\text{meas.}) = 20(10)$ ,  $Z \approx c$ , dispersion is strong,  $r < v$ . Chemical composition (electron microprobe, water — by Alimarin method,  $CO_2$  — by selection sorption, wt. %): MgO 7.95, PbO 71.92,  $Al_2O_3$  0.41,  $SiO_2$  12.77,  $H_2O$  2.2,  $CO_2$  2.1,  $B_2O_3$  (calculated from structural data) 2.67, total 100.02. The empirical formula calculated on 59 anions O + OH ( $Z = 1$ ) is:  $Pb_{14.75}Mg_{9.03}Si_{9.73}Al_{0.37}O_{30.76}(BO_3)_{3.51}(CO_3)_{2.18}(OH)_{11.17}$ . The simplified formula is ( $Z = 2$ ):  $Pb_{7+x}Mg_{4.5}(Si_5O_{14})(BO_3)_2(CO_3)(OH,O)_7$  ( $x < 0.5$ ). The crystal structure has been studied on a single crystal at 173 K;  $R = 0.0547$ . Britvinite is triclinic, space group  $P\bar{1}$ ;  $a = 9.3409(8)$ ,  $b = 9.3597(7)$ ,  $c = 18.8333(14) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 80.365(6)^\circ$ ,  $\beta = 75.816(6)^\circ$ ,  $\gamma = 59.870(5)^\circ$ ,  $V = 1378.74(19) \text{ \AA}^3$ . The crystal structure is based on alternating TOT blocks [consisting of brucite-like octahedral layers and interrupted tetrahedral layers  $(Si_5O_{14})_{\infty}$ ] and interlayer blocks with the composition  $[Pb_{7.1}(OH)_{3.6}(CO_3)(BO_3)_{1.75}(SiO_4)_{0.25}]_{\infty}$ . The strongest reflections of the X-ray powder-diffraction pattern [ $d$ ,  $\text{Å}$  ( $I$ , %) ( $hkl$ )] are:  $18.1(100)(001)$ ,  $3.39(30)(1\bar{2}3, 1\bar{1}4, 015)$ ,  $3.02(90)(006, 130, 106, 2\bar{1}0, 1\bar{2}1)$ ,  $2.698(70)(332, 134, 030, 1\bar{2}\bar{3})$ ,  $2.275(30)(008, 420, 424)$ ,  $1.867(30)(446, 239, 2.1.10, 1\bar{2}8)$ ,  $1.766(40)(151, 31\bar{7}, 140, 453, 542, 512, 4\bar{1}2)$ ,  $1.519(40)(0.0.12)$ . The mineral was named in honour of Russian mineralogist Sergey Nikolaevich Britvin (b. 1965). The holotype specimen is deposited in Fersman Mineralogical Museum of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, with registration N 3458/1.

Скарновое месторождение железа, марганца и доломита Лонгбан (Långban), расположенное в рудном районе Бергслаген (округ Филипстад, Верmland, Швеция) и разрабатывавшееся с перерывами с XVII в. до 1972 г., относится к числу самых знаменитых минералогических объектов мира. Здесь насчитывается около 270 минералов, из которых почти 70 впервые описаны на этом месторождении, причем два десятка минеральных видов до сих пор остаются его эндемиками (Wilke, 1997; Långban..., 1999). В частности, скарны Лонгбана, особенно их поздние ассоциации, известны необычайным разнообразием редких в природе эндогенных кислородных соединений свинца, мышьяка, сурьмы, экзотических минералов бора и бериллия.

<sup>1</sup> Новый минерал бритвинит и его название одобрены Комиссией по новым минералам и названию минералов РМО 7 июня 2006 г. и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации 17 октября 2006 г.

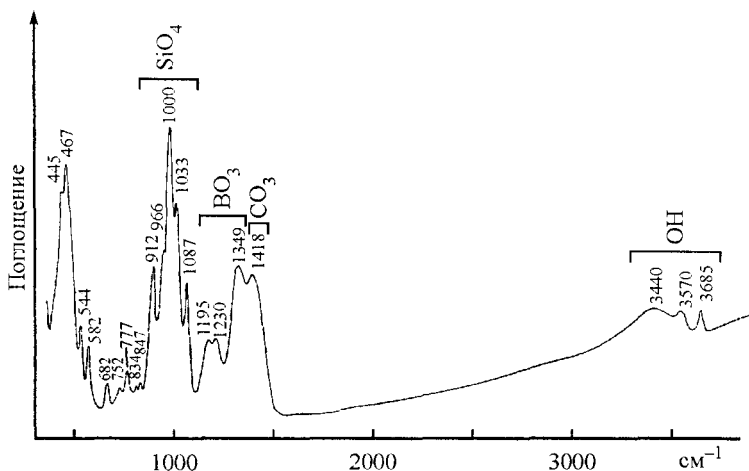


Рис. 1. Инфракрасный спектр бритвинита.

