

УДК 549.744.1

А. С. КИРИЛЛОВ

**ГИДРОКСИЛ-БАСТНЕЗИТ —
НОВАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ¹**

При изучении минерального состава карбонатитов массива Вуориярви (Кольский полуостров) нами был обнаружен редкоземельный карбонат из группы бастнезита, заметно отличающийся по физическим свойствам и химическому составу от обычного бастнезита. Геологическое строение этого массива неоднократно освещалось в литературе (Волотовская, 1958; Кухаренко, 1958; Бородин, 1962, и др.). Он сложен пироксенитами, окаймляемыми с периферии прерывистым полем щелочных пород, образовавшихся во вторую фазу интрузивной деятельности. В постмагматический этап произошло формирование апатито-форстерито-магнетитовых руд и разнообразных по составу карбонатитов: кальцитовых, доломито-кальцитовых, доломитовых, кальцито-доломито-анкеритовых, кварцево-анкеритовых, перечисленных в порядке их образования. Карбонатиты расположены в виде жилоподобных тел в интрузивных породах массива и вмещающих массив фенитах.

Описываемый минерал приурочен к поздним карбонатитовым жилам, залегающим в нефелинсодержащих пироксенитах. Жилы нередко имеют зональное строение: осевые их части сложены доломитом и кальцитом, боковые — анкеритом, доломитом, кварцем и гидроокислами марганца. Спорадически в карбонатитах встречаются стронцианит, барит, анкилит, аметист; в качестве примеси присутствуют пирротин, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, а также магнетит, анатаз, измененный бербанкит и некоторые другие минералы. Характерной особенностью жил является наличие в них многочисленных пустот различной формы размером 1—3 см, иногда до 10 см. Описываемый редкоземельный карбонат наблюдался как аксессуарный минерал в виде скоплений, почковидных агрегатов, небольших щеток кристаллов, нарастающих на стенки пустот совместно с баритом, кварцем, стронцианитом, анкилитом. Нередко агрегаты минерала нарастают на выделения барита и реже флюорита, мелкие зерна которого располагаются в центре почковидных скоплений минерала. В таких скоплениях часто можно было наблюдать реликты анкилита и бербанкита, замещаемые описываемым редкоземельным карбонатом. В свою очередь этот минерал наблюдался в виде включений в анкерите и кварце. Такие включения приурочены к трещинкам названных минералов и ассоциируют с монацитом, карбонат-апатитом и гидроокислами железа и марганца.

Одиночные кристаллы описываемого минерала встречаются редко и по размеру не превышают 0.1—0.2 мм. Облик их таблитчатый, иногда короткостолбчатый, реже игольчатый (в пустотах выщелачивания). На рис. 1 представлены два типа наблюдавшихся кристаллов, которые из-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам Всесоюзного минералогического общества 20 мая 1965 г.

мерены на гониометре. Наиболее распространены кристаллы, показанные слева на рис. 1. Габитусными формами являются пинакоид и гексагональная призма. В подчиненном развитии наблюдались шестигранные дипирамиды. Результаты гониометрических измерений приведены в табл. 1, где даны измеренные координаты граней и вычисленные с учетом отношения рентгеновских осей. На кристаллах второго типа, кроме призмы $\{10\bar{1}0\}$ и плохо развитого пинакоида, отмечались двенадцатигранная дипирамида (v), имеющая $\rho=6-8^\circ$ и φ , колеблющееся в пределах $13-22^\circ$, и две шестигранные дипирамиды. Одна из них (q) имеет ρ в интервале $33-40^\circ$, другая (s) — в интервале $57-59^\circ$. По литературным данным (G. Donnay, J. Donnay, 1953), эти две дипирамиды, очевидно, имеют символы соответственно $\{11\bar{2}4\}$ и $\{11\bar{2}2\}$. Двенадцатигранная дипирамида, имеющая $\rho=6-8^\circ$, в литературе для бастнезита не отмечалась. С большей точностью координаты этой формы измерить не удалось и при расчете полученной фотограммы, что обусловлено искривлением поверхностей граней дипирамиды. Присутствие дигексагональной дипирамиды на кристалле предполагает иной вид симметрии обнаруженного минерала, чем $P\bar{6}2c$ (G. Donnay, J. Donnay, 1953). Вероятный вид симметрии его $P6/mmm$.

