

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 фосфатом стронция и редких земель и принадлежит к группе апатита. Для него выведена следующая химическая формула: $(\text{Sr}, \text{Ce}, \text{Na}, \text{Ca})_{10}[\text{P}_6\text{O}_{24}][\text{OH}, \text{O}]_2$. Новый минерал назван беловитом в честь выдающегося русского ученого — кристаллохимика и минералога, 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), иногда в шлифах наблюдаются также грани дипирамиды.

Спайность несовершенная, по призме (обычно обнаруживается в шлифах). Нередко также видна отдельность по пинакоиду. Излом неровный. Минерал хрупкий. Твердость 5. Удельный вес 4,19. Цвет медово-желтый. 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: $\text{Ce} : \text{La} : \text{Nd} : \text{Pr} = 1 : 0,6 : 0,5 : 0,2$.

Исходя из данных химического определения Ce_2O_3 , можно примерно определить количество остальных окислов церовой группы (в %): Ce_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: $\text{A}_{10}\text{B}_6\text{O}_{24}\text{X}_2$.

К группе А в беловите относятся в основном следующие катионы*: Sr^{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 $\text{A} : \text{B} = 10 : 6 = 1,66$. В рассматриваемом случае (табл. 2) это отноше-

* В скобках указана величина ионного радиуса в ангстремах, по данным Н. В. Белова (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	3,60	$c = 7,12$	002	5**	{ 1,316	423	1,314	Далее не индицировано	
5	3,28	{ 102	3,28				{ 1,306	521	1,310		
6	3,15	210	3,15		120	6	{ 1,275	432	1,278		
10	2,87	211	2,88	$a = 9,61$	121			414	1,272		
7	2,78	300	2,77	$a = 9,63$	300	6	{ 1,252	611	1,250		
3	2,31	310	2,31	$a = 9,62$	120			522	1,248		
1	2,19	311	2,20		131	3**	{ 1,209	504	2,214		
3	2,14	113	2,13		113			334	1,189		
8	1,998	222	1,990		222		{ 1,184	441;	1,182	$c = 7,10$	
7	1,943	312	1,937		132	1	1,166	433			
8	1,900	213	1,897		123	3	1,158	523	1,160		
7	1,843	321	1,844		231			721	1,158		
	1,830	410	1,820	$a = 9,69$	140	4	1,148	116	1,150		
7*		303	1,802			4	1,132	514	1,143		
		402	1,797		402	3	1,105	702	1,128		
	1,787	004	1,779	$c = 7,15$	004			216	1,109		
2	1,560	403	1,564			6	{ 1,070	443	1,070		
4	1,509	124	1,570			3	1,064	524	1,068		
4	1,494	502	1,509		502			533;	1,062		
		510	1,497	$a = 9,60$				335;			
4	1,467	323	1,495		233	8		226			
		511	1,463		151		{ 1,037	631;	1,036		
2		323	1,460		332			623;			
						4	1,010	107	1,009		
								633;	1,005		
								326			

* Рассчитана в предположении индицировки по апатиту по величинам d , полученным из дебаеграммы беловита.

** Линия двойная.

*** Линия широкая.

Таблица 2

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

Оксиды	Вес. %	Молек. колич.	Атомные отношения	
			катионы	кислород
Na ₂ O	3,60	0,0581	1162	581
K ₂ 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
ΣTR^*	24,00	0,0732	1464	2196
Fe ₂ O ₃	0,60	0,0037	74	111
P ₂ O ₅	28,88	0,2034	4068	10170
SiO ₂	0,20	0,0033	33	66
SO ₃	1,12	0,0127	127	381
H ₂ O	0,89	0,0494	988	494 (=1/2 OH)
Сумма . . .	99,44	—	—	O = 17307 (OH) = 988

* В том числе Ce₂O₃ 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 последовательно 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 ²⁺ 4,600	P ⁵⁺ 5,773
Ce ³⁺ 2,077	S ⁶⁺ 0,180
Na ²⁺ 1,648	Si ⁴⁺ 0,047
Ca ²⁺ 1,323	Сумма 6,00
Fe ³⁺ 0,105	Анионы
Ba ²⁺ 0,088	O ²⁻ 24,56=24,6
Mg ²⁺ 0,055	ОН ¹⁻ 1,40
K ¹⁺ 0,059	Сумма 26,0
Сумма 9,95≈10	

Таблица 4

Свойства	Беловит	Апатит
Сингония	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	$N_o = 1,660$ $N_e = 1,640$	$N_o = 1,633$ $N_e = 1,629$
Двупреломление	0,020	0,004
Оптический знак	Отрицательный	
Отношение к выветриванию	Неустойчив	Устойчив

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

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