Fig. 1. Infrared spectrum of britvinite.

Новый минерал **бритвинит** найден в старом образце зернистой гаусманнит-карбонатной марганцевой руды из Лонгбана. Название ему дано в честь известного российского минералога с широким кругом научных интересов, специалиста в том числе в области минералогии скарных месторождений Сергея Николаевича Бритвина (р. 1965), работающего в Санкт-Петербургском государственном университете.

Новый минерал обнаружен в агрегате, сложенном в основном ксеноморфными зернами карбонатов белого цвета и кривогранными псевдооктаэдрическими черными кристаллами гаусманнита размером до 2 мм. Среди карбонатов преобладает баритокальцит, второстепенную роль играют кальцит и церуссит. В небольшом количестве в руде присутствует брусит.

Бритвинит образует уплощенные по {001} таблитчатые или пластинчатые индивиды размерами до  $0.2 \times 0.5 \times 0.5$  мм, имеющие весьма совершенную слюдоподобную спайность по (001). Главная габитусная форма — пинакоид {001} (индексирование выполнено по монокристалльным рентгеновским данным). Боковые грани не выражены, и поэтому проиндексировать их не представляется возможным. Минерал водяно-прозрачный, с сильным алмазным блеском, бледно-желтый, а в тонких сколах бесцветный. Тонкие индивиды бритвинита гибкие, толстые — довольно хрупкие; твердость по шкале Мооса равна 3. Плотность минерала не была измерена по причине ее высокого значения при отсутствии вещества в количествах, необходимых для использования методов волюмометрии или гидростатического взвешивания. Вычисленная из эмпирической формулы плотность равна  $5.512 \text{ г/см}^3$ , а из формулы, полученной по данным рентгеноструктурного анализа, —  $5.51 \text{ г/см}^3$ .

Волновые числа полос ИК-спектра бритвинита ( $\text{см}^{-1}$ ; w — слабая полоса; волновые числа наиболее сильных полос подчеркнуты; см. рис. 1) и их отнесения следующие: 3685, 3570, 3440 [валентные колебания групп (OH)], 1418 [валентные колебания ионов  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ], 1349, 1230, 1195 [валентные колебания ионов  $(\text{BO}_3)^{3-}$ ], 1087, 1033, 1000, 966, 912 (Si—O-валентные колебания), 847w, 834w [деформационные колебания ионов  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ?], 777 (деформационные колебания с участием ионов  $\text{OH}^-$ ), 752w, 682, 582 [деформационные колебания ионов  $(\text{BO}_3)^{3-}$ ], 544, 467, 445 (деформационные колебания O—Si—O). Отсутствие полос поглощения в диапазоне  $1500\text{—}1700 \text{ см}^{-1}$  свидетельствует о том, что в минерале нет молекул  $\text{H}_2\text{O}$ .

Бритвинит оптически двусный отрицательный;  $n_p = 1.896(2)$ ,  $n_m = 1.903(2)$ ,  $n_g = 1.903(2)$ ;  $2V_{\text{изм}} = 20(10)^\circ$ ,  $2V_{\text{выч}} = 0^\circ$ . Дисперсия сильная,  $r < v$ . Оптическая ориентировка:  $Z \approx c$ .

## Химический состав бритвинита, мас. %

## Chemical composition of britvinitе, wt %

Компонент	Среднее из 5 анализов	Пределы содержаний	Эталон
MgO	7.95	7.85—8.00	MgO
PbO	71.92	70.51—72.97	PbTe
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41	0.15—0.66	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SiO <sub>2</sub>	12.77	12.31—13.45	SiO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> O	2.2 ± 0.1		
CO <sub>2</sub>	2.1 ± 0.1		
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.67		
Сумма	100.02		

Примечание. Содержание B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> вычислено из структурных данных.

Химический состав бритвинита (табл. 1) определен электронно-зондовым методом на сканирующем электронном микроскопе VEGA TS 5130MM, оснащенный энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором с полупроводниковым Si(Li) детектором INCA Energy (ускоряющее напряжение 15.7 кВ, ток 0.5 нА, аналитик А. Н. Некрасов).

