

МИНЕРАЛОГИЯ

Л. С. БОРОДИН и М. Е. КАЗАКОВА

**БЕЛОВИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТОВ**

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 12 III 1954)

В 1950 г. при изучении щелочных пегматитов, одним из авторов (Л. С. Бородин) был обнаружен минерал, несколько напоминающий апатит. Изучение этого минерала показало, что он является сфатом стронция и редких земель и принадлежит к группе апатита. Для него выведена следующая химическая формула:  $(Sr, Ce, Na, Ca)_{10}[P_6O_{24}][OH, O]_2$ . Новый минерал назван беловитом в честь выдающегося русского ученого — кристаллохимика и минералогика академика Н. В. Белова.

Беловит встречается в виде шестигранных призматических кристаллов, величиной до 2 см. Кристаллографически подобен апатиту и обычно характеризуется развитием граней призмы (1010) и пинакоида (0001), тогда в шлифах наблюдаются также грани дипирамиды.

Спайность несовершенная, по призме (обычно обнаруживается в шлифах). Нередко также видна отдельность по пинакоиду. Излом ровный. Минерал хрупкий. Твердость 5. Удельный вес 4,19. Цвет мевжжелтый. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Черта белая. Оптически одноосный, отрицательный  $N_o = 1,660$ ,  $N_e = 1,640$ .  $N_o - N_e = 0,020$ . В шлифах бесцветный или желтоватый. Беловит легко растворяется в разбавленной азотной и соляной кислотах.

Рентгеноструктурное изучение беловита, проведенное Н. Н. Слудской и Н. И. Органовой показало его принадлежность к группе апатита (табл. 1).

Для элементарной ячейки минерала характерны следующие размеры:  $a = 9,62 \text{ \AA}$ ,  $c = 7,12 \text{ \AA}$ ;  $c : a = 0,74$ .

Химический анализ беловита дал следующие результаты (см. табл. 2).

Кроме полного химического анализа, в рентгенохимической лаборатории ИГН АН СССР Л. А. Вороновой было произведено определение количественного соотношения элементов церовой группы редких земель:  $La : Nd : Pr = 1 : 0,6 : 0,5 : 0,2$ .

Исходя из данных химического определения  $Ce_2O_3$ , можно примерно определить количество остальных окислов церовой группы (в %):  $La_2O_3$  11,25;  $La_2O_3$  6,75;  $Nd_2O_3$  5,62;  $Pr_2O_3$  2,25.

Минералы группы апатита характеризуются типовой формулой:  $_{10}B_6O_{24}X_2$ .

К группе А в беловите относятся в основном следующие катионы\*:  $Ca^{2+}$  (1,20),  $Ce^{3+}$  (1,02),  $Ca^{2+}$  (1,04) и  $Na^{1+}$  (0,98).

К группе В относятся  $P^{5+}$  (0,35),  $S^{6+}$  (0,29) и  $Si^{4+}$  (0,39).

Группа Х представлена гидроксидом.

В соответствии с общим типом формулы для группы апатита  $B : X = 10 : 6 = 1,66$ . В рассматриваемом случае (табл. 2) это отноше-

\* В скобках указана величина ионного радиуса в ангстремах, по данным В. Белова (1).

Таблица 1

Межплоскостные расстояния беловита  
(Условия съемки: Fe = излучение,  $2R = 57,3$ ;  $d = 0,6$ )

Относит. интен-сивн. линий	$d_{изм}$	$hkl_{гекс}$	$d_{расч}$	Величина осей *	Индиц. по апатиту	Относит. интен-сивн. линий	$d_{изм}$	$hkl_{гекс}$	$d_{расч}$	Величина осей *	Индиц. по апатиту
3	3,56	{ 201 002	{ 3,60 3,56	} $c = 7,12$	002	5**	{ 1,316 1,306	423	1,314	Далее не индицировано	
5	3,28	102	3,28		102	6	{ 1,275 432	521	1,310		
6	3,15	210	3,15	$a = 9,61$	120	6		{ 1,252 611	414	1,272	
10	2,87	211	2,88		121	6	{ 1,209 504		522	1,250	
7	2,78	300	2,77	$a = 9,63$	300	3***		{ 1,184 441;	504	1,248	
3	2,31	310	2,31	$a = 9,62$	130		{ 433 523		334	2,214	
1	2,19	311	2,20		131			{ 441; 433	334	1,189	
3	2,14	113	2,13		113		{ 523 721		441;	1,182	
8	1,998	222	1,990		222			{ 116 514	433	$c = 7,10$	
7	1,943	312	1,937		132	1	{ 702 216		523	1,160	
8	1,900	213	1,897		123	3		{ 116 514	721	1,158	
7	1,843	321	1,844		231		{ 443 524		116	1,150	
7*	1,830	410	1,820	$a = 9,69$	140	4		{ 533; 335;	514	1,143	
		303	1,802		402	4	{ 226 631;		702	1,128	
		402	1,797		402	3		{ 623; 107	216	1,109	
2	1,787	004	1,779	$c = 7,15$	004	6	{ 633; 107		443	1,070	
		403	1,564		502	3		{ 633; 107	524	1,068	
4	1,560	124	1,570		502	3	{ 633; 107		533;	1,062	
4	1,509	502	1,509		502			{ 226 631;	335;		
4	1,494	510	1,497	$a = 9,60$	233	8	{ 631; 623;		226	1,036	
2	1,467	323	1,495		151			{ 633; 107	631;		
		511	1,463		332	4	{ 633; 107		623;	1,009	
		323	1,460					{ 633; 107	633;	1,005	
							{ 633; 107		326		

