

Образец клерита передан на хранение в Уральский минералогический музей (г. Екатеринбург).

Клерит утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (95-029).

Список литературы

- Зорина Л. И. Онисим Егорович Клер. М.: Наука, 1989. 126 с.
Кононов О. В., Виноградова Р. А., Бородавев Ю. С. и др. Высокомарганцовистый бертьерит Тырнауэского месторождения (Сев. Кавказ) // ЗВМО. 1990. Вып. 2. С. 82-87.
Сазонов В. Н., Мурзин В. В., Григорьев Н. А., Гладковский В. А. Эндогенное оруденение девонского андезитовидного вулcano-плутонического комплекса (Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 184 с.
Чаилева Т. Н., Безмертная М. С., Спиридонов Э. М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.
Bente K., Edenharter A. X-ray structure analysis of synthetic $MnSb_2S_4$ and structure refinement of natural $FeSb_2S_4$ (berthierite) // Z. Kristallogr. 1990. Supl. 2, P. 36.
Berry L. J., Thompson R. M. X-ray powder data for ore minerals: The Peacock atlas // Geol. Soc. Amer. 1962. Vol. 85. 281 p.
Harris D. C. The mineralogy and geochemistry of the Hemlo gold deposit, Ontario // Geol. Surv. Canada. Econ. Geol. 1989. Rep. 38.

Поступила в редакцию
29 ноября 1995 г.

УДК 549.753.1

ЗВМО, № 3, 1996 г.
Proc. RMS, N 3, 1996

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,* и М. КУЛИКОВА,** Ю. К. КАБАЛОВ,* О. В. ЕЛЕЦКАЯ,*
Н. В. ЧУКАНОВ,*** д. чл. Ю. П. МЕНЬШИКОВ,**** д. чл. А. П. ХОМЯКОВ**

БЕЛОВИТ-(La) $Sr_3Na(La, Ce)[PO_4]_3(F, OH)$ – НОВЫЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ГРУППЫ АПАТИТА¹

I. V. PEKOV, I. M. KULIKOVA, Yu. K. KABALOV, O. V. ELETSKAYA, N. V. CHUKANOV,
N. V. MENSNIKOV, A. P. KHOMYAKOV. BELOVITE-(La) $Sr_3Na(La, Ce)[PO_4]_3(F, OH)$ –
A NEW RARE EARTH MINERAL IN THE APATITE GROUP

The new mineral – La-dominant analogue of belovite-(Ce) – has been found in two points of the well known Khibiny massif. On Kukisvumchorr mount it occurs within the natrolite zone of a pegmatite body cutting nephelinic syenite and associates with microcline, aegirine, pectolite, lamprophyllite, gaidonnayite, gerasimovskite et al. On the Eveslogchorr mount occurrence belovite-(La) has been found in the small natrolite vein together with analcime, murmanite and safflorite. All the usual data on physical properties, chemical composition and crystallochemical formula of the mineral are presented in the paper.

* Московский университет, 119899, Москва, Воробьевы горы.

** Институт минералогии, геохимии, кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) РАН, 121357, Москва, ул. Вересаева, 15.

*** Институт химической физики РАН, Черноголовка.

**** Геологический институт Кольского научного центра РАН, 184200, Апатиты, ул. Ферсмана, 14.

¹ Рассмотрено и рекомендовано Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества 23 февраля 1995 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 28 сентября 1995 г.

Belovite-(La) and belovite-(Ce) are isostructural minerals, they have practically identical X-ray powder diagrams with the same strongest lines. Specification of the belovite-(La) crystal structure has been made by Rietveld method. Theoretical X-ray diagram based on the model of cation-ordered belovite-(Ce) structure is very close to measured diffractogram of belovite-(La). Its IR-spectrum corroborates also the cation-ordered structure. The mineral is named according to Levinson's rule: as La-dominant belovite. Type material is at the A. E. Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences in Moscow.