Полученные данные не исключали присутствия в бритвините небольшого количества мышьяка (порядка 0.5 мас. % As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), но проверить наличие этого элемента в минерале энергодисперсионным методом было невозможно из-за перекрывания аналитических линий As и Mg. В связи с этим химический состав того же препарата бритвинита был изучен независимо волново-дисперсионным методом с помощью микроанализатора CAMEBAX SX 50 (ускоряющее напряжение 15 кВ, ток 30 нА, диаметр пучка 3.5 мкм; аналитик И. А. Брызгалов). Предварительно было проверено отсутствие мышьяка в результатах анализа эталона (амфибол с содержанием MgO 11.5 мас. %). Получены следующие усредненные по данным 6 локальных анализов результаты (мас. %; в скобках даны пределы содержаний): PbO 71.6 (70.41—72.66), MgO 7.59 (7.07—8.00), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — не определялось, SiO<sub>2</sub> 12.79 (12.26—13.35), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.02 (0.00—0.06), As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.00 (0.00—0.00), F 0.14 (0.00—0.46), —O=F<sub>2</sub> —0.06, сумма 91.54 %. Таким образом, мышьяка в количествах, достоверно определяемых электронно-зондовым методом, в новом минерале не зафиксировано.

Содержание воды в бритвините измерено методом Алимарина с использованием поглотительных трубок, наполненных безводным перхлоратом магния. Содержание CO<sub>2</sub> определено методом селективного поглощения его аскаритовым сорбентом из газообразных продуктов прокаливания минерала в токе кислорода при температуре 1000 °С и атмосферном давлении. Содержание B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> вычислено из структурных данных. Присутствие в бритвините бора подтверждается цветной реакцией с хинализарином, а также набором весьма характерных полос ионов (BO<sub>3</sub>)<sup>3-</sup> в ИК-спектре.

Эмпирическая формула, рассчитанная на 60 анионов (Z = 1) с соблюдением баланса зарядов, имеет вид Pb<sub>14.99</sub>Mg<sub>9.19</sub>Si<sub>9.89</sub>Al<sub>0.38</sub>O<sub>31.28</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3.57</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2.22</sub>(OH)<sub>11.35</sub>. Весь водород дан в составе групп OH, в соответствии с данными ИК-спектроскопии. Упрощенная формула для Z = 2, с учетом структурных данных (см. ниже), может быть записана в виде Pb<sub>8-x</sub>Mg<sub>4.5</sub>(Si,Al)<sub>5</sub>O<sub>14</sub>(BO<sub>3</sub>)(CO<sub>3</sub>)[(BO<sub>3</sub>)<sub>0.7</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>0.3</sub>](OH)<sub>6.7</sub>.

Идеализированная формула для Z = 1 может быть записана в виде Pb<sub>15</sub>Mg<sub>9</sub>(Si<sub>10</sub>O<sub>28</sub>)·(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>12</sub>O<sub>2</sub> или, с учетом вариаций содержания свинца вследствие частичной вакансионности его позиций, в виде Pb<sub>16-x</sub>Mg<sub>9</sub>(Si<sub>10</sub>O<sub>28</sub>)(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>10+2x</sub>O<sub>4-2x</sub>.

Кристаллическая структура бритвинита изучена с использованием двукружного монокристалльного дифрактометра STOE IPDS II при пониженной температуре

Рентгенограмма порошка бритвинита  
X-ray powder-diffraction data for britvinite

$I_{\text{изм.}}$ , %	$d_{\text{изм.}}$ , Å	$d_{\text{выч.}}$ , Å*	$hkl$
100	18.1	18.23	001
15	6.00	6.078	003
15	4.54	4.558	004
10	4.02	4.018	123
15	3.84	3.859, 3.846	$12\bar{2}, 11\bar{3}$
20	3.56	3.559, 3.558	$124, 11\bar{3}$
30	3.39	3.405, 2.395, 3.392	$12\bar{3}, 114, 015$
25	3.26	3.267, 3.260, 3.257	$21\bar{3}, 015, 215$
20	3.13	3.132, 3.131	$114, 125$
90	3.02	3.039, 3.036, 3.036, 3.030, 3.029	$006, 130, 106, 2\bar{1}0, 1\bar{2}1$
10	2.888	2.879, 2.870, 2.868	$214, 23\bar{1}, 1\bar{2}\bar{2}$
70	2.698	2.698, 2.696, 2.695, 2.694	$332, 134, 030, 1\bar{2}\bar{3}$
10	2.511	2.519, 2.498	$017, 23\bar{3}$
10	2.380	2.390, 2.375, 2.374	$2\bar{1}\bar{4}, 034, 33\bar{2}$
30	2.275	2.279, 2.264, 2.260	$008, 420, 424$
15	2.104	2.117, 2.080	$235, 31\bar{5}$
30	1.867	1.867, 1.862, 1.856, 1.856	$446, 239, 2.1.10, 1\bar{2}8$
40	1.766	1.768, 1.767, 1.765, 1.764, 1.763, 1.762	$151, 317, 140, 453, 542, 512, 41\bar{2}$
10	1.605	1.607, 1.597	$052, 24\bar{7}$
40	1.519	1.520	0.0.12
25	1.439	1.437, 1.435	$1.2.11, 367$

Примечание. \* Вычислено из структурных данных; при индцировании учитывались только отражения с  $I_{\text{выч}} > 0.5\%$ .

