

Т. Б. ЗДОРИК

БЕРБАНКИТ И ПРОДУКТЫ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Среди редкоземельных карбонатов наименее изучена, пожалуй, группа простых безводных карбонатов (сахамалит, бербанкит, карбоцернаит), которые были открыты в течение последнего десятилетия (Pesore, Kerr, 1953; Булах и др., 1961). Немногочисленность находок минералов этой группы в значительной мере объясняется их крайней неустойчивостью, создающей возможность широкого развития псевдоморфных замещений.

В одном из карбонатитовых массивов Восточной Сибири автором установлена серия простых и сложных псевдоморфоз различных, главным образом редкоземельных, минералов по бербанкиту.

Массив представлен эллипсоидным в плане телом (отношение длины к ширине 2 : 1), залегающим в терригенно-карбонатных отложениях спийского возраста в активизированной части платоформы вблизи границы с молодой складчатой областью. Массив слагается преимущественно карбонатитами, составляющими 87,2% вскрытой площади. Силикатные породы залегают в карбонатитах в виде реликтовых тел неправильной формы площадью от нескольких квадратных метров до 0,2 км² и представлены породами гипербазитового состава (6,4%), ийолит-уртитам (3,4%) и нефелиновыми сиенитами (3%), перечисленными в возрастном порядке. Карбонатиты характеризуются вариациями минерального состава и значительным разнообразием текстур и структур. В процессе их формирования выделяются четыре последовательные стадии (Фролов, Эпштейн, 1962 г.), каждой из которых свойственны своеобразный парагенезис породообразующих и редкометалльных минералов и специфические текстурно-структурные признаки.

Краткий перечень стадий карбонатитообразования и минеральные парагенезисы каждой из этих стадий приведены в табл. 1.

В крупно- и гигантозернистых жильных анкеритовых карбонатитах (IV стадии) наблюдаются замещенные кристаллы двух типов: длиннопризматические или шестоватые с восьмиугольным сечением (рис. 1) и конические или короткопризматические с гексагональным сечением (рис. 2). И те и другие являются полными псевдоморфозами, сложенными мелкозернистым агрегатом различных минералов. Состав длиннопризматических псевдоморфоз представлен тонким агрегатом серицита или серицита, хлорита и альбита, что дает основание предположить силикатный состав замещенного минерала. У гексагональных же кристаллов при сравнительно постоянном габитусе цвет и величина зернистости замещающего комплекса варьируют в широких пределах: встречаются белые, розовые, светло-желтые, серо-зеленые и темно-серые разновидности

Минеральный состав карбонатов

Этапы гидротермальной деятельности	Стадии процесса	Разновидности карбонатов	Минеральные ассоциации	
			породообразующие	акцессорные
Карбонатный	I	Авгитдиопсид-кальцитовые, форстерит-кальцитовые, биотит-кальцитовые, кальцитовые	Кальцит, авгит-диопсид, форстерит, биотит, апатит, магнетит	Дизаналит I, кальспирит
	II	Диопсид-кальцитовые, форстерит-кальцитовые, флогопит-кальцитовые, кальцитовые	Кальцит, диопсид, форстерит, флогопит, апатит, магнетит	Пирохлор I и II, ниркелит, бадделит, дизаналит II
	III	Амфибол-кальцитовые, амфибол-доломитовые, флогопит-кальцитовые, доломитовые	Кальцит, доломит, эркерманит, магнезиоарфведсонит, флогопит, магнетит, апатит	Пирохлор III, феррерит, луешит, линдокист, циркон, бербанкит I
	IV	Эгирин-доломитовые, амфибол-анкеритовые, анкеритовые	Анкерит, сидерит, доломит, эгирин, арфведсонит, хлорит, серицит, биотит, барит, стронцианит, флюорит	Пирохлор IV, колумбит, феррерит II, фергусонит, бербанкит II, карбопернаит, ангицит (?), бастнезит I, монацит I, сульфиды (пирит, сфалерит, галенит, молибденит)
Посткарбонатный		Кальцитовые, кальцит-песолитовые, кальцит-альбитовые, кальцит-кварцевые	Кальцит, кварц, альбит, цезолит	Бастнезит II, ортит, монацит

подобных псевдоморфоз; в тонкозернистых псевдоморфозах невооруженным глазом невозможно выделить минеральные индивиды, в среднезернистых иногда отчетливо выделяются кристаллы бастнезита, кальцита, барита, реже — ортита. Была подмечена следующая закономерность в расположении гексагональных кристаллов в анкеритовых жилах: вблизи зальбандов мелкие кристаллы (около 1 см в поперечнике) располагаются веерообразно или субпараллельно друг другу и перпендикулярно к линии контакта жилы. При этом тонкие концы конических кристаллов прикреплены к плоскости зальбанда, а расширяющиеся обращены к центральной части жил (рис. 3). По направлению к центру директивность общей текстуры теряется, резко возрастает размер поперечного сечения кристаллов (до 6—8 см), габитус изменяется от конического до короткопризматического.

Размер шестоватых восьмигранных псевдоморфоз также увеличивается от долей сантиметра до 1,5—2 см в поперечнике и 12—15 см в длину. Вытянутые ромбоэдри анкерита располагаются вокруг гексагональных псевдоморфоз, расходятся от них, как от центров кристаллизации, радиально и перпендикулярно к длинной оси замещенных кристаллов.

Несмотря на обилие гексагональных конических псевдоморфоз, долгое время не удавалось выяснить, по какому минералу они возникли, хотя валовой химический состав псевдоморфоз (Ca, Sr, Ba, TR) и их форма позволяли предположить, что замещенным минералом должен был быть гексагональный карбонат стронция, бария, кальция и редких земель.

В 1961 г. горными выработками на контакте анкеритовых и доломитовых карбонатов была вскрыта полоса амфибол- и эгирин-доломитовых карбонатов, в которых нам сразу же посчастливилось встретить свежие, почти не затронутые вторичными процессами лимонно-желтые кристаллы



Рис. 1. Реликты шестоватых кристаллов с восьмигранным сечением в анкеритовых карбонатах. Полные псевдоморфозы, сложенные серицитом, альбитом и хлоритом
Натур. вел.