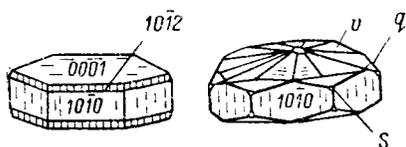


Рис. 1. Формы кристаллов гидроксил-бастнезита.

Для кристаллов минерала характерны двойники сростания по $\{10\bar{1}0\}$ и прорастания по $\{10\bar{1}2\}$, а также тройники и субпараллельные и сростки многих индивидов. На гранях призмы отмечалась грубая штриховка вдоль $[0001]$.

Цвет описываемого редкоземельного карбоната восково-желтый до темно-бурого; редко бесцветен и вполне прозрачен. Блеск на гранях стеклянный, в сколе жирный. Спайность по призме несовершенная. Твердость около 4. В шлифах минерал обычно желтоватый или слабо окрашен в бурые тона вследствие примесей гидроокислов железа, иногда зональный; чистые кристаллы бесцветны. Одноосный положительный, слабо плеохроирующий в желтых или буровато-желтых тонах. Показатели преломления минерала значительно выше, а удельный вес ниже, чем у обычного бастнезита. Растворяется на холоду в HCl , а также в H_2SO_4 .

Рентгенометрическим исследованием (методом порошка), произведенным Е. П. Соколовой (ВСЕГЕИ), установлено, что минерал имеет структуру типа бастнезита (табл. 2), но заметно отличается от последнего параметрами элементарной ячейки. Для него найдено: $a_0=7.23 \pm 0.02 \text{ \AA}$,

Т а б л и ц а 1

Сферические координаты граней кристаллов гидроксил-бастнезита

Формы	Число измеренных граней	Колебания в измерениях		Средние измеренные		Вычисленные	
		φ	ρ	φ	ρ	φ	ρ
0001	2	—	$0^\circ 00'$	∞	$0^\circ 00'$	∞	$0^\circ 00'$
$10\bar{1}0$	12	$29^\circ 10' - 30^\circ 30'$	$89^\circ 28' - 90^\circ 12'$	$29^\circ 46'$	90 00	30 00	90 00
$10\bar{1}3$	12	—	—	29 48	26 58	30 00	27 49
$10\bar{1}2$	12	$29^\circ 18' - 30^\circ 42'$	$34^\circ 38' - 38^\circ 12'$	29 37	35 06	30 00	38 33
$20\bar{2}3$	7	—	—	30 51	45 15	30 00	46 45

Таблица 2

Межплоскостные расстояния гидроксил-бастнезита

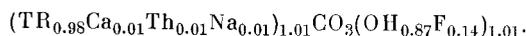
Гидроксил-бастнезит			Бастнезит (Ковалев и др., 1959)			Гидроксил-бастнезит			Бастнезит (Ковалев и др., 1959)		
I	$\frac{d_\alpha}{n}$	$\frac{d_\beta}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	hkil	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	$\frac{d_\beta}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	hkil
2	4.97		3	4.9	0002	1	(1.761)	1.597			
3	(3.95)	3.59	3	(3.93)	11203	7	1.698		8	1.673	2242
9	3.59		7	3.56	1120	4	1.600		7	1.571	3034
2	(3.21)	2.92	3	(3.19)	11203	3	1.366		5	1.480	1126
10	2.92		10	2.87	1122	5	(1.460)	1.323	7	1.438	2244
1p.	2.49		2	2.43	0004	4	1.369		5	1.344	4150
2	(2.32)	2.11	3	(2.28)	30503	7	1.319		8	1.298	4044
1	(2.24)	3.04	2	(2.22)	30313, 11243	2p.	1.298		4	1.275	3056
9	2.09		9	2.05	3030	4	1.198		7	1.179	3360
8	2.05		8	2.01	3031, 1124	4	1.172		7	1.154	4261
9	1.923		9	1.892	3032	1	1.086		3	1.044	5163
1	(1.876)	1.702	2	(1.853)	22423	1p.	1.023		4	1.036	5055
4	1.805		4	1.785	2240						

Примечание. Условия съемки: Fe-антикатод, D = 57.3 мм, d = 0.5 мм; 38 кв, 14 ма; 2 часа. Исправления по особому снимку смеси с NaCl.