(173 К), что позволило более надежно локализовать позиции межслоевых анионов;  $R = 0.0547$ . Согласно полученным данным, минерал триклинный, пр. гр.  $P\bar{1}$ ; параметры элементарной ячейки:  $a = 9.3409(8)$ ,  $b = 9.3597(7)$ ,  $c = 18.8333(14)$  Å,  $\alpha = 80.365(6)^\circ$ ,  $\beta = 75.816(6)^\circ$ ,  $\gamma = 59.870(5)^\circ$ ,  $V = 1378.74(19)$  Å<sup>3</sup>.

Дебаеграмма бритвинита (табл. 2) получена в камере РКГ-86 диаметром 86 мм, специально сконструированной для фиксации малоугловых отражений, на FeK-излучении. Параметры триклинной ячейки, рассчитанные из порошкограммы:  $a = 9.43(4)$  Å,  $b = 9.32(6)$  Å,  $c = 18.87(12)$  Å,  $\alpha = 80.0(3)^\circ$ ,  $\beta = 75.4(2)^\circ$ ,  $\gamma = 59.7(3)^\circ$ ,  $V = 1383(12)$  Å<sup>3</sup>.

Структура бритвинита имеет ярко выраженный псевдогексагональный характер. В связи с этим было предположено, что найденная в ходе монокристалльного исследования при 173 К триклинная симметрия может отвечать низкотемпературной модификации, тогда как при комнатной температуре минерал может быть гексагональным. Для проверки этого предположения мы предприняли попытку индцирования полученной при 293 К порошкограммы бритвинита в гексагональной ячейке с  $a \approx 9.35$  и  $c \approx 18.83$  Å, которая не привела к успеху: все рефлексы удовлетворительно индцируются лишь в найденной при монокристалльном исследовании триклинной ячейке, т. е. полиморфного перехода при понижении температуры новый минерал, очевидно, не испытывает. Весьма небольшие расхождения между значениями объема элементарной ячейки бритвинита, полученными при 173 К (монокристалльные данные) и комнатных условиях (порошковые данные), говорят о незначительной величине коэффициента теплового расширения минерала. Это заметно облегчило использование