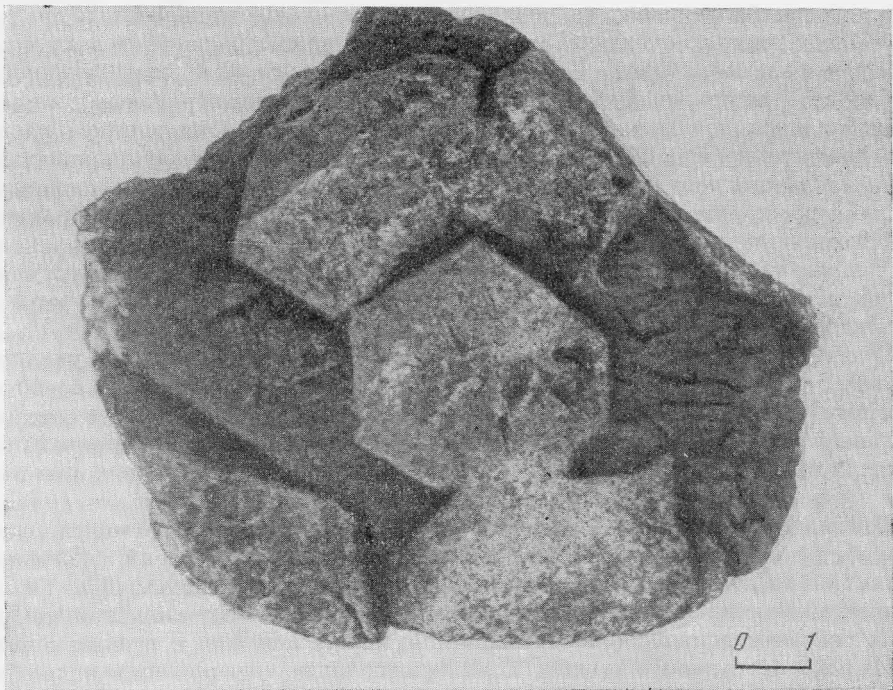


Рис. 2. Реликты гексагональных кристаллов в анкеритовых карбонатах. Поперечный разрез
Натур. вел. Полные псевдоморфозы, сложенные агрегатом различных, в том числе редкоземельных минералов, сохраняют облик замещенных кристаллов

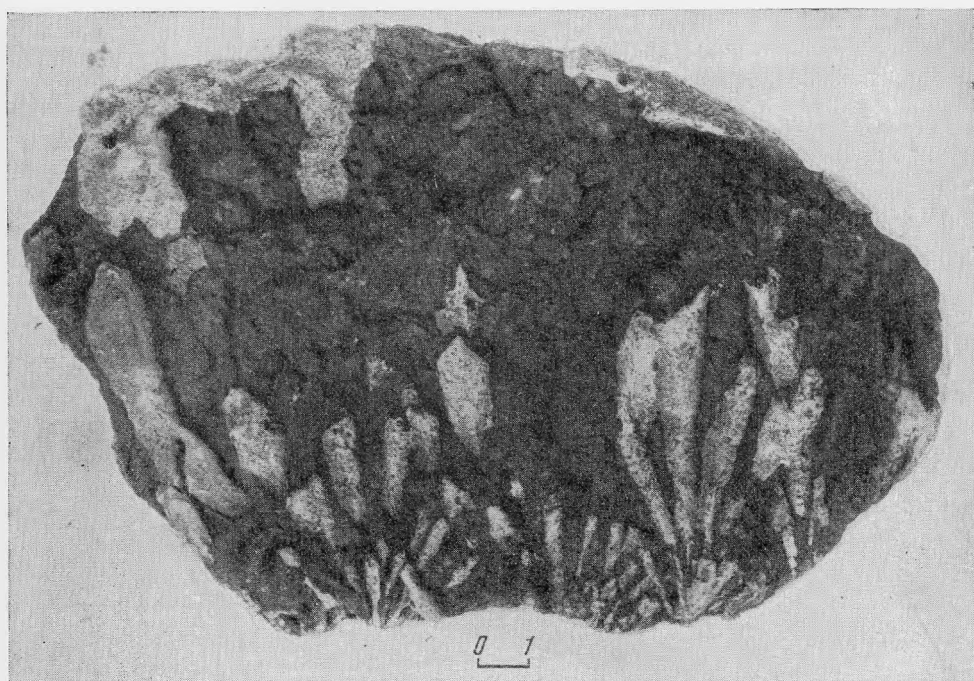


Рис. 3. Расположение замещенных конических кристаллов в анкеритовой жиле.
Натур. вел.

бербанкита, форма которых была совершенно идентична форме описанных выше псевдоморфоз (рис. 4). На самом контакте в розовато-серых псевдоморфозах обычного облика были обнаружены реликтовые участки бербанкита.

В среднезернистых амфибол-кальцитовых карбонатитах в непосредственной близости от доломитовых карбонатитов была установлена разновидность бербанкита, представленная овальными и прожилковидными выделениями. В доломитовых карбонатитах кристаллы бербанкита, как уже упоминалось, имеют гексагональную, коническую или призматическую форму. Крупные одиночные кристаллы достигают 3—4 см в поперечнике и 6—7 см в длину. Мелкие кристаллы образуют розетки и веерообразные сростки. Цвет минерала лимонно-желтый; в осколках он почти бесцветный, прозрачный. Отмечается неясная спайность по удлинению и грубая отдельность в двух направлениях: по базопинакоиду и по диагонали (20—25°) к удлинению. Твердость 4,5, удельный вес 3,58—3,60. Минерал легко растворяется в кислотах (HCl и HNO₃). Оптически одноосный, отрицательный.

$N_o = 1,629$, $N_e = 1,617$, $N_o - N_e = 0,012$. Низкое двупреломление (цвета интерференции обычно серые) — характерное свойство бербанкита. Очень типична также сеть из пересекающихся трещин отдельности, обычно заполненных вторичными продуктами.

В химическом составе минерала (анализ К. А. Дорофеевой, ВИМС) преобладают кальций, барий, стронций, натрий и редкие земли, в качестве примеси отмечаются магний и железо (табл. 2). Раздельное определение редких земель рентгеноспектральным методом (Е. М. Шмелева, ВИМС) свидетельствует об исключительном присутствии церевых земель. Характерно почти равное количество лантана (42%) и церия (44%).