Беловит был впервые найден в 1950 г. Л. С. Бородиным в уссингитовом пегматите горы Малый Пункаруайв (Ловозерский массив, Кольский п-в) и назван в честь выдающегося кристаллохимика академика Н. В. Белова. Для него была установлена принадлежность к структурной группе апатита и предложена формула $(\text{Sr}, \text{Ce}, \text{Na}, \text{Ca})_{10}(\text{P}_6\text{O}_{24})(\text{OH}, \text{O})_2$ (Бородин, Казакова, 1954). Позже результаты работ по расшифровке кристаллической структуры беловита показали, что этот минерал в отличие от стронцийапатита $(\text{Sr}, \text{Ca})_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{OH})$ и апатита является катионноупорядоченным. Атомы редкоземельных элементов занимают в структуре беловита собственную независимую позицию внутри девятивершинных полиэдров с координатой $z \sim 0.5$, а атомы натрия – собственную, имеющую $z \sim 0$,

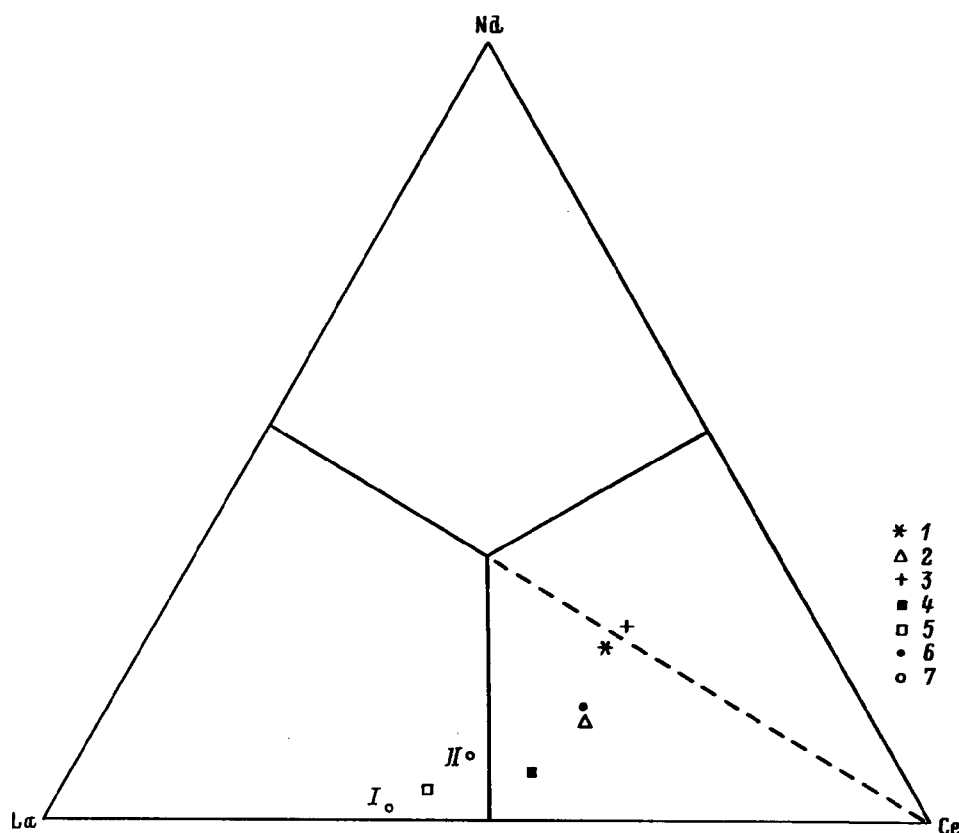


Рис. 1. Соотношение преобладающих редкоземельных элементов в некоторых минералах апатитовых пород и связанных с ними пегматитов.

I – среднее по щелочным интрузивным породам в целом; 2 – лопарит, среднее; 3 – минералы группы ринкита, среднее; 4 – нордит, Ловозерский массив, среднее по 9 образцам; 5 – нордит, Хибинский массив, среднее по 3 образцам; 6 – беловит-(Ce), Ловозерский массив, среднее по 11 образцам; 7 – беловит-(La), Хибинский массив: I – г. Кукисвумчорр, II – г. Эвселогчорр.

Fig. 1. Relationship of the main REE in some minerals of apatitic rocks and their pegmatites.