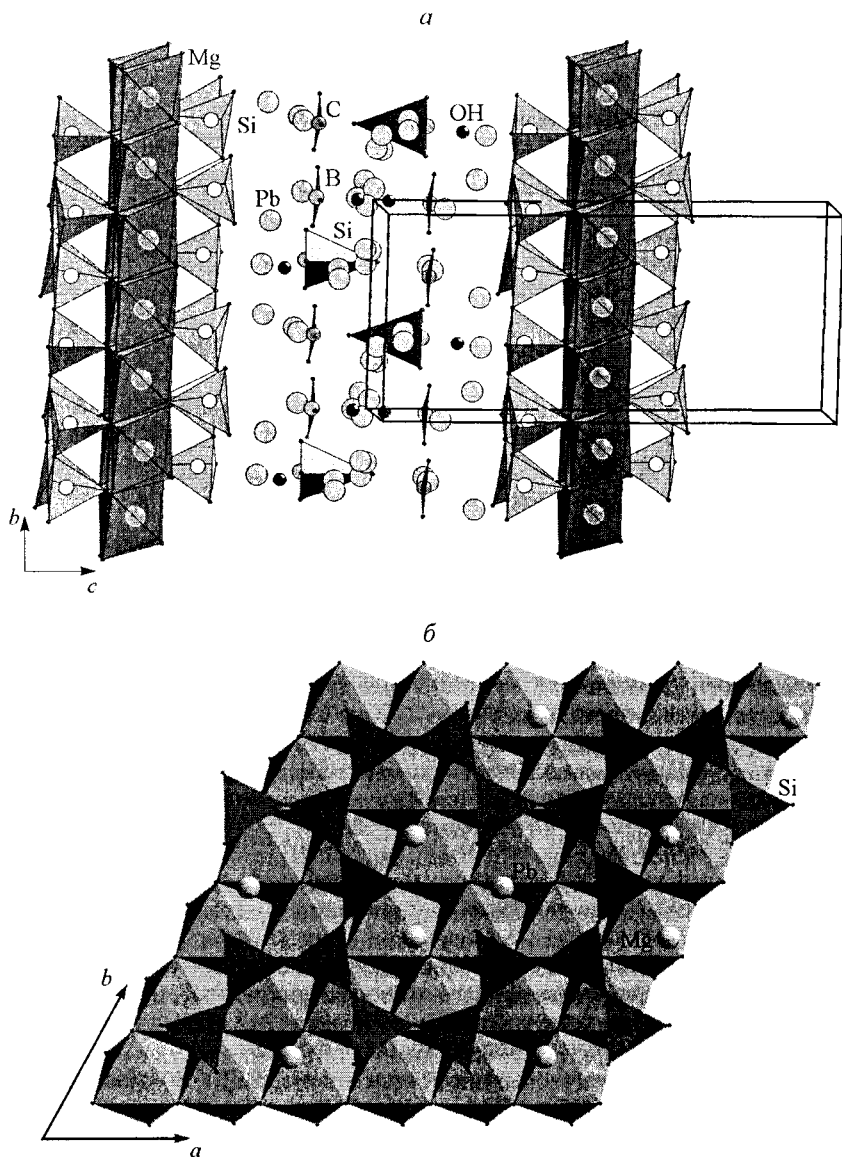


Рис. 2. Кристаллическая структура бритвинита.

*a* — проекция на плоскость (*bc*); *б* — проекция на плоскость (*ab*).

Fig. 2. Crystal structure of britvinitite: *a* — projection on the (*bc*) plane; *б* — projection on the (*ab*) plane.

значений *hkl* его теоретической порошкограммы, рассчитанной из структурных данных, для индирования дебаеграммы, полученной при комнатной температуре.

Кристаллическую структуру бритвинита формируют два типа блоков, чередующихся вдоль оси *c* триклинной элементарной ячейки и представленных комбинациями слоев разного состава, лежащих в плоскости *ab* (рис. 2, *a*).

Блоки первого типа имеют состав  $\{Mg_6(OH)_6[(Si,Al)_{10}O_{28}]\}_{\infty}$ . Они образованы брусоподобными слоями из сочлененных по ребрам Mg-октаэдров, ограниченными с обеих сторон вдоль *c* сетками тетраэдров  $SiO_4$ . Все тетраэдры ориентированы своими апикальными, т. е. не участвующими в образовании мостиков Si—O—Si, верши-

нами одинаково — в направлении плотноупакованных октаэдрических магниевых слоев. Сетки вершинно-связанных Si-тетраэдров (рис. 2, б) имеют некоторое сходство с кремнекислородными сетками в слюдах: если в тетраэдрической сетке слюды удалить из каждой тройки шестичленных колец по одному тетраэдру (общему для этих трех колец), то получится разорванная сетка состава  $(\text{Si}_3\text{O}_{14})_{\infty}$ . Отметим, что это новый тип кремнекислородной сетки, впервые установленный в структуре бритвинита. Сетки состава  $(\text{Si}_3\text{O}_{14})_{\infty}$  из 12-членных колец, как в бритвините, характерны для цеофиллита  $\text{Ca}_{13}(\text{F},\text{OH})_{10}[\text{Si}_5\text{O}_{14}]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Merlino, 1972; Mikenda e. a., 1997). Различна, однако, ориентация тетраэдров относительно плоскости сеток: если у нового минерала все тетраэдры в сетке обращены вершинами, не поделенными между соседними тетраэдрами, в одну сторону, то у цеофиллита каждый четвертый тетраэдр в слое повернут в обратном направлении.

Блоки второго типа, имеющие состав  $[\text{Pb}_{14,2}(\text{OH},\text{F})_{7,4}(\text{CO}_3)_2(\text{BO}_3)_{3,4}(\text{SiO}_4)_{0,6}]_{\infty}$ , представляют собой семислойные пакеты из катионов  $\text{Pb}^{2+}$  (их позиции частично вакантны) и кислородсодержащих анионов четырех типов. Лежащие в плоскости (001) треугольные анионные группы  $(\text{BO}_3)^{3-}$  и  $(\text{CO}_3)^{2-}$  чередуются (в соотношении 2 : 1) в слое в направлении оси *b* (рис. 2). Треугольные группы  $(\text{BO}_3)^{3-}$  в небольшой степени заняты тетраэдрическими группами  $(\text{SiO}_4)^{4-}$ . Блоки этого типа могут рассматриваться как состоящие из слоев, напоминающих слои в структуре синтетического «плюмбо-накрита»  $\text{Pb}_5\text{O}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_3$  (Krivovichev, Burns, 2000), но с упорядоченным замещением трети карбонатных групп боратными.