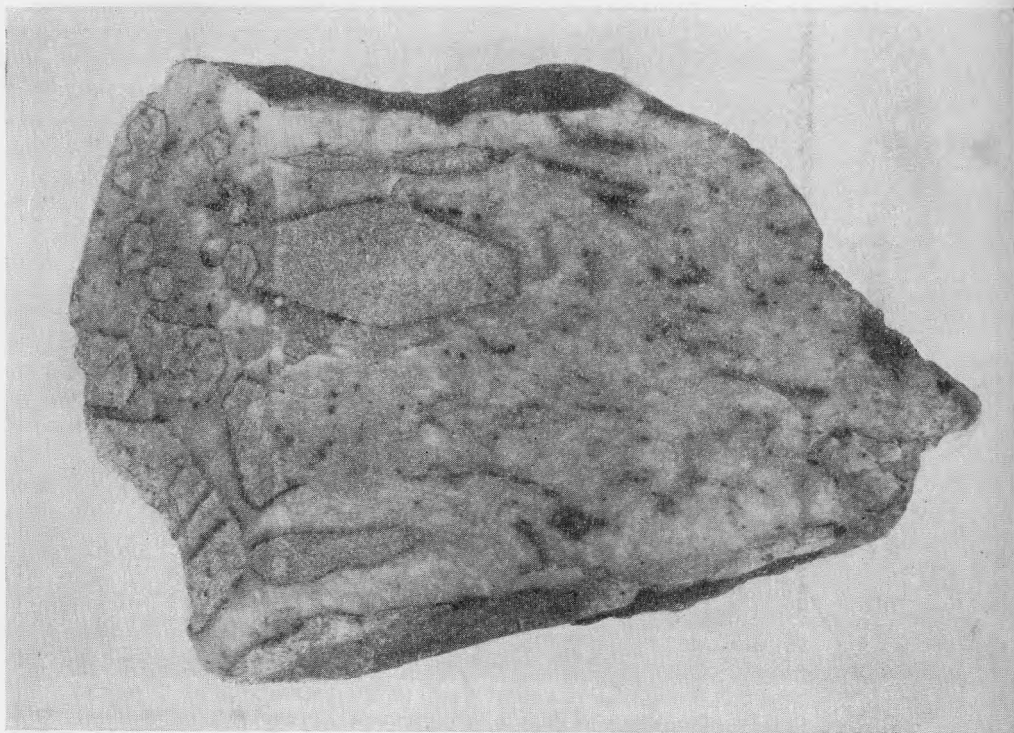


Рис. 4. Призматические и бочонковидные кристаллы бербанкита в доломитовых карбонатитах

Натур. вел. На поперечном срезе видно гексагональное сечение минерала

Параметры кристаллической решетки бербанкита: $a_0 = 10,43 \text{ кХ}$, $c_0 = 6,38 \text{ кХ}$ (получены Г. А. Сидоренко путем индиферирования порошковой граммы минералов по кривым Хелла). В табл. 3 приведены значения межплоскостных расстояний и интенсивности линий дебаеграмм.

При сопоставлении состава и свойств данного бербанкита с бербанкитом из Монтаны и Кольского полуострова видна прямая зависимость величины параметров решетки от суммы атомных количеств бария и стронция, а удельного веса — от количества редкоземельных окислов. Последняя закономерность проявлена очень четко, на что неоднократно указывалось (Капустин, 1964; Тихоненкова, Казанцева, 1964).

Прокаливанием бербанкита (А. П. Цветков, ИГЕМ, 1964) установлено наличие двух максимумов (при 680 и 750°), что свидетельствует о диссоциации карбоната в два этапа. Аналогичные данные получил и Ю. Л. Капустин для бербанкита Вуори-Ярви. Это позволило ему представить состав минерала следующим образом: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 4\text{CaCO}_3$ или $\text{Na}_2\text{Ca}_2[\text{CO}_3]_5$, где в группу Ca могут изоморфно входить Sr, Ba, TR и, очевидно, избыток Na.

Формула данного бербанкита, пересчитанная подобным образом, имеет вид: $\text{Na}_2(\text{Ca}_{1,4}\text{Sr}_{1,3}\text{Ba}_{0,2}\text{TR}_{0,9}\text{Na}_{0,6})_{4,4}(\text{CO}_3)_5$.

В ассоциации с бербанкитом в доломитовых карбонатитах встречаются магниевый арфведсонит и эгирин; последний образуется несколько позже бербанкита. Наряду с крупными сростками игольчатых кристаллов, ксеноморфными по отношению к бербанкиту, тончайшие игольчатые кристаллики эгирина нередко развиваются по плоскостям спайности бербанкита. Логично предположить, что шестоватые восьмигранные кристаллы,

Таблица 2

Химический состав и свойства бербанкитов

Компоненты	Восточная Сибирь	Бирнау Маунтин (Монтана)	Вуори-Ярви	Ловозерский массив
TR	20,00	9,48	15,12	18,95
Al ₂ O ₃	0,41	0,25	1,05	—
Fe ₂ O ₃	0,24	0,03	0,48	Сл.
BaO	5,49	13,56	11,62	2,33
SrO	16,60	19,42	12,86	26,35
CaO	12,38	13,46	10,86	7,09
MgO	0,14	0,14	0,35	Сл.
Na ₂ O	11,62	9,69	11,44	14,52
K ₂ O	0,03	0,15	0,99	Сл.
SiO ₂	0,16	0,16	0,19	—
P ₂ O ₅	—	0,12	—	—
CO ₂	32,40	32,55	34,30	30,77
F	0,03	—	—	—
H ₂ O ⁺	0,023	0,18	0,86	—
S	—	0,24	—	—
—O = S	—	0,12	—	—
Сумма	99,55	99,31	100,23	100,31
Аналитик	К. А. Дорофеева	М. К. Carron	Т. А. Капитонова	М. Е. Казакова
Автор	Т. Б. Здорик	Ресога, Kerr, 1953	Л. С. Бородин, Ю. Л. Капустин, 1962	Р. П. Тихоненкова, Казанцева, 1964
Параметры элементарной решетки	$a = 10,43$ $c_0 = 6,38$	$a = 10,53$ $c_0 = 6,47$	$a_0 = 10,46$ $c_0 = 6,48$	—
Уд. вес	3,58—3,60	3,50	3,54	3,60
Показатели преломления	$1,629 \pm 0,002$ $1,617 \pm 0,002$	$1,627 \pm 0,002$ $1,615 \pm 0,002$	$1,632 \pm 0,002$ $1,620 \pm 0,02$	$1,606 \pm 0,002$ $1,618 \pm 0,002$
$N_o - N_e$	0,012	0,012	0,012	0,012

Таблица 3

Межплоскостные расстояния бербанкита

Восточная Сибирь			Бирнау Маунтин		Восточная Сибирь			Бирнау Маунтин	
d	I	hkl	d	I	d	I	hkl	d	I
—	—	100	9,16	2	2,59	10	202	2,64	10
—	—	101	5,28	7	(2,34)	4	212	2,358	1
4,52	1	200	4,56	1	2,13	9	401	2,150	7
3,71	2	201	3,73	6	2,07	3	103	2,107	1
(3,31)	1	210	3,44	1	2,02	5	222	2,045	2
—	—	002	3,25	3	1,970	4	410	1,990	2
3,00	6	211	3,04	8	1,934	5	203	1,956	2
(2,86)	2	—	—	—	1,845	5	402	1,864	1
2,71	2	112	2,76	3	(1,825)	1	—	—	—

Таблица 3 (окончание)

Восточная Сибирь			Бирнау	Маунтин	Восточная Сибирь			Бирнау	Маунтин
<i>d</i>	<i>I</i>	<i>hkl</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>hkl</i>	<i>d</i>	<i>I</i>
1,741	9	322		2	1,201	5			
1,649	9	421	1,757	2	1,170	2			
1,578	1	511	1,664	0,5	1,162	1			
1,557	1	—	1,588	0,5	1,141	1			
1,507	6	—	1,569	1	1,117	5			
1,448	2		1,519		1,102	1			
1,415	2				1,094	4			
1,367	6				1,084	2			
1,340	2				1,050	4			
1,308	4				1,028	5			
1,268	3				1,009	5			
1,234	4				0,991	6			
1,212	1								

Американский образец Fe/Mn-излучение, камера USGS; образец из Восточной Сибири: FeKa β -излучение, камера РКД; $d = 57,3$ м.м., экспозиция 5 час.; $V = 35$ кВ; $I = 10$ А. Аналитик Г. А. Сидоренко.

