

© Почетный член А. П. ХОМЯКОВ,\* д. чл. Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ,\*\*  
почетный член Дж. ФЕРРАРИС,\*\*\* А. ГУЛА,\*\*\* Г. ИВАЛЬДИ\*\*\*

**ЛАБУНЦОВИТ-Fe  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
И ЛАБУНЦОВИТ-Mg  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})(\text{Mg}, \text{Fe})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  —  
НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ЛАБУНЦОВИТА ИЗ ХИБИНСКОГО  
И КОВДОРСКОГО ЩЕЛОЧНЫХ МАССИВОВ  
(КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)<sup>1</sup>**

A. P. KHOMYAKOV, G. N. NECHELYUSTOV, G. FERRARIS, A. GULA, G. IVALDI. LABUNTISOVITE-Fe  
 $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
AND LABUNTISOVITE-Mg,  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})(\text{Mg}, \text{Fe})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
TWO NEW LABUNTISOVITE GROUP MINERALS FROM Khibiny  
AND KOVDOR ALKALINE MASSIFS, KOLA PENINSULA

\* Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,  
121357, Москва, ул. Вересаева, 15

\*\* Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья,  
109017, Москва, Старомонетный пер., 29

\*\*\* Туринский университет, 1-10125, Турин

Labuntsovite-Fe, a new mineral species of the labuntsovite group and Fe-dominant member of the labuntsovite subgroup, has been found in Khibiny alkaline massif on Mt. Kukisvumchorr in hydrothermally altered urtite as anhedral grains up to 1—2 mm and aggregates up to 0.3—0.5 cm across. Colour orange. Luster vitreous. Translucent or transparent.  $H = 5$ .  $D_{\text{meas}} = 2.94 \text{ g/cm}^3$ . Optically biaxial, positive;  $n_p = 1.682$ ,  $n_m = 1.696$ ,  $n_g = 1.835$ ,  $2V = 32$ . Monoclinic, space group  $C2/m$ ,  $a = 14.249$ ,  $b = 13.791$ ,  $c = 7.777 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 116.82$ ,  $V = 1364 \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Strongest XRD lines ( $d$ ,  $\text{Å}$ ;  $I$ ): 3.169(100), 3.100(62), 2.585(58), 6.95(56), 3.032(53), 6.34(34), 2.478(25). Chemical composition (wt %):  $\text{Na}_2\text{O}$  5.45,  $\text{K}_2\text{O}$  8.54,  $\text{SrO}$  0.10,  $\text{BaO}$  8.02,  $\text{FeO}$  2.41,  $\text{MgO}$  0.30,  $\text{MnO}$  0.23,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.04,  $\text{SiO}_2$  39.66,  $\text{TiO}_2$  25.61,  $\text{ZrO}_2$  0.05,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.11,  $\text{H}_2\text{O}$  8.20, Total 99.72. Empirical formula:  $\text{Na}_4(\text{K}_{3.74}\text{Na}_{0.26})\Sigma_4[\text{Ba}_{1.27}\text{K}_{0.65}\text{Sr}_{0.02}(\text{H}_2\text{O})_{2.14}] (\text{Fe}_{0.81}^{2+}\text{Mg}_{0.18}\text{Mn}_{0.08}\square_{0.93})\Sigma_2(\text{Ti}_{7.76}\text{Nb}_{0.20}\text{Zr}_{0.01})_{7.97}(\text{Si}_{15.98}\text{Al}_{0.02})\Sigma_{16}\text{O}_{48}(\text{O}_{5.43}\text{OH}_{2.57})\Sigma_8 \cdot 7.66\text{H}_2\text{O}$ . Simplified formula:  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Labuntsovite-Mg, a new mineral species of the labuntsovite group, Mg-dominant member of the labuntsovite subgroup, has been found in Kovdor massif of ultrabasic alkaline rocks in cavities of vuggy dolomitic carbonatites as 0.3—1 to 1—3 mm prismatic crystals. Colourless, rarely yellowish, pink or light orange. Luster vitreous. Translucent or transparent.  $H = 5$ .  $D_{\text{meas}} = 2.88 \text{ g/cm}^3$ . Optically biaxial, positive;  $n_p = 1.688$ ,  $n_m = 1.698$ ,  $n_g = 1.802$ ,  $2V = 37$ . Monoclinic, space group  $C2/m$ ,  $a = 14.292$ ,  $b = 13.750$ ,  $c = 7.792 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 117.03$ ,  $V = 1364 \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Strongest XRD lines ( $d$ ,  $\text{Å}$ ;  $I$ ): 3.175(100), 3.093(57), 3.083(55), 6.94(51), 3.024(51), 2.576(48), 2.59(38). Chemical composition (wt %):  $\text{Na}_2\text{O}$  4.61,  $\text{K}_2\text{O}$  8.57,  $\text{CaO}$  0.03,  $\text{SrO}$  0.01,  $\text{BaO}$  6.23,  $\text{FeO}$  1.49,  $\text{MgO}$  1.22,  $\text{MnO}$  0.01,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.30,  $\text{SiO}_2$  39.70,  $\text{TiO}_2$  23.96,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  3.65,  $\text{H}_2\text{O}$  9.24, Total 99.02. Empirical formula:  $(\text{Na}_{3.57}\text{Ca}_{0.01}\square_{0.42})\Sigma_4\text{K}_4[\text{Ba}_{0.97}\text{K}_{0.37}(\text{H}_2\text{O})_{2.18}\square_{0.48}]\Sigma_4(\text{Mg}_{0.73}\text{Fe}_{0.36}^{2+}\square_{0.91})\Sigma_2(\text{Ti}_{7.20}\text{Nb}_{0.66}\text{Fe}_{0.14}^{3+})\Sigma_8(\text{Si}_{15.86}\text{Al}_{0.14})\Sigma_{16}\text{O}_{48}(\text{O}_{4.46}\text{OH}_{3.54})\Sigma_8 \cdot 8.35\text{H}_2\text{O}$ . Simplified formula:  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})(\text{Mg}, \text{Fe})_{1+x}\text{Ti}_8\text{Si}_8\text{O}_{12}(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Both minerals are named in accordance with the suffix nomenclature specially developed for the labuntsovite group and officially adopted by the IMA CNMMN. The position of the new mineral species in this group is shown. Prospects for using suffix systems for naming minerals as a basis for the development of a unified mineralogical nomenclature in future are discussed. Type specimens of both minerals are deposited in the Fersman Mineralogical Museum, Moscow.