\* Рассчитана в предположении индицировки по апатиту по величинам  $d$ , полученным из дебаграммы беловита.

\*\* Линия двойная.

\*\*\* Линия широкая.

Таблица 2

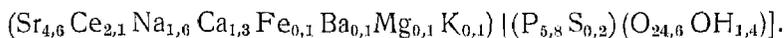
Химический анализ беловита  
(химик-аналитик М. Е. Казакова)

Оксиды	Вес. %	Молек. колич.	Атомные отношения	
			катионы	кислород
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,60	0,0581	1162	581
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,20	0,0021	42	21
MgO . . . . .	0,16	0,0039	39	39
CaO . . . . .	5,23	0,0932	932	932
SrO . . . . .	33,60	0,3242	3242	3242
BaO . . . . .	0,96	0,0062	62	62
$\Sigma TR^*$ . . . . .	24,00	0,0732	1464	2196
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,60	0,0037	74	111
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	28,88	0,2034	4068	10170
SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,20	0,0033	33	66
SO <sub>3</sub> . . . . .	1,12	0,0127	127	381
H <sub>2</sub> O . . . . .	0,89	0,0494	988	494 (=1/2 OH)
Сумма . . . . .	99,44	—	—	O = 17307 (OH) = 988

\* В том числе Se<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,25%.

ние также равно 1,66. При пересчете данных химического анализа на типовую формулу  $A_{10}B_6O_{24}X_2$  получаем следующие соотношения между компонентами беловита, принимая сумму катионов В, равной 6 (табл. 3).

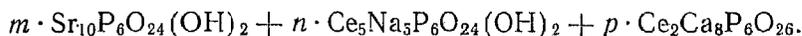
Кристаллохимическая формула беловита:



Существуют также представления, что в кристалле можно допустить наличие отдельных химических соединений, статистически распределенных в решетке целыми обособленными участками (2, 3).

Исходя из ряда изоморфных замещений, беловит можно представить как изоморфную смесь нескольких химических соединений, подчиняющихся единому типу химической формулы и находящихся в одной твердой фазе.

Состав минерала выразится при этом формулой:



В рассматриваемом случае  $m : n : p = 15 : 11 : 6$ .

Сравнение беловита с обычным фтор-апатитом обнаруживает значительное различие в ряде свойств этих минералов (табл. 4).

Это различие вытекает прежде всего из того, что большая часть кальция в беловите замещена стронцием и редкими землями.

В известных по литературным данным стронциевых разностях обычного апатита содержание стронция иногда достигает 10—12% (4, 7). Содержание редких земель не поднимается выше 3—6%.

Отсутствие разностей апатита с большим содержанием редких земель и стронция не дает возможности проследить, как меняются основные свойства апатита в зависимости от степени замещения кальция стронцием и редкими землями. Поэтому полезно сопоставить беловит не только

с минералами группы апатита, но и с искусственными фосфатами (6). В табл. 5 приведены некоторые кристаллохимические константы этих соединений и их удельные веса.