Таблица 4

Межплоскостные расстояния карбоцернита

Восточная Сибирь			Кольский п-ов		Восточная Сибирь			Кольский п-ов	
<i>hkl</i>	<i>d : n</i>	<i>I</i>	<i>d : n</i>	<i>I</i>	<i>hkl</i>	<i>d : n</i>	<i>I</i>	<i>d : n</i>	<i>I</i>
100	6,32	2	6,7	1ш	500	1,413	3	1,416	3
001 β	—	—	5,86	1ш	151	—	—	1,368	4ш
001	5,16	2	5,29	4	341	1,326	1	1,332	1ш
110	4,77	3	4,92	4	252 β	—	—	1,296	3
111	—	—	4,10	3	500	1,279	9	1,278	7
	4,025	2			043	—	—	1,253	1ш
020			3,66	5	522 β ; 143	1,232	2	1,229	3
111	3,51	3	3,58	4	234 β	—	—	1,203	3
021 β	3,27	2	3,34	5	252	1,191	1		
200	3,20	2	3,20	3		1,180	8	1,174	8ш
021	2,97	10	3,00	10	161	—	—	1,155	1
002 β	2,93	1	2,89	0,5	134	1,121	2	1,128	1ш
121	2,70	1	2,71	1	621 β	1,109	2	1,109	1
002	2,55	7	2,60	7ш	522	1,094	3	1,093	5
0,30	2,41	1	2,43	1	234	1,083	7	1,080	5
42	2,29	5ш	2,29	7ш	360	1,0585	3	1,054	1ш
230 β	2,17	3	2,16	3	361	1,049	2		
131	2,13	4	2,082	5		1,039	1	1,036	1
202	2,007	9	2,015	9	621			1,001	4
230	1,946	7	1,948	5ш	270; 205			0,9896	3
231	1,810	8	1,813	8	163			0,9819	1
003; 140	1,734	5	1,742	3	135			0,9475	4
0,41	1,712	1	1,709	5	315			0,9295	1ш
103	1,673	1	1,671	1	371			0,9172	2ш
302; 141	1,645	2	1,655	4	710			0,9051	3
312	1,607	2	1,610	2	073			0,8931	1ш
023	1,571	1	1,571	1ш	372			0,8803	2ш
203	1,537	2	1,531	1ш	006			0,8678	1ш
042	1,504	2	1,492	2	182			0,8518	1ш
050; 142	1,468	2	1,454	1	380			0,8368	1ш

Размеры элементарной ячейки: $a = 6,38 \pm 0,03$ нм; $b = 7,29 \pm 0,05$ нм; $c = 5,17 \pm 0,03$ нм. Условия съемки: камера РКД, $d = 57,3$ м.м., FeKa β -излучение 35 кВ, 10 мА. Аналитик Н. И. Чернова.

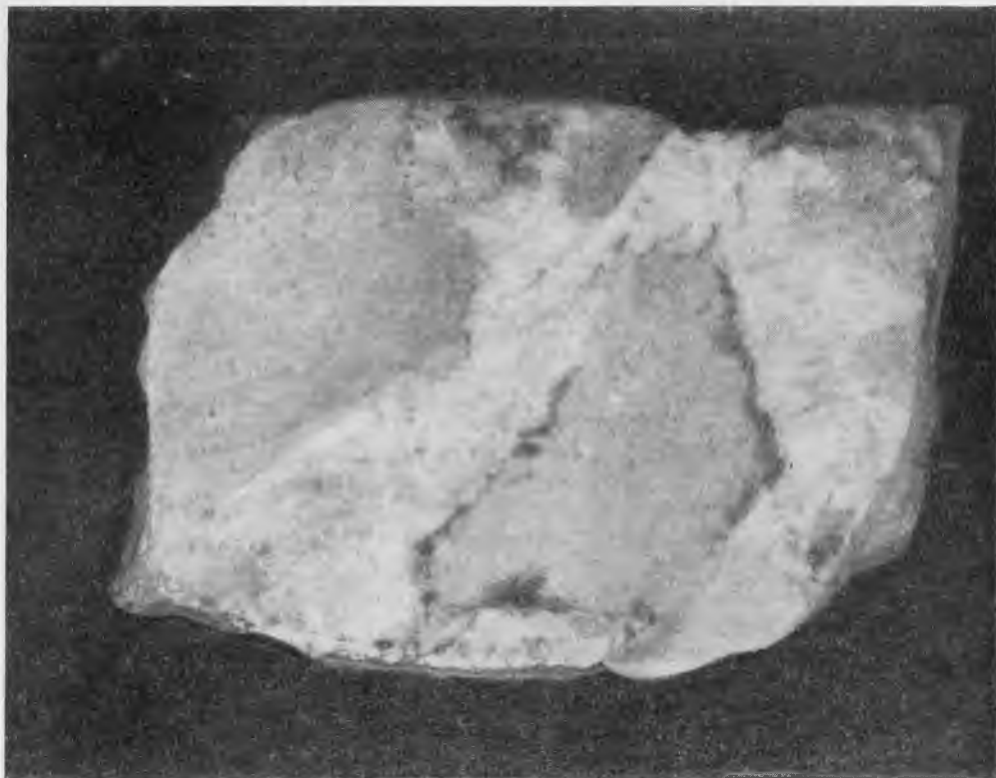


Рис. 5. Кристаллы бербанкита, пацело замещенные агрегатом призматических кристаллов карбоцернаита. С периферии кристаллов развивается бастнезит. Полированный штуф

Увел. 2

полностью замещенные в анкеритовых карбонатах агрегатом серицита и хлорита, были первоначально сложены арфведсонитом или эггрином. Судя по правильной восьмиугольной форме поперечного сечения псевдоморфоз, более вероятен последний, хотя в отличие от бербанкита в шестоватых серицит-хлоритовых псевдоморфозах реликтовые участки эггрина не встречены.