Таблица 1

Химический состав и показатели преломления беловита-(La)
 Chemical composition and refractive indices of belovite-(La)

Компонент	Ан. 1		Ан. 2	
	мас. %	ф. к.	мас. %	ф. к.
Na ₂ O	4.09	0.98	4.03	0.94
CaO	0.50	0.06	1.37	0.17
SrO	40.09	2.86	39.75	2.76
BaO	2.35	0.12	1.12	0.05
Y ₂ O ₃	0.01	0.00	—	—
La ₂ O ₃	13.08	0.59	9.38	0.42
Ce ₂ O ₃	8.15	0.37	8.85	0.39
Pr ₂ O ₃	0.30	0.01	0.73	0.03
Nd ₂ O ₃	0.30	0.01	1.71	0.07
Sm ₂ O ₃	0.03	0.00	—	—
Gd ₂ O ₃	0.01	0.00	—	—
ThO ₂	0.43	0.01	0.73	0.02
SiO ₂	0.24	0.03	0.20	0.02
P ₂ O ₅	28.30	2.95	30.69	3.12
SO ₃	0.03	0.00	0.01	0.00
F	2.04	0.80	2.15	0.82
H ₂ O*	0.22	0.18	0.23*	0.18*
-O = F ₂	0.86		0.91	
Сумма	99.31		100.04	
Na		1.653		1.653
Ne		1.635		1.636
Na-Ne		0.018		0.017

Примечание. Ан. 1 — г. Кукисвумчорр, ан. 2 — г. Эвселогчорр; отмеченное звездочкой (*) содержание H₂O — расчетное; ф. к. — формульное количество; формулы рассчитаны на 8 катионов.

тогда как атомы стронция локализируются в семивершинниках (Клевцова, Борисов, 1964; Надежина и др., 1987). Такие особенности структуры хорошо объясняют стехиометрические соотношения между катионами в беловите Sr : Na : REE ≈ 3 : 1 : 1, впервые отмеченные Е. И. Семеновым (1962). Наличие в структуре независимой позиции REE позволило Р. Мияваки и И. Накаи с полным правом отнести беловит к собственно редкоземельным минералам и применить в его названии суффикс, указывающий на преобладающий REE, — в данном случае, церий, согласно принятому сейчас в минералогической номенклатуре правилу А. А. Левинсона (Levinson, 1966) — беловит-(Ce) с формулой Sr₃NaCe(PO₄)₃OH (Miyawaki, Nakai, 1993). Беловит-(Ce) оказался распространенным минералом ультрааплаитовых пегматитов Ловозера. Он найден и в соседнем Хибинском массиве. Несмотря на это, минерал был изучен недостаточно: так, например, стоял вопрос о составе дополнительного аниона — гидроксил или фтор (Буссен и др., 1978). Недавно была изучена представительная коллекция образцов беловита (включая голотип, хранящийся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве) из семи различных по составу пегматитовых тел Ловозера и трех — Хибин. По соотношению REE все ловозерские образцы и один из хибинских (г. Эвселогчорр, 3-й приток р. Вуоннемиок) относятся к беловиту-(Ce) — (рис. 1) и отвечают формуле Sr₃Na(Ce, La)[PO₄]₃(F, OH) — (Пеков и др., 1995). В двух других образцах из Хибин —

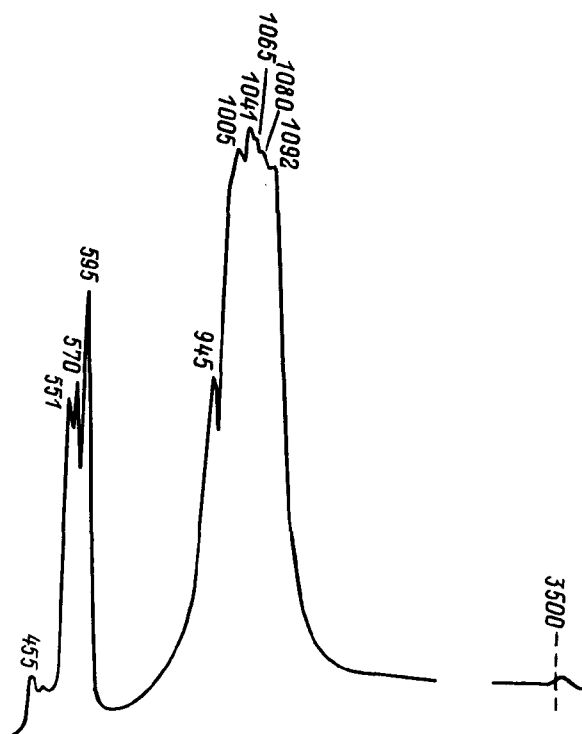


Рис. 2. ИК-спектр беловита-(La), г. Кукисвумчорр. Частоты приведены в см⁻¹.
 Fig. 2. IR spectrum of belovite-(La) from Mt. Kukisvumchorr.