Более подробному описанию кристаллической структуры бритвинита посвящена отдельная публикация (Якубович и др., в печати).

Корректность определения химического состава, показателей преломления и плотности бритвинита подтверждается хорошей сходимостью по критерию Гладстона-Дейла:  $1 - (K_p/K_c) = -0.044$ .

По химическому составу и кристаллической структуре бритвинит уникален: близкие аналоги его среди минералов и синтетических соединений не известны. Сравнительные характеристики бритвинита и отдаленно родственных ему минералов, которые можно объединить в семейство сурита, а также молибдофиллита [т. е. слоистых силикатов с крупным двухзарядным межслоевым катионом (Pb или Ba) и дополнительными межслоевыми анионами ( $\text{CO}_3$  и/или OH)], приведены в табл. 3. Модель кристаллической структуры сурита (Hayase e. a., 1978), предложенная М. Уехарой с соавторами (Uehara e. a., 1997a), основана на регулярном чередовании *TOT*-слоя диоктаэдрического 2 : 1 смектита и блока основного Ca,Pb-карбоната. Феррисурит (Kampf e. a., 1992) структурно не изучался, но на основании данных по химическому составу и рентгенограммы порошка этот минерал считается аналогом сурита с преобладанием  $\text{Fe}^{3+}$  над Al в октаэдрических позициях *TOT*-слоя. Был также синтезирован магниезальный аналог сурита  $(\text{Pb}_{2,11}\text{Ca}_{0,83}\text{Na}_{0,13})\text{Mg}_{2,66}[(\text{Si}_{3,95}\text{Al}_{0,04})\text{O}_{10}](\text{CO}_3)_{2,08}(\text{OH})_{1,11}(\text{F},\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{0,06}$  (Uehara e. a., 1997b), содержащий смектиноподобные *TOT*-слои, в октаэдрических позициях которых находится магний. Порошковая диаграмма этой синтетической фазы соответствует моноклинной суритоподобной ячейке с параметрами  $a = 5.204(3)$ ,  $b = 9.080(9)$ ,  $c = 16.231(8)$  Å,  $\beta = 90.20(10)^\circ$  (Uehara e. a., 1997b).

Этим минералам структурно родственен недавно открытый бариевый карбонато-алюмосиликат никсергиевит. В отличие от сурита и его аналогов, характеризующихся примитивной моноклинной ячейкой, он при аналогичных метриках ячейки имеет центр симметрии и отличается повышенным содержанием алюминия, что не позволяет трактовать структуру никсергиевита как простое переслаивание смектитовых модулей и блоков основного Ba,Ca-карбоната, а также указывает на возможное вхождение части алюминия в карбонатный блок, имеющий состав  $[\text{Ba}_{1,33}\text{Ca}_{0,67}\text{Al}(\text{CO}_3)(\text{OH})_4]^+$  (Saburov e. a., 2005).

Среди минералов, предположительно принадлежащих к семейству сурита или родственных ему, можно отметить еще кегелит  $\text{Pb}_4\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{CO}_3)_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$  [пр. гр. *A2/m*, *A2* или *Am*,  $a = 21.04(1)$ ,  $b = 15.55(1)$ ,  $c = 8.986(6)$  Å,  $\beta = 91.01(1)^\circ$ ,  $V = 2939.5(54)$  Å<sup>3</sup>], описанный на месторождении Цумб в Намибии (см.: Dunn e. a.,