В эггрин-доломитовых карбонатах (IV стадии) отмечается развитие по бербанкиту карбоцернаита (рис. 5).

Карбоцернаит, сравнительно недавно открытый карбонат редких земель, кальция, бария и стронция (А. Г. Булах и др., 1961), по составу очень близок к бербанкиту, но отличается от него сингонией и деталями состава: некоторым увеличением количества кальция и редких земель и уменьшением натрия и бария $(Ca, Na)_3(TR, Sr, Ba)_2[CO_3]_5$. Карбоцернаит образует полные псевдоморфозы по бербанкиту, сложенные агрегатом тонких субпараллельных пластинчатых кристаллов (рис. 5). Размер кристаллов 0,5—1 мм. Цвет белесо-желтый до бесцветного, блеск жирный до стеклянного, в агрегате матовый. Удельный вес 3,4. Минерал двуосный, оптически отрицательный; $N_g = 1,709 \pm 0,02$; $N_p = 1,570 \pm 0,02$; $N_g - N_p = 0,139$.

Структура минерала, судя по порошкограмме, идентична структуре карбоцернаита, описанной Булахом (табл. 4).

Параметры кристаллической решетки: $a_0 = 6,38 \pm 0,03$ кХ; $b_0 = 7,29 \pm 0,05$ кХ; $c_0 = 5,17 \pm 0,03$ кХ.

При гидратации бербанкита по нему развивается тонкозернистый анкилит. Анкилит $\text{Sr}_3(\text{Ce, La, Dy})_4(\text{OH})_4(\text{CO}_3)_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, переполненный точечными включениями гидроокислов железа, выполняет трещины отдельности и развивается с периферии зерен, придавая розоватый оттенок даже малозамещенным кристаллам бербанкита. Часты полные псевдоморфозы анкилита по бербанкиту. Сильное загрязнение анкилита пылевидными частицами гидроокислов железа препятствовало его более детальному изучению.

Таким образом, в эгирин-доломитовых карбонатитах (IV стадия) устанавливается развитие простых полных псевдоморфоз карбоцернаита по бербанкиту путем замещения монокристаллов последнего тонкокристаллическим агрегатом вновь образованных минералов. Химизм этого процесса сводится к понижению количества натрия, сопровождающемуся сужением сингонии минералов. Условно к этой стадии можно отнести и образование анкилитовых псевдоморфоз¹.

Анкеритизация доломитовых карбонатитов сопровождается полной диссоциацией бербанкита и замещением его суммой простых карбонатов стронция, кальция и редких земель. Основные минералы псевдоморфоз в анкеритовых карбонатитах — стронцианит (70—80%) и бастнезит (20—30%).

Этот тип псевдоморфоз особенно характерен для описанных выше крупно- и гигантозернистых анкеритовых жил (см. рис. 3). Закономерная ориентировка кристаллов бербанкита и их крупные размеры в центральных частях жил позволяют предположить, что жильный бербанкит, вероятно, можно считать самостоятельной генерацией этого редкого минерала. Образование стронцианит-бастнезитовых псевдоморфоз по бербанкиту происходит, очевидно, одновременно с выполнением тонкозернистым стронцианитом осевых частей анкеритовых жил. В непосредственном контакте доломитовых и анкеритовых карбонатитов в стронцианит-бастнезитовых псевдоморфозах отмечаются реликты анкилитизированного по трещинам бербанкита.

Окраска стронцианит-бастнезитовых псевдоморфоз варьирует в серых тонах и зеленовато- до розовато-серой. На сколе наблюдается плотная фарфоровидная поверхность. Характерна сферондальная текстура псевдоморфоз: в участках наиболее интенсивного развития сферолитов стронцианита бастнезит, обычно образующий неправильные зерна, также кристаллизуется в лучистых и сноповидных сростках (рис. 6).

Валовый химический анализ наиболее однородных и плотных псевдоморфоз подобного типа показывает, что при их образовании по бербанкиту происходило заметное увеличение содержания стронция при почти неизменном количестве редких земель (табл. 5). Стронцианит-бастнезитовые псевдоморфозы могут быть названы сложными псевдоморфозами второго порядка.

Таким образом, в анкеритовых карбонатитах происходит смена натрийсодержащих карбонатов редких земель (бербанкита, карбоцернаита) фторкарбонатами.

Одновременное образование стронцианита и бастнезита (бастнезит I), вероятно, может быть следствием возрастания химической активности стронция и фтора в результате распада сложных галогенных соединений стронция (Бурков, Подпорина, 1962) с понижением температуры растворов и увеличением окислительного потенциала при смене доломитовых карбонатитов анкеритовыми.

¹ Отнесение анкилита к минералам эгирин-доломитовых карбонатитов IV стадии условно основано на нахождении его в породах этой стадии и на наличии реликтов анкилитизированного бербанкита в стронцианит-бастнезитовых псевдоморфозах. Но характер изменения бербанкита в этом процессе дает основание предположить и значительно более позднее, посткарбонатитовое время анкилитизации.

Таблица 5

Химический состав бербанкита и продуктов его замещения (вес. %)

Оксиды	Бербанкит	Карбопер- анит	Стронциа- нит + бастне- зит	Кальцит + бастнезит + барит	Ортит
Na ₂ O	11,62	2,43	0,07	0,07	0,27
K ₂ O	0,03	0,20	He обн.	—	0,10
CaO	12,38	19,27	8,36	24,32	6,41
MgO	0,14	4,29	He обн.	5,21	0,30
MnO	—	—	—	0,17	0,15
BaO	5,49	2,50	0,10	10,60	—
SrO	16,60	16,33	44,24	0,4	3,72
FeO	—	—	—	—	11,31
Fe ₂ O ₃	0,24	0,49	0,25	2,44	5,74
Al ₂ O ₃	0,41	0,31	0,42	0,5	11,66
TR	20,0	17,06	17,15	17,29	28,07
ThO ₂	He обн.	—	—	—	0,10
U ₃ O ₈	—	—	—	—	0,51
SiO ₂	0,16	He обн.	0,26	3,71	30,12
TiO ₂	—	» »	—	0,05	0,22
CO ₂	32,40	36,82	28,78	29,08	—
H ₂ O ⁺	0,23	0,50	1,10	0,81	0,07
H ₂ O ⁻	He обн.	He обн.	0,08	0,22	0,06
F	0,027	0,04	—	—	0,029
SO ₃	—	—	0,1	5,79	—
С у м м а	99,58	100,21	100,76	100,66	99,46
Аналитик	К. А. Доро- феева	Т. И. Ухина	Т. И. Ухина	Т. И. Ухина	К. А. Доро- феева
Уд. вес	3,54—3,58	3,40	—	—	4,07
Объемный вес	—	—	3,44	3,48	—