с г. Кукисвумчорр и из долины 4-го притока р. Вуоннемиок (г. Эвеслогчорр) – было отмечено доминирование лантана в спектре REE. Этот факт позволил предположить, что мы имеем дело с новым минералом – лантановым аналогом беловита-(Ce). Первоначально La-максимум в беловите был установлен в образце с г. Кукисвумчорр, найденном и предоставленном для изучения коллекционером А. С. Подлесным. Позже одним из авторов в том же месте был собран представительный материал, на котором и выполнены основные исследования.

Химический состав беловита-(La) – (табл. 1) установлен с помощью электроннозондового микроанализатора Camebax pico beam. Условия анализа рассмотрены в предыдущей работе (Пеков и др., 1995). Количественное определение воды для кукисвумчоррского образца проводилось методом поглотительных трубок (аналитик С. П. Пурусова, ВИМС) – табл. 1. Для образца с Эвеслогчорра дано расчетное содержание воды. Как и в беловите-(Ce), соотношение катионов в La-доминантном минерале близко к Sr:Na:REE = 3:1:1, а в позиции дополнительного аниона также преобладает фтор. Примеси Ba, Ca, Th, Si, S присутствуют в незначительном количестве. REE представлены практически только цериевой подгруппой, а Y и лантаноиды тяжелее Sm не превышают по содержанию 0.01 % (табл. 1). Соотношения главных REE показаны на рис. 1.

ИК-спектр беловита-(La) идентичен спектру беловита-(Ce). Характерной особенностью ИК-спектров беловита является, при общем сходстве со спектрами апатита и стронцийапатита, наличие хорошо разрешенного триплета, а не дублета в области деформационных колебаний PO₄-тетраэдров (545–600 см⁻¹). Это

Таблица 2

Теоретическая (1) и экспериментальная (2) рентгенограммы
и параметры элементарной ячейки беловита-(La), г. Кукисвумчорр
Theoretical (1) and measured (2) diffractograms and unit cell parameters
of belovite-(La) from Kukisvumchorr

1		2		hkl	1		2		hkl
d, Å	I	d, Å	I		d, Å	I	d, Å	I	
7.170	14	7.18	12	001	1.469	4	1.471	4	651
5.440	18	5.46	26	101	1.467	7	1.468	7	332, 511
4.176	16	4.19	16	200	1.450	1	—	—	413
4.001	25	4.01	26	111	1.367	1	—	—	601
3.585	85	3.59	87	002	1.317	3	1.321	3	243
3.295	60	3.30	65	102	1.315	3	1.317	3	251
3.158	31	3.17	32	210	1.309	3	1.309	2.5	324
2.890	100	2.897	100	211	1.306	5	1.306	6	215
2.878	100	2.884	100	112	1.298	3	1.296	3	602
2.784	52	2.790	54	300	1.278	7	1.280	7	144
2.720	9	2.727	10	022	1.274	1	1.274	2	513, 610
2.596	4	2.601	5	031	1.271	2	—	—	—
2.390	2	2.395	4	003	1.254	2	1.257	2	611
2.317	10	2.324	9	130	1.253	5	1.252	5	252
2.297	3	2.304	4	103	1.222	1	—	—	504
2.199	3	2.205	3	302, 131	1.206	4	1.208	3	440
2.142	24	2.148	23	213	1.195	1	1.195	1.5	006
2.089	3	2.095	3	400	1.185	2	1.186	3	244
2.074	2	2.080	4	203	1.167	1.5	1.164	2	253
2.002	26	2.007	26	222	1.160	3	1.160	5	116
1.946	15	1.952	15	132	1.151	2	1.151	2	514
1.906	37	1.910	36	213	1.137	6	1.136	4	532, 702
1.852	10	1.856	10	321	1.107	1	—	—	170
1.823	15	1.825	14	140	1.072	1	1.074	1.5	524
1.804	21	1.808	23	402	1.071	2	1.072	2.5	226
1.792	35	1.796	36	004	1.062	2.5	1.064	2.5	136
1.647	5	1.652	4	024	1.038	1.5	1.040	1.5	614
1.608	1.5	1.612	1	330	1.037	4	1.038	5	406
1.579	4	1.581	4	240	Параметры элементарной ячейки (Å)				
1.559	8	1.563	8	214					
1.515	7	1.517	7	052	$a_0 = 9.647$ (1)				
1.507	8	1.512	8	304	$c_0 = 7.170$ (1)				
1.500 } 1.495 }	2 } 7 }	1.497	7	323, 510					

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН УМ-1, $\text{CuK}\alpha_1$ -излучение, Ni-фильтр.