## Сравнительные данные для бритвинита и родственных ему минералов

## Comparative data for britvinite and related minerals

Характеристика	Бритвинит	Суриг	Феррисуриг	Никсергиевит	Молибдофиллит
Формула	$Pb_{15}Mg_9(Si_{10}O_{28})(BO_3)_4(CO_3)_2(OH)_{12}O_2$	$Pb(Pb,Ca)(Al,Fe,Mg)_2[(Si,Al)_4O_{10}](CO_3)_2(OH)_2$	$(Pb,Ca)_{2-3}(Fe^{3+},Al)_2(Si_4O_{10})[(CO_3)_{1.5-2}(OH,F)_{0.5-1}](OH)_2 \cdot nH_2O$	$(Ba,Ca)_2Al[(Al_2)(AlSi_3O_{10})(OH)_2](CO_3)(OH)_4 \cdot nH_2O$	$Pb_3Mg_3Si_3O_8(OH)_6$
Симметрия	Триклинный	Моноклинный	Моноклинный	Моноклинный	Гексагональный
Пр. гр.	<i>P1</i>	<i>P2<sub>1</sub></i>	<i>P2<sub>1</sub></i> или <i>P2<sub>1</sub>/m</i>	<i>C2/c</i> , <i>C2</i> или <i>Cm</i>	<i>P6<sub>3</sub>22</i>
<i>a</i> , Å	9.3409	5.22	5.241	5.176	9.371
<i>b</i> , Å	9.3597	8.97	9.076	8.989	9.371
<i>c</i> , Å	18.8333	16.3	16.23	16.166	27.33
$\alpha$ , °	80.365	90	90	90	90
$\beta$ , °	75.816	96.1	90.03	96.44	90
$\gamma$ , °	59.870	90	90	90	120
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	1378.74	762	772	747.4	2078.5
<i>Z</i>	2	2	2	2	6
Сильные линии рентгенограммы порошка <i>d</i> , Å ( <i>I</i> , %)	18.1 (100) 3.39 (30) 3.02 (90) 2.698 (70) 2.275 (30) 1.867 (30) 1.766 (40) 1.519 (40)	16.2 (1090) 5.4 (26) 4.48 (21) 4.05 (30) 3.24 (17) 2.59 (18)	16.1 (40) 5.40 (25) 4.53 (100) 3.727 (35) 3.240 (90) 2.612 (80) 2.272 (50) 1.715 (25)	16.1 (40) 4.49 (90) 3.68 (60) 2.585 (100) 2.230 (90) 2.069 (80) 1.692 (60)	14.23 (80) 3.073 (60) 2.701 (70) 2.684 (75) 2.411 (70) 1.772 (100)
Оптические данные					
<i>n<sub>p</sub></i> или <i>n<sub>e</sub></i>	1.896	1.693	1.757	1.580	1.761
<i>n<sub>m</sub></i> или <i>n<sub>o</sub></i>	1.903	Нет данных	1.763	1.625	1.815
<i>n<sub>g</sub></i>	1.903	1/738	1.773	1.625	
2 <i>V</i> , оптич. знак	-20°	(+)	+76°	0—10°	(-)
Плотность, г/см <sup>3</sup>	5.51 (выч.)	4.0 (изм.)	3.89 (выч.) 4.0 (изм.)	3.21 (выч.) 3.16 (изм.)	4.979 (выч.) 4.72 (изм.)
Ссылка	Настоящая работа	Hayase e. a., 1978	Kampf e. a., 1992	Saburov e. a., 2005	Dana, Ford, 1909; Aminoff, 1918; Welin, 1968; JCPDS 42-1384

1990), а также некоторые другие минеральные виды (буркхардтит, лоуренсвальсит), кристаллические структуры которых не изучены.

В отличие от бритвинита остальные минералы семейства сурига характеризуются моноклинными ячейками, объем которых равен или кратен  $753 \pm 20$  Å (табл. 3). Из минералов, родственных бритвиниту по катионному составу и, возможно, по структуре, следует отметить молибдофиллит  $Pb_3Mg_3Si_3O_8(OH)_6$ , который также был описан в карбонатно-марганцевых (с гаусманитом) рудах Лонгбана (Flink, 1901; Dana, Ford, 1909; Aminoff, 1918; Charlampides, Lindqvist, 1988; Långban..., 1999), но в несколько иной ассоциации. Главным карбонатом руды, содержащей молибдофиллит, является кальцит; в подчиненных количествах присутствуют норсетит и доломит, а баритокальцит был отмечен лишь в одном образце. Согласно монокристалльным дифрактометрическим данным и результатам уточнения химического состава, молибдофиллит гексагональный (пр. гр. *P6<sub>3</sub>22*) и по сравнению с идеализированной формулой характеризуется дефицитом свинца, так что его эмпирическая формула имеет вид  $Pb_{7.9}(Mg_{8.8}Mn_{0.1}Al_{0.2})Si_9O_{24}(OH)_{21.8}$  (Charalampides, Lindqvist, 1988).