Дальнейшее изменение псевдоморфоз происходило путем замещения стронцианита поздним кальцитом. Процесс начинался с возникновения кальцит-бастнезитовых гнезд по периферии стронцианит-бастнезитовых псевдоморфоз и вдоль трещин в их центральных частях. Этот процесс нередко сопровождался перекристаллизацией бастнезита с образованием крупных (до 1 см) призматических и боченковидных кристаллов (бастнезит II) (рис. 8). К кальцит-бастнезитовым псевдоморфозам часто приурочен барит, содержание которого варьирует от 1—2 до 10—20%. Логично связывать возникновение кальцит-бастнезитовых и кальцит-бастнезит-баритовых псевдоморфоз (сложных псевдоморфоз третьего порядка) с образованием поздних кальцитовых и кальцит-баритовых прожилков, секущих анкеритовые карбонаты.

При образовании тонкозернистых однородных псевдоморфоз кальцит-бастнезит-баритового состава содержание стронция резко убывает (табл. 5). При этом вынос стронция из псевдоморфоз сопровождается перетолжением его в виде тонких прожилков стронцианита в породе.

Количество редкоземельных окислов в псевдоморфозах в среднем остается без изменения, что отвечает довольно постоянному в различных псевдоморфозах количеству бастнезита. Бастнезит из кальцит-бастнезитовых псевдоморфоз был проанализирован (Т. И. Столярова, ВИМС). Анализом бастнезита выявлены некоторые его особенности по сравнению

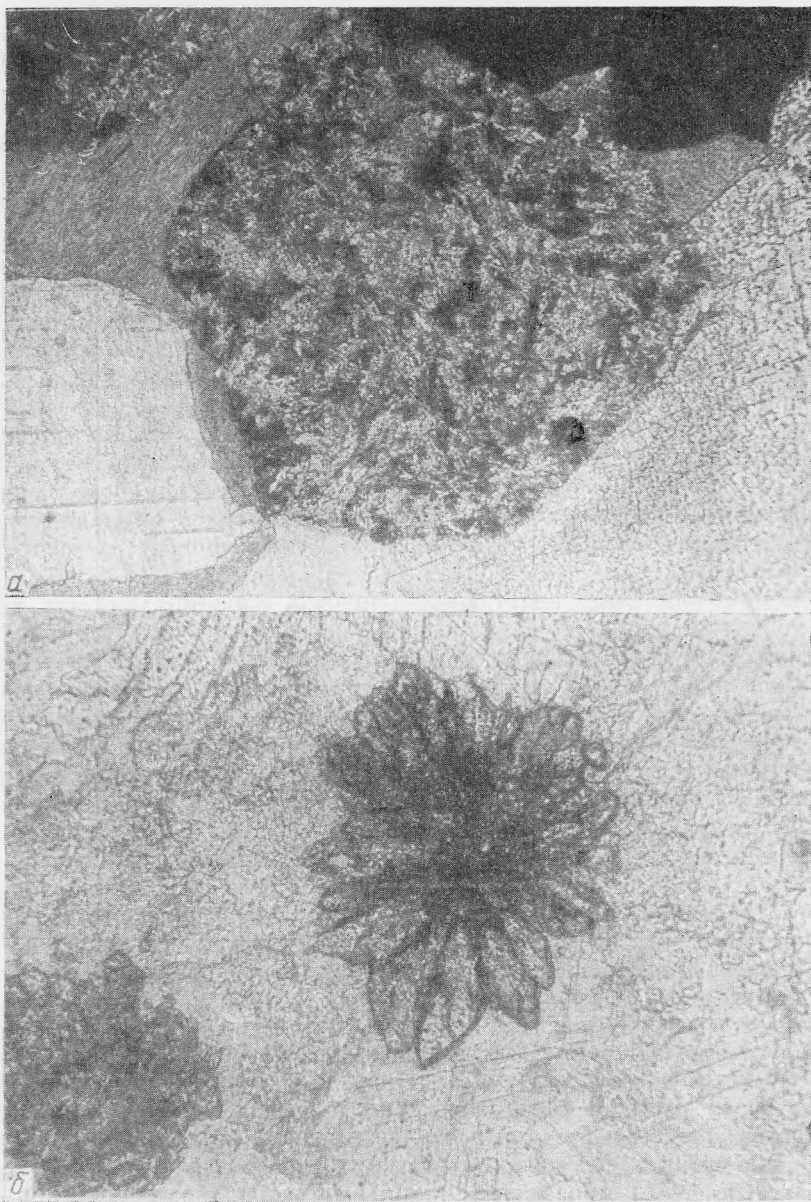


Рис. 6. Псевдоморфоза стронцианит-бастнезитового состава (а; видна лучистая структура псевдоморфоз; увел. 72, николи+) и радиально-лучистый сросток бастнезита (б; увел. 160, при одном николе)

с эталонными минералами этого вида. Как видно из табл. 6, для приводимого нами бастнезита характерно пониженное количество фтора и резко повышенное количество гидроксипла. Наиболее близок описываемый бастнезит гидроксил-бастнезиту, полученному И. В. Александровым синтетически. Им проанализирован также подобный бастнезит с другого участка нашего месторождения (Александров и др., 1965). Аналогичный бастнезит описан А. С. Кирилловым (1964) в одном из карбонатитовых массивов Кольского полуострова.

Оба типа сложных псевдоморфоз — стронцианит-бастнезитовые и кальцит-бастнезитовые — замещаются ортитом. Развитие тонкого агрегата

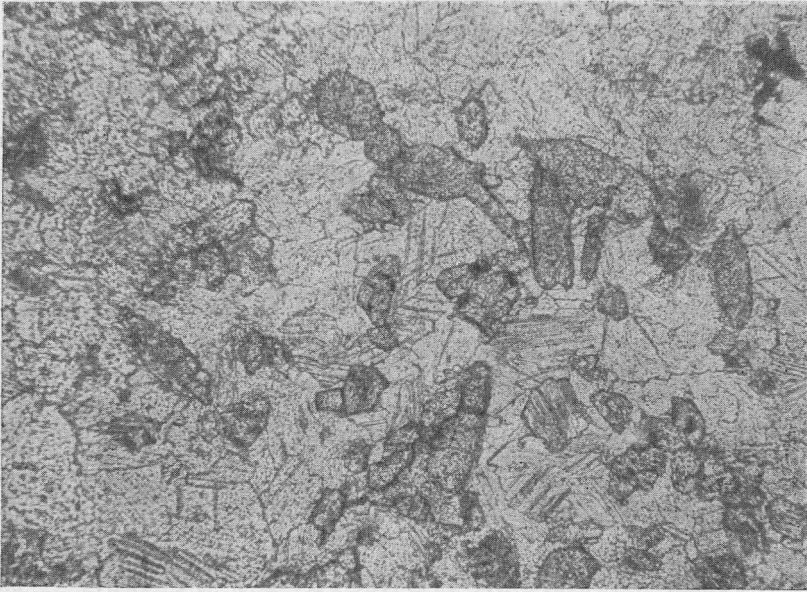


Рис. 7. Псевдоморфоза кальцит-бастнезитового состава. Кристаллы бастнезита имеют призматический габитус
Увел. 70, при одном николе