расщепление, свидетельствующее о понижении симметрии тетраэдров вследствие упорядоченного размещения катионов (Пеков и др., 1995), отчетливо наблюдается и в спектре беловита-(La) — рис. 2. Полоса поглощения, соответствующая колебаниям ОН-групп ($\sim 3550 \text{ см}^{-1}$), проявлена незначительно.

Порошковые дифрактограммы беловита-(La) и беловита-(Ce) сходны. В обоих случаях четко проявлены базальные рефлекссы с нечетными l — 001 и 003 (табл. 2). На рентгенограммах апатита ($P6_3/m$) и стронцийапатита ($P6_3$) эти отражения

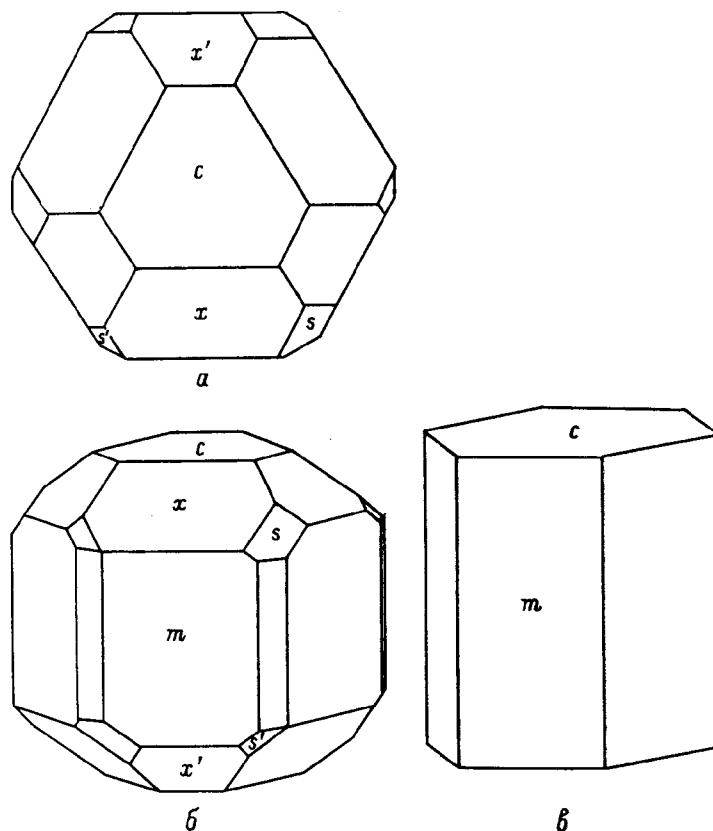


Рис. 3. Идеализированные кристаллы беловита-(La), г. Кукисвумчорр.
 а – ортогональная, б – аксонометрическая проекции полногранного кристалла, в – аксонометрическая проекция наиболее типичного кристалла.

Fig. 3. Idealized crystals of belovite-(La) from Mt. Kukisvumchorr.

отсутствуют в соответствии с правилами погасания. Они характерны именно для беловита, симметрия которого понижена вследствие катионного упорядочения (Пеков и др., 1995). Изложенные факты позволили предположить для беловита-(La) кристаллическую структуру, идентичную структуре беловита-(Ce), и построить ее модель, основываясь на координатах базисных атомов, предложенных Т. Н. Надежиной и соавторами (1987), в рамках пространственной группы $P\bar{3}$. Уточнение структуры беловита-(La) проводилось с помощью полнопрофильного рентгеновского анализа по методу Ритвельда. Сопоставление значений межплоскостных расстояний и интенсивностей рефлексов на дифрактограмме минерала с Кукисвумчорра и теоретической рентгенограмме, соответствующей выбранной модели, показало очень хорошую сходимость (табл. 2): полученный R -фактор равен 0.029 в изотропном приближении. Таким образом, модель верна, и беловит-(La) действительно изоструктурен с беловитом-(Ce). Он обладает структурой типа апатита, но с четко проявленной катионной упорядоченностью: в семивершинных полиэдрах преимущественно локализуется Sr^{2+} , а единая в апатите и стронций-apatите позиция внутри девятивершинников распадается на две независимые позиции, послойно занятые атомами Na и REE. Такое размещение атомов приводит к исчезновению винтовой оси 6-го порядка, характерной для структур стронций-