$c_0 = 9.98 \pm 0.05 \text{ \AA}$, $c/a = 1.380$, в то время как для бастнезита $a_0 = 7.09 \text{ \AA}$, $c_0 = 9.72 \text{ \AA}$, $c/a = 1.371$ (Ковалев и др., 1959).

Термограмма минерала и кривая потери веса, полученные во ВСЕГЕИ, приведены на рис. 2. На термограмме отчетливо выделяются два эндотермических эффекта: в интервале 420—580 и 770—800°, обусловленные потерей воды и диссоциацией минерала.

Химический анализ описываемого карбоната с разделением редких земель методом хроматографии выполнен К. А. Баклановой (ВСЕГЕИ) и результаты его приведены в табл. 3. Кроме указанных компонентов, методом спектрального анализа В. А. Галибиным (ЛГУ) были обнаружены также 0.03% Y_2O_3 , 0.02% ZrO_2 и следы Pb, Be, Al. Как видно из данных табл. 3, минерал по составу представляет собой фтор- и водусодержащий карбонат редких земель цериевой группы. Присутствие окислов SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , BaO , SO_3 и P_2O_5 связано, очевидно, с наличием в анализированном материале механических примесей: мельчайших вrostков кварца, анатаза, гидрогетита, доломита, барита и, вероятно, рабдофана, от которых не удалось избавиться, несмотря на самую тщательную отборку материала под бинокулярной лупой. После исключения компонентов указанных минералов химический анализ хорошо рассчитывается на кристаллохимическую формулу бастнезита $TRCO_3(OH, F)$:



Количество воды (гидроксила) значительно превышает количество фтора в формуле минерала, что дает основание отнести его к самостоятельной разновидности — гидроксил-бастнезиту. Ca, Th и Na,

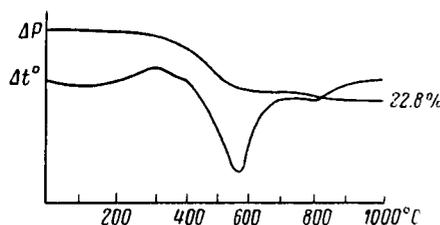


Рис. 2. Кривые нагревания гидроксил-бастнезита.

Таблица 3

Химический состав минералов ряда бастнезита

Компоненты	Гидроксил-бастнезит, Вуодьярви. Аналитик К. А. Вакланова (ВСЕГЕИ)		Теоретический гидроксил-бастнезит (Ce, La) · (CO ₃ OH при соотношении Ce : La ≈ 1 : 1		Бастнезит, Урал. Аналитик И. П. Аллмарин		Бастнезит, Бастнес, Швеция. (Glass, Spaltey, 1943)		Бастнезит. Аналитик Ю. Н. Книпович (Ковалев и др., 1953)		
	в вес. %	исправленные составы	в вес. %	атомные коэффициенты	в вес. %	исправленные составы	в вес. %	атомные коэффициенты	в вес. %	исправленные составы	атомные коэффициенты
SiO ₂	0.30				0.97				0.20		
TiO ₂	0.04										
Fe ₂ O ₃	2.17				0.70				0.11		
ThO ₂	0.50	0.53			42.32	75.58					
La ₂ O ₃	26.86				32.81						
Ce ₂ O ₃	37.50								45.77	1.04	
Nd ₂ O ₃	3.43	74.31		1					29.94		1.03
Sm ₂ O ₃	1.59										
(Y+Dy) ₂ O ₃	1.47										
MnO	0.06				0.01						
MgO	0.16										
BaO	0.70				0.60						
CaO	0.40	0.19							0.55		
Na ₂ O	0.13	0.14									
H ₂ O	0.11										
H ₂ O+	3.96	3.68		1	1.83	1.85			1.01	0.42	
F	1.15	1.21			2.24	4.70			7.42	0.88	1
SO ₃	0.40										
P ₂ O ₅	0.23				Сл.	19.84			19.50	1	
CO ₂	19.70	20.44		1	19.55				19.56		1
Сумма	100.86	100.50		100.00	101.02	101.97			102.56	103.28	
-O=F ₂	0.50	0.50			0.95	1.97			3.23	3.28	
	100.36	100.00		100.00	100.07	100.00			99.33	100.00	

очевидно, изоморфно замещают TR в решетке гидроксил-бастнезита по схемам:

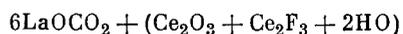
- 1) $TR + Ca \leftarrow Th + Na$
- 2) $TR + Na \leftarrow 2Ca$
- 3) $2TR \leftarrow Ca + Th$
- 4) $3TR \leftarrow 2Th + Na$

На основании приведенных данных можно ожидать, по-видимому, существование изоморфного ряда в группе бастнезита: бастнезит $TRCO_3F$ —гидроксил-бастнезит $TRCO_3OH$.