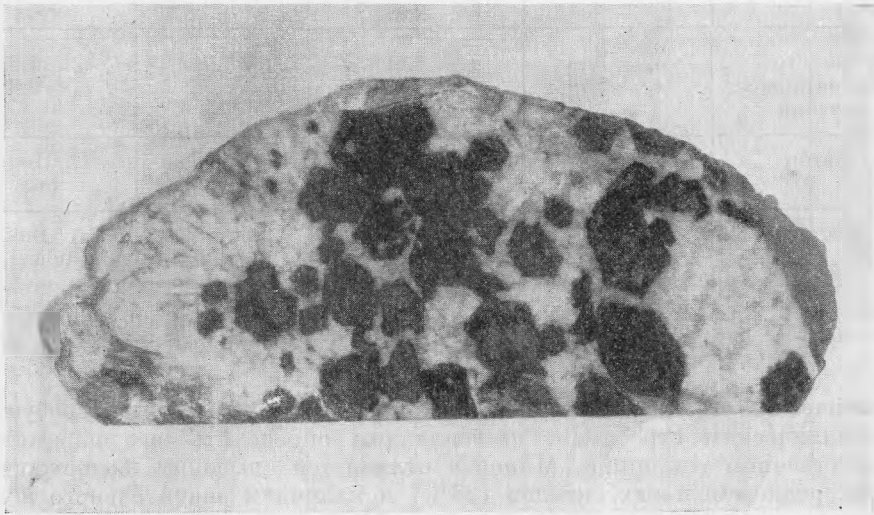


Рис. 8. Ортит-строфантитовые псевдоморфозы по бербанкиту

пластинчатых кристаллов ортита происходит первоначально вдоль трещин и в периферической части гексагональных псевдоморфоз. Далее ортит образует плотную рубашку и наконец полные псевдоморфозы (рис. 6, а). Вполне развитые ортитовые псевдоморфозы отличаются от всех более ранних искажением внешней формы первичных кристаллов вследствие нарастания агрегата пластинчатых кристаллов ортита субперпендикулярно

Таблица 6

Сравнительная таблица химического состава бастнезитов (вес. %)

Окислы	Бастнезит	Бастнезит	Гидроксилбастнезит	Гидроксил (?) бастнезит
	(теоретический состав)	из карбонатитов		
	1	2	3	4
TR	74,77	63,70	75,20	74,31
P ₂ O ₅	—	0,57	Сл.	0,23
ThO ₂	—	5,36	Не опр.	0,50
CO ₂	20,17	20,40	20,70	17,70
SiO ₂	—	1,10	—	0,30
TiO ₂	—	—	—	0,04
Al ₂ O ₃	—	0,35	—	—
Fe ₂ O ₃	—	0,84	0,30	2,17
Na ₂ O	—	—	—	0,13
CaO	—	2,47	—	0,40
BaO	—	—	—	0,70
MgO	—	1,57	Сл.	0,16
MnO	—	—	—	0,06
H ₂ O ⁺	—	2,54	4,00	3,96
H ₂ O ⁻	—	—	0,30	0,11
F	8,73	0,98	0,22	1,15
SO ₃	—	—	—	0,40
—O=F ₂	3,67	0,40	0,09	0,50
Сумма	100,00	99,45	100,63	100,36
Параметры элементарной ячейки	a ₀ = 7,16 c ₀ = 3,79	a ₀ = 7,11 c ₀ = 9,88	a ₀ = 7,21 c ₀ = 9,92	a ₀ = 7,23 c ₀ = 9,98
Автор	Е. И. Семенов	Т. Б. Здорик	П. В. Александров	А. С. Кириллов
Аналитик		Т. И. Столярова	Л. А. Силькова	К. А. Бакланова

Анализы 2 и 3 — образцы из Восточной Сибири, анализ 4 — образец с Кольского полуострова.

к коническим граням замещенных кристаллов. Ортит характеризуется кристаллическим строением, позволяющим определить его параметры в естественном состоянии. Минерал отличается высоким содержанием суммы редкоземельных окислов (28%) и наличием значительного количества Sr (SrO 3,72%) (Здорик и др., 1964).

Образование ортита происходило, вероятно, в позднюю силикат-карбонатную стадию, на что указывает его парагенезис с хлоритом и альбитом.

Еще более поздний редкоземельный минерал — монацит, развивается в виде мелких бесцветных друз на поверхности ортитовых псевдоморфоз. TR-фосфат развит весьма незначительно, полных псевдоморфоз он не образует. В некоторых случаях удается наблюдать замещение ортита

Схема развития ряда последовательных псевдоморфоз по бербанкиту

Тип карбонатитов	Амфибол-доломитовые	Эгирин-доломитовые	Анкеритовые	Кальцитовые	Альбит-цеолит-кварц-кальцитовые	
Минеральная ассоциация	Доломит, магний-арфведсонит, пироклор, циркон	Доломит, эгирин, пироклор-циркон, ильменит, ширит	Анкерит, серицит, хлорит, альбит, пирит, сфалерит, галенит, ильменит	Кальцит сидерит, барит, флюорит, кварц, ширит, молибденит	Кальцит, хлорит, натролит, альбит, кварц, рутил	
Размер индивидов	0,5—5 см	1—2 мм	0,5—1 мм	0,2—1,5 см	0,2—2 см	0,1—1 мм
Состав псевдоморфоз	Бербанкит	Карбоцерраит, анкилит (?)	Стронцианит+бастнезит	Кальцит+бастнезит+барит	Ортит	Монацит+эпидот
Тип псевдоморфоз	Первичный незамещенный минерал	Простые полные псевдоморфозы 1-го порядка	Сложные полные псевдоморфозы 2-го порядка	Сложные полные псевдоморфозы 3-го порядка	Простые полные псевдоморфозы 4-го порядка	Частичные псевдоморфозы 5-го порядка
Форма псевдоморфоз	Гексагональные призматические кристаллы (часто конические)	Форма замещенных кристаллов полностью сохраняется			Форма сильно искажается вследствие нарастания пластинчатого ортита	То же
Текстура псевдоморфоз	То же	Агрегат тонких призматических или пластинчатых кристаллов	Тонкокристаллическая, сферолитовая	Характерны крупные идиоморфные кристаллы бастнезита и барита в среднесернистом кальците	Агрегат пластинчатых, часто двойникованных кристаллов	Тонкие призматические кристаллы
Основные черты химизма	»	Вынос натрия (в случае развития анкилита—гидратация)	Привнос стронция, вынос натрия	Привнос кальция, бария, вынос стронция	Привнос кремния	То же

тонкопризматическим эпидотом. Этот процесс тоже широко не распространен.