Простые формы кристаллов беловита-(La), г. Кукисвумчорр
(класс симметрии $\bar{3}$)

Crystal forms of belovite-(La) from Kukisvumchorr mountain

Простые формы	$\{hkl\}$	Сферические координаты			
		теоретические		экспериментальные	
		φ	ρ	φ	ρ
<i>m</i>	10 $\bar{1}$ 0	60°	90°	60°	90°
<i>a</i>	11 $\bar{2}$ 0	30°	90°	30°	90°
<i>x</i>	10 $\bar{1}$ 1	60°	40°38'	60°	40°43'
<i>x'</i>	10 $\bar{1}$ $\bar{1}$	60°	-40°38'	60°	-40°43'
<i>s</i>	11 $\bar{2}$ 1	30°	56°04'	30°	56°30'
<i>s'</i>	11 $\bar{2}$ $\bar{1}$	30°	-56°04'	30°	-56°30'
<i>c</i>	0001	-	0°	-	0°

Примечание. Геометрическая константа по данным гониометрических измерений $c = 0.750$, вычисленная из параметров элементарной ячейки (табл. 2), $a_0 : c_0 = 0.7432$.

апатита и апатита, и понижению симметрии до $P\bar{3}$ у беловитов. На сегодняшний день это единственные природные члены группы апатита, содержащие в структуре три независимые катионные позиции. Одна из них занята атомами REE, и наличие лантанового максимума в их спектре позволяет считать описываемые находки новым минеральным видом, которому должно быть присвоено название беловит-(La). Эмпирические формулы, рассчитанные на сумму 8 катионов, из данных табл. 1:

- обр. 1, Кукисвумчорр - $(\text{Sr}_{2.86}\text{Ba}_{0.12}\text{Ca}_{0.06})_{3.04}\text{Na}_{0.98}(\text{La}_{0.59}\text{Ce}_{0.37}\text{Pr}_{0.01} \cdot \text{Nd}_{0.01}\text{Th}_{0.01})_{0.99}[(\text{P}_{2.95}\text{Si}_{0.03})_{2.98}\text{O}_{11.97}](\text{F}_{0.80}\text{OH}_{0.18})_{0.98}$;
- обр. 2, Эвеслогчорр - $(\text{Sr}_{2.76}\text{Ca}_{0.17}\text{Ba}_{0.05})_{2.98}\text{Na}_{0.94}(\text{La}_{0.42}\text{Ce}_{0.39}\text{Nd}_{0.07}\text{Pr}_{0.03} \cdot \text{Th}_{0.02})_{0.93}[(\text{P}_{3.12}\text{Si}_{0.02})_{3.14}\text{O}_{12.19}](\text{F}_{0.82}\text{OH}_{0.18})$.

Упрощенная формула беловита-(La): $\text{Sr}_3\text{Na}(\text{La}, \text{Ce})[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{OH})$, $Z = 2$. Измеренная плотность минерала с Кукисвумчорра 4.19, рентгеновская 4.05, вычисленная по соотношению Гладстона-Дейла 4.16 г/см³. Беловит-(La) окрашен в зеленовато-желтый до ярко-желтого цвет. Сильный дихроизм, наблюдающийся при смене дневного освещения на искусственное в большинстве образцов беловита-(Ce) (Пеков и др., 1995), у беловита-(La) почти не проявлен. Минерал прозрачный, со стекляннным блеском и белой чертой. Одноосный, оптически отрицательный, показатели преломления даны в табл. 1. Твердость по Моосу ~ 5. Средняя твердость микровдавливания на анизотропном сечении, измеренная с помощью установок ПМТ-3 при нагрузке 30 г, составляет 450 кг/мм². Минерал очень хрупкий, без спайности, с раковистым изломом.

Хорошо оформленные кристаллы беловита-(La) с г. Кукисвумчорр были измерены на двукружном гониометре ГД-1. Наиболее распространен среди них простой тип - комбинация гексагональной призмы *m* и пинакоида *c* (рис. 3, в). Реже встречаются более сложные кристаллы (рис. 3, а, б). По внешнему облику они близки к кристаллам апатита (класс симметрии $6/m$). Отличие заключается в явно неравномерном развитии граней, соответствующих гексагональным дипирамидам *x* {10 $\bar{1}$ 1} и *s* {11 $\bar{2}$ 1} у апатита. Это хорошо объясняется, если рассматривать кристаллы беловита-(La) в рамках класса симметрии $\bar{3}$, опираясь на структурные данные. В таком случае каждая из дипирамид „распадается” на два ромбоэдра (табл. 3),

которые развиты неодинаково, что и придает кристаллам отчетливо выраженную тригональную внешнюю симметрию (рис. 3, а, б). Кристаллы беловита-(La) изометричны или вытянуты в направлении главной оси.