Как видно из табл. 5, стронциевый гидроксил-апатит обладает большим удельным весом, чем кальциевый. Таким образом, замещение кальция стронцием заметно сказывается на величине удельного веса. В то же

Таблица 3

К а т и о н ы	
Группа А	Группа В
Sr <sup>2+</sup> . . . . . 4,600	P <sup>5+</sup> . . . . . 5,773
Ce <sup>3+</sup> . . . . . 2,077	S <sup>6+</sup> . . . . . 0,180
Na <sup>2+</sup> . . . . . 1,648	Si <sup>4+</sup> . . . . . 0,047
Ca <sup>2+</sup> . . . . . 1,323	Сумма . . . . . 6,00
Fe <sup>3+</sup> . . . . . 0,105	Анионы
Ba <sup>2+</sup> . . . . . 0,088	O <sup>2-</sup> . . . . . 24,56=24,6
Mg <sup>2+</sup> . . . . . 0,055	OH <sup>1-</sup> . . . . . 1,40
K <sup>1+</sup> . . . . . 0,059	Сумма . . . . . 26,0
Сумма . . . . . 9,95≈10	

Таблица 4

Свойства	Беловит	Апатит
Сингония . . . . .	Гексагональная	Гексагональная
Параметры ячейки . . . . .	$a = 9,62;$ $c = 7,12$	$a = 9,36;$ $c = 6,85$
Цвет . . . . .	Медово-желтый	Белый, зеленый, желтый
Твердость . . . . .	5	5
Спайность . . . . .	Несовершенная	
Уд. вес . . . . .	4,19	3,18
Показатели преломления	$N_o = 1,660$ $N_e = 1,640$ 0,020	$N_o = 1,633$ $N_e = 1,629$ 0,004
Двупреломление . . . . .	Отрицательный	
Оптический знак . . . . .	Отрицательный	
Отношение к выветриванию . . . . .	Неустойчив	Устойчив

Таблица 5

Зависимость удельного веса от величины радиуса катиона

Тип соединения	Радиус катиона	<i>a</i>	<i>c</i>	Молек. объем	Молек. вес	Удельн. вес
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . . . . .	1,04	9,40	6,93	533	1005	3,13
$\text{Sr}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . . . . .	1,20	9,74	7,20	593	1484	4,17
$\text{Ba}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . . . . .	1,38	10,19	7,70	690	1978	4,71

время оно не оказывает существенного влияния на величину показателей преломления и двупреломления. Так, в статье Е. Ларсена (7), по данным Г. Каробби, чистый стронциевый хлор-апатит характеризуется двупреломлением 0,006, а кальциевый хлор-апатит 0,003, при близкой величине показателей преломления.

Об изменении свойств апатита при замещении кальция редкими землями и натрием литературных данных нет. Правда, в группе апатита известны два минерала с высоким содержанием редких земель — абукумалит и бритолит (8), но они отличаются от обычного апатита также сложной анионной частью и прежде всего — присутствием значительного количества кремнезема. Значительное содержание редких земель в бритолите и абукумалите заметно сказывается на величине удельного веса этих минералов, равного 4,44 и 4,35. По своим оптическим свойствам бритолит и абукумалит также резко отличны от обычных разновидностей апатита. Оба минерала характеризуются высокими показателями преломления — до 1,777. Это показывает, что вхождение редких земель в решетку апатита ведет не только к увеличению удельного веса, но и к значительному повышению величины показателей преломления.

Пегматит, в котором впервые был найден беловит, представляет собой линзовидное тело, вытянутое по простиранию на 15 м, при ширине в 6 м. Вмещающая порода представлена нефелиновым сиенитом, который сложен микроклином до 50%, нефелином до 30% и эгирином до 15%. Главными минералами пегматита являются эвдиалит 35—40%, уссингит (частично содалит и натролит) 25—30% и эгирин 15—20%. В меньшем количестве встречаются микроклин, мурманит, шизолит, эрицит, нептунит, стенструпин и нефелин. Главные минералы распределены в теле пегматита неравномерно: эвдиалит и эгирин локализируются преимущественно в периферической части, а уссингит и натролит — в центральной.

Для беловита характерно выделение только в центральной части пегматита, где он образует вкрапленники в уссингите. Образование уссингита можно представить как результат замещения микроклина при воздействии поздних щелочных растворов. При этом изменялись и другие минералы первичного пегматита, в том числе минералы, содержащие редкие земли, фосфор и стронций. В ходе процесса замещения происходило накопление фосфора, редких земель и стронция, которые частично фиксировались в беловите.

Поступило  
11 III 1954

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. В. Белов, Г. Б. Вокий, Сб. докл. кристаллохимического совещания, М., 1953. <sup>2</sup> И. Д. Борнеман-Старынкевич, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1951). <sup>3</sup> И. Д. Борнеман-Старынкевич, ДАН, 19, № 4 (1938). <sup>4</sup> М. И. Волкова, Б. И. Мелентьев, ДАН, 25, № 2, (1939). <sup>5</sup> R. K. Klement, Zs. anorg. Chem., 242, 2 (1939). <sup>6</sup> E. Larsen, Am. Min., No. 7—8 (1952). <sup>7</sup> F. Machatschki, Zbl. Min., Abt. A, 6 (1939).