Полная картина развития псевдоморфоз по бербанкиту представлена в табл. 7.

Порядок последовательного развития редкоземельных минералов по бербанкиту в общих чертах соответствует смене редкоземельных минералов в карбонатитах Вуори-Ярви, установленной Ю. Л. Капустиним (1964) и А. С. Кирилловым (1964), и, очевидно, отвечает позднему этапу эволюции редкоземельной минерализации в карбонатитовом процессе в целом.

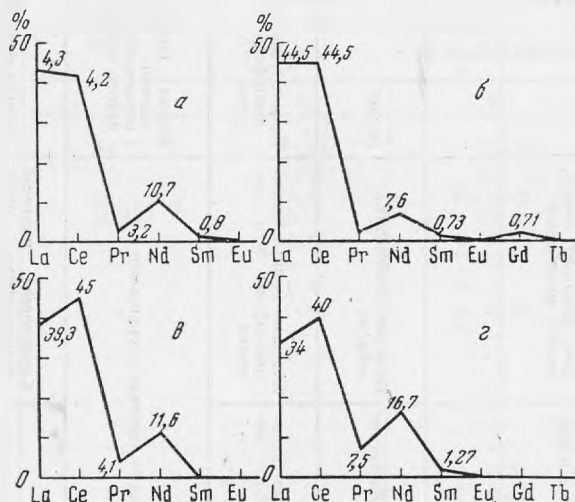


Рис. 9. Кривые соотношения редких земель в редкоземельных минералах

а — бербанкит, б — карбоцернаит, в — бастнезит, г — ортит

Состав редкоземельных окислов в различных последовательно сменяющихся редкоземельных минералах, как это видно из приведенных кривых (рис. 9), очень близок. Тем не менее в изменении их соотношения улавливается отчетливая тенденция: уменьшение отношения $La : Ce$ от бербанкита к ортиту при общем высоком его значении, характерном для низкотемпературных процессов.

Проследим, как сменяется отношение суммы церия и лантана к сумме прозеодимия и неодимия ($Ce + La$) : ($Pr + Nd$) в последовательно сменяющихся минералах редких земель: бербанкит 6,13, карбоцернаит 8,71, бастнезит 5,37, ортит 3,06. Считая величину этого отношения в бербанките и карбоцернаите довольно близкой (учитывая точность анализа $\pm 20\%$), в целом следует отметить постепенное относительное уменьшение роли основных редких земель от более ранних минералов к более поздним.

Выводы

1. Сложный карбонат натрия, кальция, стронция и редких земель бербанкит — соединение, устойчивое лишь на узком интервале температур и кислотности растворов.

2. Простыми псевдоморфозами первого порядка являются полные псевдоморфозы карбоцернаита. Процесс развития этих псевдоморфоз происходит в эгирин-доломитовых карбонатитах IV стадии.

3. Образование анкеритовых карбонатитов приводит к диссоциации натрий- и стронцийсодержащих карбонатов и смене их агрегатом простых карбонатов Sr, Ca и фтор-карбонатов редких земель — стронцианитом и бастнезитом (сложные псевдоморфозы второго порядка). Совместное одновременное образование стронцианита и бастнезита, возможно, является следствием разрушения галоидных стронцийсодержащих комплексов при понижении температуры растворов.

4. Образование кальцит-бастнезитовых псевдоморфоз (сложные псевдоморфозы третьего порядка) сопровождается выносом стронция и заменой его кальцием. Очевидно, эту стадию псевдоморфоз следует сопоставлять с появлением поздних кальциевых прожилков в анкеритовых карбонатитах.

5. Силикатно-карбонатная стадия, сопровождающаяся образованием поздних силикатов, — хлорита, биотита, альбита, цеолитов, приводит к замещению стронцианит-кальцит-бастнезитовых псевдоморфоз ортитом и хлоритом.

6. Наиболее поздний процесс, не приводящий к развитию полных псевдоморфоз, — развитие по ортиту монацита и эпидота.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров И. В., Иванов В. И., Синькова Л. А. Новые сведения о бастнезите. — Записки Всес. мин. об-ва, 1965, № 3.
- Бородин Л. С., Капустин Ю. Л. Бербанкит — первая находка в СССР. — Докл. АН СССР, 1962, 147, № 2.
- Булах А. Г., Кондратьева В. В., Баранова Е. Н. Карбопернаитовый карбонат редких земель. — Записки Всес. мин. об-ва, 1961, ч. 90, вып. 1.
- Бурков В. В., Подпорина. Стронций. — Труды ИМГРЭ, вып. 12, 1962.
- Здорик Т. Б., Куприянова И. И., Кумскова Н. М. Кристаллический ортит из некоторых метасоматических образований Сибири. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 15, 1964.
- Здорик Т. Б. Эволюция редкоземельной минерализации в карбонатитах на примере одного из месторождений Восточной Сибири. — Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 30. Госгеолтехиздат, 1966.
- Капустин Ю. Л. Акцессорная редкометалльная минералогия карбонатитов Кольского полуострова. — В кн. «Минералогия и генетические особенности щелочных массивов». Изд-во «Наука», 1964.
- Кириллов А. С. Новая разновидность бастнезита — гидроксилбастнезит. — Докл. АН СССР, 1964, 159, № 5.
- Пожарицкая Л. К., Багдасаров Ю. А., Березина Л. В., Развозжаева О. А. О некоторых закономерностях развития и размещения редкометалльной минерализации в одном из карбонатитовых массивов Восточной Сибири. — В кн. «Вопросы геохимии изверженных пород и рудных месторождений Восточной Сибири». Изд-во «Наука», 1965.
- Тихоненкова Р. П., Казанцева М. Е. Первая находка бербанкита в массиве нефелиновых сиенитов. — В кн. «Минералогия и генетические особенности щелочных массивов». Изд-во «Наука», 1964.
- Цветков А. И., Вальяшихин Е. П. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов. Изд-во «Наука», 1964.
- Pesota W. T., Kerr J. H. Burbankite and calkinkite two new carbonate minerals from Montana. — Amer. Mineralogist, 1953, 38, p. 1169.