На г. Кукисвумчорр беловит-(La) найден в пегматитовом теле, вскрытом подземной выработкой Кировского рудника. Оно представляет собой извилистую ветвящуюся жилу мощностью от 3–5 см до 0.5 м. Вмещающая порода – неравномернозернистый нефелиновый сиенит зеленовато-серого цвета с обильной вкрапленностью эвдиалита и минерала группы ринкита. В раздувах жила зональна: краевая часть ее сложена черным пироксеном с полевым шпатом, нефелином, эвдиалитом и лампрофиллитом. Следующая зона состоит из агрегата кристаллов микроклина (до 5–6 см), затем иногда присутствует оторочка дощатого пектолита и, наконец, в ядре – натролит. Везде много мелких каверн с кристалликами эгирина, лампрофиллита, натролита и апофиллита. Беловит-(La) встречен в крупном линзовидном раздуве мощностью до 40 см. Этот минерал образует кристаллы длиной до 3 см, неправильные по форме зерна, и их агрегаты, вросшие в блоковый натролит центральной зоны. Здесь же находятся хорошо образованные призмы Мп-пектолита, зерна сфалерита, галенита, листочки молибденита, иглы Ва-лампрофиллита, белые псевдоморфозы гейдоннеита по кристаллам эвдиалита и розовые пластины, сложенные агрегатом герасимовскита и эпистолита, очевидно заместивших вуоннемит. На г. Эвеслогчорр беловит-(La) установлен в незначительном количестве в маломощном натролитовом прожилке, секущем льявочорриты долины 4-го притока р. Вуоннемиок. Его мелкие плохо образованные призматические кристаллики ассоциируют с анальцимом, мурманитом (по ломоносовиту), саффоритом.

Как видно на рис. 1, хибинские образцы беловита обогащены лантаном и обеднены неодимом относительно ловозерских. Недавно в ультращелочных пегматитах Хибин рядом с местонахождениями беловита обнаружен и другой известный до недавних пор лишь в Ловозере редкоземельный минерал – нордит. Он встречен также на горах Кукисвумчорр (Хомяков, 1990) и Эвеслогчорр. В обоих случаях это нордит-(La). Привлекает внимание, что пегматитовые тела в Хибинах, содержащие высоколантановые беловит и нордит, пространственно и, скорее всего, генетически связаны с нефелиновыми сиенитами, причем с теми их разновидностями, которые богаты минералами группы ринкита. В Ловозере пегматиты с беловитом и нордитом тяготеют в основном к породам расслоенного комплекса люавритов-фойяитов-уртитов, где главным ранним редкоземельным минералом является лопарит. Наиболее вероятно, что ультраагпаитовые тела являются поздними производными содержащих их пород. В этом случае можно предположить, что соотношения REE в минералах поздних образований могут быть связаны (конечно, с учетом кристаллохимических особенностей минералов) с составами REE в ранних фазах. Статистика, основанная на опубликованных анализах (Бородин, 1962; Семенов, 1963; Козырева и др., 1991, и др.), показывает, что лопарит и ринкит, даже находясь рядом в одной и той же породе, имеют несколько разный состав REE. Так, при общем для обоих цериевом максимуме ринкиты существенно обеднены La и обогащены Nd относительно лопарита – см. рис. 1, где средние значения содержат данные по соотношениям Ce, La и Nd в аксессуарных минералах пород Хибинского, Ловозерского и Бурпалинского массивов (ринкиты, лопарит), а для ринкита учтены также анализы образцов из Илимаусака и Лангезундфьорда. Показанные здесь же данные по беловиту-(Ce) и нордитам включают опубликованные (Семенов, 1963; Яковенчук и др., 1991; Пеков и др., 1995) и новые анализы. Наиболее вероятное объяснение такой избирательности в отношении определенных REE заключается в структурных особенностях ранних минералов. В перовскитоподобной структуре лопарита REE³⁺ вместе с Na⁺ занимают позицию внутри 12-вершинных полиэдров. Это максимальное из известных координационных