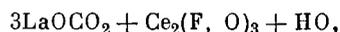
Изученный нами минерал близко отвечает одному из крайних членов этого ряда и содержит 87% гидроксил-бастнезитового и 14% бастнезитового компонента. Согласно известным принципам классификации изоморфных серий, предложенным А. К. Болдыревым (1926), он с полным основанием может быть назван гидроксил-бастнезитом.

По литературным данным, в районе Бастнес, Швеция, и на Урале, Кыштымский район, обнаружены минералы из группы бастнезита с содержанием от 1 до 2% воды (Korovaeff, 1863; Glass, Smalley, 1945), причем уральской находке дано самостоятельное название «кыштымит». Очевидно, эти минералы являются представителями изоморфного ряда бастнезит—гидроксил-бастнезит, что будет показано ниже. Поскольку оптически они мало отличаются от стандартного бастнезита, а кристаллохимические формулы их не рассчитывались, то авторы, по-видимому, не обратили внимания на присутствие воды в проанализированных минералах. Химические анализы минералов приведены в табл. 3, где для сравнения даны составы бастнезита и теоретического гидроксил-бастнезита. Кристаллохимические формулы и физические свойства минералов ряда бастнезита представлены в табл. 4.

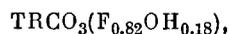
Следует отметить, что в «Минералогических таблицах» Х. Штрунца (1962) без ссылки на первоисточник кыштымитом называется «бастнезит с [OH] вместо F и относительно большим количеством La». Это утверждение требует уточнения. По Ф. Коровяеву (Korovaeff, 1863), кыштымит имеет следующий состав (в %): углекислота (CO_2) 17.9, вода (обозначенная автором как HO) 2.20, La 36.56, Ce 27.81, F 6.35; кислород 9.89; сумма 100. Для минерала Ф. Коровяев дал следующую формулу:



или



из которой можно заключить, что фтор считался двухвалентным и его количество преобладало над количеством воды. Содержание CO_2 примерно на 2—2.5% меньше, чем в обычном бастнезите. Пересчет приведенного анализа на типовую формулу бастнезита (с учетом атомных весов La и Ce, принятых до 1869 г.) дает кристаллохимическую формулу минерала



показывающую, что кыштымит является по составу бастнезитом, в котором небольшая часть фтора замещена на гидроксил-ион. Эта формула почти аналогична формуле бастнезита из Швеции, химический анализ которого приведен в табл. 3. Но удельный вес кыштымита заметно меньше удельного веса бастнезита, и поэтому рассчитанная нами кристаллохимическая формула, возможно, не верна.

В. А. Зильберминцем изучен материал, отобранный из россыпи примерно в том же районе, откуда был доставлен кыштымит Ф. Коровяеву. Пересчет результатов химического анализа, заимствованного

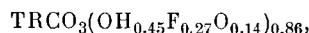
Таблица 4

Физические константы минералов ряда бастнезита

Минерал, формула	ε	ω	Дву- прелом- ление	Удельный вес (в г/см ³)	v (в Å ³)	Способ определения
Бастнезит, TRCO ₃ (F _{0.92} O _{0.04}) _{0.96}	1.820	1.719	0.101	5.00	424	Измерено (Ковалев и др., 1959). Вычислено.
	1.819	1.718	—	5.13	—	
Бастнезит, TRCO ₃ (F _{0.88} ОН _{0.12}) ₁ Бастнез, Швеция	1.8235	1.722	0.101	4.93	—	Измерено (Glass, Smalley, 1945). Вычислено.
	1.824	1.723	—	5.07	428	
Кыштымит, р. Борзовка, Урал	—	—	—	4.784	—	Измерено (Kogvaeff, 1863).
Бастнезит, TRCO ₃ (F _{0.55} ОН _{0.45}) ₁ Урал	1.825	1.723	0.102	4.746	—	Измерено. Вычислено.
	1.825	1.723	—	4.89	440	
Гидроксил-бастнезит, (TR _{0.98} Ca _{0.01} Th _{0.01} × × Na _{0.01}) _{1.01} CO ₃ × × (ОН _{0.87} F _{0.14}) _{1.01} , Вуориярви, Кольский полуостров	1.870 ± 0.006	1.760 ± 0.003	0.110	4.745	451	Измерено. Вычислено.
	1.868	1.761	—	4.762	—	
Гидроксил-бастнезит теоретический, TRCO ₃ ОН	1.864	1.757	0.107	4.62	458	Вычислено. Вычислено (рентгеновская плотность).
	—	—	—	4.72	—	