Наряду с собственно молибдофиллитом в карбонатно-марганцевой руде Лонгбана в ассоциации с баритокальцитом отмечался так называемый «молибдофиллит-18Å», описанный как гексагональный минерал ( $a = 9.34 \text{ \AA}$ ,  $c = 36.79 \text{ \AA}$ ) с идеализированной формулой  $\text{Pb}_3\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_4$  (Charlampides, Lindqvist, 1988; рентгенограмму см. также в картотеке JCPDS, карточка 42-1385). По содержаниям главных компонентов — Si, Mg и Pb, определенных методом электронно-зондового анализа (на возможное присутствие бора и углерода «молибдофиллит-18Å», судя по данным, опубликованным Г. Харламписом и Б. Линдквистом, не проверялся), и по порошковой диаграмме этот минерал, который не был подробно изучен авторами цитированной работы, очень близок к бритвиниту. Не исключено, что бритвинит и «молибдофиллит-18Å» идентичны или же, учитывая удвоенное по сравнению с первым значением параметра элементарной ячейки  $c$  последнего, представляют собой политипные модификации.

Эталонный образец бритвинита передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве, рег. № 3458/1.

Работа выполнена при поддержке гранта Фонда содействия отечественной науке (И. В. П.). Авторы благодарны А. Н. Некрасову и И. А. Брызгалову за выполненные микронзондовые анализы.

### Список литературы

- Якубович О. В., Масса В., Чуканов Н. В. Кристаллическая структура бритвинита // Кристаллография, в печати.
- Aminoff G. Röntgenographische Ermittlung der Symmetrie und des Elementes  $p_0$  des Molybdophyllits // Geol. Fören. Stockholm Förhandl. **1918**. Vol. 40. P. 923—938.
- Charlampides G., Lindqvist B. Ganomalite, margarosane and molybdophyllite from Långban, south-central Sweden, and synthetic equivalents // Meddalanden från Stockholms Universitets Geol. Inst. **1988**. Nr. 273. N IV. P. 1—24.
- Dana E. S., Ford W. E. Dana's system of Mineralogy, 6<sup>th</sup> edition, app. II, **1909**. P. 70.
- Dunn P. J., Braithwaite R. S. W., Roberts A. C., Ramik R. A. Kegelite from Tsumeb, Namibia: a redefinition // Amer. Miner. **1990**. Vol. 75. P. 702—704.
- Flink G. Mineralogische Notizen // Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala. **1901**. Vol. 5. P. 81—96.
- Hayase K., Dristas J. A., Tsutsumi S., Otsuka R., Tanabe S., Sudo T., Nishiyama T. Surite, a new Pb-rich layer silicate mineral // Amer. Miner. **1978**. Vol. 63. P. 1175—1181.
- Kampf A. R., Jackson L. L., Sidder G. B., Foorda E. E., Adams P. M. Ferrisurite, the  $\text{Fe}^{3+}$  analogue of surite, from Inyo County, California // Amer. Miner. **1992**. Vol. 77. P. 1107—1111.
- Krivovichev S. V., Burns P. C. Crystal chemistry of basic lead carbonates. II. Crystal structure of synthetic «plumbonacrite» // Miner. Magaz. **2000**. Vol. 64. P. 1069—1075.
- Långban: the mines, their minerals, geology and explorers. Editors D. Holtstam and J. Langhof. Stockholm: Raster förlag, **1999**. 215 p.
- Merlino S. The crystal structure of zeophyllite // Acta Cryst. **1972**. Vol. B28. P. 2726—2732.
- Mikenda W., Pertlik F., Povondra P., Ulrych J. On zeophyllite from Radečín, České středohoří Mts.: X-ray and IR-investigations // Miner. Petrol. **1997**. Vol. 61. P. 199—209.
- Saburov S. P., Britvin S. N., Bekenova G. K., Sergieva M. N., Kotelnikov P. E., Chukanov N. V., Yagovkina M. A. Niksergievite,  $[\text{Ba}_{1.33}\text{Ca}_{0.67}\text{Al}(\text{CO}_3)(\text{OH})_4][\text{Al}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , a new phyllosilicate related to the surite-ferrisurite series // Amer. Miner. **2005**. Vol. 90. P. 1163—1166.
- Uehara M., Yamazaki A., Tsutsumi S. Surite: its structure and properties // Amer. Miner. **1997a**. Vol. 82. P. 416—442.
- Uehara M., Yamazaki A., Tsutsumi S. Preparation and properties of a basic lead calcium carbonate-swelling mica complex // J. Ceram. Soc. Japan. **1997b**. Vol. 105. P. 897—901.
- Welin E. X-ray powder data for minerals from Långban and the related mineral deposits of Central Sweden // Arkiv Mineral. Geol. **1968**. Vol. 4 (30). P. 499—541.
- Wilke H.-J. Die Mineralien und Fundstellen von Schweden. München: Christian Weise Verlag, **1997**. 200 S.

Поступила в редакцию  
26 декабря 2006 г.