чисел для REE³⁺. Объем такого полиэдра достаточно велик, что позволяет разместиться здесь большому количеству La – самого крупного из REE³⁺. В структуре ринкита REE³⁺ занимают, совместно с Ca²⁺, главным образом позицию внутри семивершинников – полиэдров с меньшим объемом, что способствует преимущественному накоплению самого мелкого из распространенных легких лантаноидов – Nd³⁺. Для вхождения крупного La эта ситуация менее благоприятна. На Ce³⁺, занимающий промежуточное положение по размеру, кристаллохимический фактор влияет слабее, и накопление его в обоих минералах, особенно учитываемая наибольшую распространенность среди лантаноидов, идет интенсивно. Таким образом, при формировании богатых минералами группы ринкита разновидностей нефелиновых сиенитов Хибин происходит заметное „вычерпывание” церия и особенно неодима из системы с одновременным относительным обогащением лантаном к поздним стадиям. „Невостробованный” на ранних этапах эволюции системы порода–пегматиты лантан начинает играть существенную роль в спектрах REE минералов поздних образований, что хорошо видно на примере беловита и нордита из пегматитов Хибин. На рис. 1 видно, что с ростом содержания La в хибинских минералах быстро падает количество Nd. Так, в беловите-(La) с Кукисвумчорра достигается необычно высокая для природных объектов величина La : Nd ≈ 44 : 1 при La : Ce ≈ 1.6 : 1. Если предложенная схема поведения REE в таких объектах близка к действительности, то можно ожидать в Хибинах, причем именно в поздних дифференциатах ринкитсодержащих пород, новых находок обогащенных лантаном редкоземельных минералов, вплоть до La-доминантных.

Типовые образцы беловита-(La) переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве и Горный музей Санкт-Петербургского Горного института. Авторы благодарят А. С. Подлесного, предоставившего образцы для исследования, а также Г. И. Дорохову и Т. Н. Надежину за консультации. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № 95–05–14390 и 93–05–8694.

Список литературы

- Бородин Л. С., Казакова М. Е. Беловит – новый минерал из щелочных пегматитов // Докл. АН СССР. 1954. Т. 96. № 3. С. 613–616.
- Бородин Л. С. О некоторых вопросах геохимии редких земель // Тр. ИМГРЭ. 1962. Вып. 9. С. 94–124.
- Буссен И. В., Еськова Е. М., Меньшиков Ю. П. и др. Минералогия ультращелочных пегматитов // Проблемы геологии редких элементов. М., 1978. С. 251–271.
- Клевцова Р. Ф., Борисов С. В. Кристаллическая структура беловита // Ж. структ. хим. 1964. Т. 5. № 2. С. 151–153.
- Козырева Л. В., Меньшиков Ю. П., Леднев А. И. Лопаритовая минерализация Хибинского массива // Новые данные по минералогии редких элементов Кольского полуострова. Апатиты, 1991. С. 37–44.
- Надежина Т. Н., Пушаровский Д. Ю., Хомяков А. П. Уточнение кристаллической структуры беловита // Минер. журн. 1987. Т. 9. № 2. С. 45–48.
- Пеков И. В., Чуканов Н. В., Елецкая О. В. и др. Беловит-(Ce): новые данные, уточненная формула и соотношение с другими минералами группы апатита // ЗВМО. 1995. Вып. 2. С. 98–100.
- Семенов Е. И. Минералы группы апатита в пегматитах Ловозерского щелочного массива // Тр. ИМГРЭ. 1962. Вып. 9. С. 36–54.
- Семенов Е. И. Минералогия редких земель. М., 1963. 412 с.
- Хомяков А. П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М., 1990. 194 с.
- Яковенчук В. Н., Бритвин С. Н., Леднев А. И. и др. Новые данные о нордите из Ловозерского и Хибинского массивов // Новые данные по минералогии редких элементов Кольского полуострова. Апатиты, 1991. С. 60–65.
- Levinson A. A. A system of nomenclature for rare earth minerals // Amer. Miner. 1966. Vol. 51. N 1/2. P. 152–158.
- Miyawaki R., Nakai I. Crystal structures of rare earth minerals // Handbook Phys. Chem. RE. 1993. Vol. 16.

Поступила в редакцию
25 декабря 1995 г.