Примечание. В карбонатах нами обнаружено еще несколько представителей ряда бастнезита, имеющих показатель преломления $\omega = 1.740, 1.734, 1.728$.

у В. А. Зильберминца, приводит к следующей кристаллохимической формуле:



показывающей большой дефицит анионов по сравнению с типовой формулой бастнезита. Этот недостаток может быть обусловлен замещением $[\text{ОН}]^{-1}$ (или F^{-1}) на O^{-2} или тем фактом, что количество фтора (или воды) в анализе занижено. В последнем случае, если это так, рассчитанная формула не верна.

Существует зависимость между показателями преломления минерала, его удельным весом и преломлением составляющих компонентов, определяемая видоизмененным уравнением Лорентц—Лоренца:

$$\frac{\varepsilon^2 - 1}{\varepsilon^2 + 2} \cdot \frac{M}{D} = \sum (R_\varepsilon)_k n_k; \quad \frac{\omega^2 - 1}{\omega^2 + 2} \cdot \frac{M}{D} = \sum (R_\omega)_k n_k,$$

где ε и ω — большой и соответственно меньший показатели преломления, M — молекулярный вес, D — измеренная плотность, R_ε и R_ω — ионное преломление, n_k — число атомов каждого элемента в формуле минерала.

Решая эти уравнения относительно количеств F и [ОН], входящих в формулу, при $D = 4.746$, $\varepsilon = 1.825$ и $\omega = 1.723$, находим среднее значение для F (0.55) и для [ОН] (0.45). При расчете использовались данные табл. 5. Вычисленное количество [ОН] совпадает с количеством [ОН], приведенным в формуле, количество же F в 2 раза больше. Это значит, что фтор при анализе, вероятно, недоопределен. У минерала, имеющего

Т а б л и ц а 5

Ионное преломление

Ионы	R_ϵ	R_ω	Источник
Na ⁺¹	0.74	0.74	Брэгг, 1938
Ca ⁺²	1.99	1.99	То же
F ⁻¹	2.20	2.20	»
O ⁻²	3.30	3.30	»
CO ₃ ⁻²	11.32	9.58	Donnay, 1953
Ce ⁺³	5.55	5.51	То же
OH ⁻¹	4.40	4.20	Вычислено
Th ⁺⁴	8.00	8.00	»

кристаллохимическую формулу $\text{TRCO}_3(\text{OH}_{0.45}\text{F}_{0.27}\text{O}_{0.14})_{0.86}$ и уд. вес $D=4.746$, показатели преломления должны быть несколько выше измеренных ($\epsilon=1.830$ и $\omega=1.728$). Поэтому можно считать, что более верной кристаллохимической формулой минерала, изученного В. А. Зильберминцем, должна быть формула $\text{TRCO}_3(\text{F}_{0.55}\text{OH}_{0.45})_1$. Исправленный химический анализ приведен в табл. 3.

По-видимому, минералы группы бастнезита, в которых большая часть F замещалась бы на кислород, редки в природе, хотя невозможно отрицать существование в определенных условиях оксибастнезита (TR, Th) $\text{CO}_3(\text{F}, \text{O})$.

Таким образом, на основании приведенных данных можно полагать, что минерал, обнаруженный на Урале (Kogovaeff, 1863) и позднее описанный В. А. Зильберминцем, является промежуточным членом изоморфного ряда бастнезит—гидроксил-бастнезит. Переменным химическим составом минералов этого ряда, очевидно, обусловлено закономерное изменение их физических свойств (показателей преломления, удельного веса, параметров элементарной ячейки и др.). Это видно из данных табл. 4, где приведены измеренные и вычисленные показатели преломления, удельный вес и объем элементарной ячейки минералов ряда бастнезита. Удельный вес вычислялся из рентгеновских данных и молекулярного веса, а показатели преломления найдены по приведенной ранее формуле Лорентц—Лоренца. При отсутствии рентгеновских данных плотность рассчитывалась интерполяцией. Из данных табл. 4 и 5, а также из диаграммы состав—свойства минералов (рис. 3), построенной по данным табл. 4 и расчетов, следует, что при изоморфном замещении F⁻¹ анионами гидроксила в ряду бастнезит—гидроксил-бастнезит должно иметь место уменьшение плотности и повышение показателей преломления минералов, что хорошо согласуется с результатами непосредственных измерений. Этим же можно объяснить и увеличение параметров (объема) элементарной ячейки гидроксил-бастнезита, так как радиус гидроксил-иона (1.40 Å) несколько больше радиуса замещаемого им фтор-иона (1.36 Å), по данным Грина (Green, 1959). Замещение TR на элементы Ca, Sr и Ba, по-видимому, должно приводить к увеличению параметров решетки и уменьшению показателей преломления и удельного веса минералов ряда бастнезита. Вхождение в решетку Th и элементов иттриевой группы, наоборот, может увеличивать удельный вес и показатели преломления минерала и уменьшать объем ячейки. Этими факторами могут быть обусловлены вариации свойств минералов упомянутого ряда.

На предложенной диаграмме (рис. 3) кыштымиту, имеющему удельный вес 4.784, соответствует кристаллохимическая формула $\text{TRCO}_3(\text{F}_{0.64}\text{OH}_{0.36})$. Близкие значения для F и [OH] получаются при расчете анализа

Ф. Короваева, если количество CO_2 , приведенное в анализе, увеличить на 2.7%.

Из диаграммы следует, что повышение содержания гидроксил-иона в составе бастнезита примерно до 50 мол.% незначительно влияет на изменение показателей преломления минерала. Резкое возрастание преломления наблюдается при [ОН] более 50 мол.%, что, возможно, обусловлено некоторой перестройкой структуры кристаллической решетки. Поэтому для более точной диагностики минералов необходимо определение удельного веса и рентгеновских констант.

Согласно А. К. Болдыреву (1926 г.), в изоморфном ряду бастнезит—гидроксил-бастнезит могут быть выделены: бастнезит (100—75 мол.% F и 0—25 мол.% ОН), гидроксилсодержащий бастнезит (75—50 мол.% F и 25—50% ОН), фторсодержащий гидроксил-бастнезит (50—75 мол.% ОН и 50—25% F), гидроксил-бастнезит (75—100 мол.% ОН и 25—0 мол.% F). По этой классификации, минерал, обнаруженный на Урале (Korovaeff, 1863), является гидроксилсодержащим бастнезитом. Но поскольку название кыштымит было дано редкоземельному фтор- и водусодержащему карбонату ранее, чем стал известен состав бастнезита (Glass, Smalley, 1945), и оно укоренилось в литературе, целесообразно под этим термином объединить минералы ряда бастнезита с содержанием 75—50 мол.% F (25—50 мол.% ОН) и не употреблять термина «гидроксилсодержащий бастнезит».

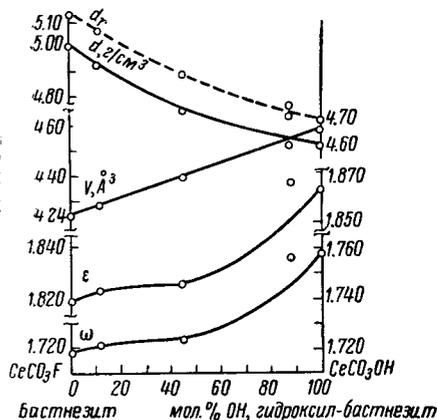


Рис. * 3. Диаграмма состав—свойства минералов ряда бастнезит—гидроксил-бастнезит.

d_r , d — рентгеновская и измеренная плотность; v — объем ячейки; n , ϵ — показатели преломления.

Касаясь генезиса гидроксил-бастнезита в карбонатах Вуориярви, следует подчеркнуть, что он появляется только в позднюю гидротермальную стадию, характеризующуюся процессами растворения и переотложения ранее возникших минералов. Этим гидроксил-бастнезит генетически отличается от бастнезита, который в большинстве своих местонахождений является одним из ранних минералов. Образование гидроксил-бастнезита (а не бастнезита) в карбонатах Вуориярви обусловлено низкой концентрацией и малой активностью фтора в карбонатобразующих растворах. Анализ минеральных парагенезисов в карбонатах показывает, что наиболее ранним карбонатом редких земель, характерным для стадии формирования доломито-кальцитовых карбонатитов, является бербанкит — сложный безводный карбонат Na, Ca, Sr, Ba и TR, устойчивый в щелочной среде. В более позднюю стадию (формирование доломитовых и анкерито-доломитовых карбонатитов) в ассоциации с ним появляются карбоцернаит и барит, причем в ряде случаев устанавливается замещение бербанкита анкилитом. В заключительные стадии гидротермального процесса, характеризующиеся выщелачиванием и окварцеванием карбонатитов, возникает гидроксил-бастнезит, замещающий анкилит и другие редкоземельные карбонаты. Таким образом, сложные безводные карбонаты редких земель, характерные для ранних этапов редкоземельной минерализации, на поздних этапах сменяются более простыми гидрокарбонатами в такой последовательности: бербанкит—карбоцернаит—анкилит—гидроксил-бастнезит. В том же направлении увеличивается содержание редких земель в минералах этой группы.

Таблица 6

Состав TR в редкоземельных карбонатах

Минерал	ΣCeTR	ΣYTR	Автор
Бербанкит	99.55	0.45	Бородин, Капустин (1962)
Карбоцернаит	95.00	5.00	Булах и др. (1961)
Гидроксил-бастнезит	95.60	4.40	Наши данные

Интересно также проследить изменение состава редких земель в последовательно образующихся редкоземельных карбонатах (табл. 6).

Как следует из данных табл. 6, для поздних минералов (карбоцернаита и гидроксил-бастнезита) характерно накопление лантаноидов иттриевой группы, обладающих малыми радиусами ионов. Это, по-видимому, обусловлено снижением щелочности карбонатитообразующих растворов, о чем свидетельствует и парагенезис гидроксил-бастнезита с баритом, кварцем, сульфат-монацитом и сульфидами.

В поверхностных условиях гидроксил-бастнезит не устойчив и разлагается с образованием диспергированных гидроокислов редких земель.

В заключение пользуюсь случаем, чтобы выразить благодарность А. А. Кухаренко, А. Г. Булаху, Е. И. Нефедову, В. К. Андриашину за помощь и советы при выполнении работы, В. Б. Татарскому и В. А. Франк-Каменецкому за высказанные замечания при просмотре рукописи.

Литература

- Болдырев А. К. (1926). Курс описательной минералогии, вып. 1. Л.
- Бородин Л. С. (1962). К петрографии и генезису массива Вуориярви. Тр. Инст. минер., геохим. и кристаллохим. редких элементов, вып. 9.
- Бородин Л. С., Ю. Л. Капустин. (1962). Бербанкит — первая находка в СССР. ДАН СССР, т. 147, № 2.
- Брэгг У. Л. (1938). Кристаллическое состояние, т. 1. Общий обзор. Изд. ИЛ.
- Булах А. Г., В. В. Кондратьева, Е. Н. Баранова. (1961). Карбоцернаит — новый редкоземельный карбонат. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 90, вып. 1.
- Волотовская Н. А. (1958). Магматический комплекс ультраосновных щелочных и карбонатных пород массива Вуориярви. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 87, вып. 3.
- Ковалев Г. А., Е. П. Соколова, А. И. Комков. (1959). Эталонные рентгеновские константы для минералов класса карбонатов. Матер. ВСЕГЕИ, вып. 26.
- Кухаренко А. А. (1958). Палеозойский комплекс ультраосновных щелочных пород Кольского полуострова и связанные с ним редкометалльные месторождения. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 87, вып. 3.
- Штрунц Х. (1962). Минералогические таблицы. Изд. ИЛ.
- Donnay G., J. Donnay. (1953). The crystallography of bastnaesite, parisite, roentgenite and synchisite. Amer. Miner., v. 38, № 11—12.
- Glass I. J., R. G. Smalley. (1945). Bastnäsite. Amer. Miner., v. 30, стр. 601.
- Green J. (1959). Geochemical table of the elements for 1959. Bull. geol. Soc. Amer., v. 70, № 9.
- Короваефф Т. (1863). Kischtimite, a new mineral. Amer. Journ. Sci., v. 35, № 105.

Ленинградский
государственный университет.