Проведенное авторами детальное изучение многих сложных по составу титано- и цирконосиликатов с высокоупорядоченной кристаллической структурой показало, что некоторые элементы, содержащиеся в них в резко подчиненных количествах (~1 ат.%), часто оказываются доминирующими в той или иной ключевой структурной позиции, определяя тем самым видовую индивидуальность конкретных представителей минерального мира. В качестве таких представителей в настоящей работе описаны относящиеся к группе лабунцовита титаносиликаты состава  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba},$

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 5 сентября 2000 г. Эталонные образцы переданы на хранение в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана Российской академии наук, Москва, где зарегистрированы под номерами 2244/1, 2 (лабунцовит-Fe) и 2246/1, 2 (лабунцовит-Mg).

Сравнительная характеристика минералов  
Comparative features of the minerals

Характеристика	Лабунцовит-Fe	Лабунцовит-Mg
Формула	$\text{Na}_4\text{K}_4\text{Ba}_2\text{FeTi}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_4\text{K}_4\text{BaMgTi}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Сингония	Моноклинная	Моноклинная
Пр. группа	$C2/m$	$C2/m$
$a$ , Å	14.249(6)	14.292(4)
$b$ , Å	13.791(6)	13.750(4)
$c$ , Å	7.777(2)	7.792(2)
$\beta$ , град	116.82(3)	117.03(1)
$V$ , Å <sup>3</sup>	1364(2)	1364(1)
$Z$	1	1
Интенсивные линии, $d$ , Å( $l$ )	6.95(56) 6.34(34) 3.169(100) 3.100(62) 3.032(53) 2.583(58) 2.478(25)	6.94(51) 6.34(34) 3.175(100) 3.093(57) 3.083(55) 3.024(51) 2.576(48)
$n_p$	1.686(2)	1.688(2)
$n_m$	1.696(2)	1.698(2)
$n_g$	1.835(3)	1.802(3)
$2V$ , град	(+) $32(1)$	(+) $37(1)$
$D$ , г/см <sup>3</sup>	2.94(2)	2.88(2)
Цвет	Оранжевый	Белый, желтый, розовый

$\text{K})_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})(\text{Mg}, \text{Fe})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , важными видообразующими элементами которых являются соответственно Fe и Mg. Первый из них найден в Хибинском массиве и назван лабунцовитом-Fe (labuntsovite-Fe), второй обнаружен в Ковдорском массиве и назван лабунцовитом-Mg (labuntsovite-Mg). Оба минерала названы в соответствии с суффиксной номенклатурной системой, специально разработанной для наименования титано-ниобосиликатов рассматриваемой группы и принятой КНМ ММА в качестве официального руководства.

Принадлежность двух изученных титаносиликатов к одной группе при значительном сходстве по составу и свойствам, отраженном в табл. 1—3, определила целесообразность их совместного сравнительного описания, предваренного изложением общих сведений о каждом минерале в отдельности. Для удобства восприятия информации, относящейся к каждому конкретному минералу, авторы придерживались плана, по которому вначале, как правило, приводятся цифровые и другие данные, характеризующие лабунцовит-Fe, а затем соответствующие данные о его Mg-аналоге.

**Лабунцовит-Fe** обнаружен первым автором (А. П. Х.) на горе Кукисвумчорр Хибинского массива, в подземной выработке, на горизонте +252 м. Выработкой вскрыты гидротермально измененные пегматоидные уртиты с прожилками калишпато-натролито-кальцитового состава, содержащими спорадическую вкрапленность лабунцовита-Fe, пектолита, флюорита и эгирина. Новый минерал представлен отдельными зернами неправильной формы размерами 1—2 мм и их сростками до 0.5 см. На некоторых зернах присутствуют фрагменты граней зоны ( $h0l$ ) со штриховкой вдоль оси  $b$ . Цвет минерала ярко-оранжевый.

На кривой ДТА минерала, записанной на воздухе (рис. 1), фиксируются пять четких эндотермических эффектов: 380, 500, 625, 720 и 860 °С, из которых два первых, сопряженных с минимумами на кривой ДТГ и крутой ступенью на кривой

Результаты расчета рентгенограмм порошка минералов  
X-ray powder diffraction data for the minerals

Лабунцовит-Fe		Лабунцовит-Mg		hkl	Лабунцовит-Fe		Лабунцовит-Mg		hkl
I	d, Å	I	d, Å		I	d, Å	I	d, Å	
12	9.35	4	9.35	110	6	2.377	6	2.372	35 $\bar{1}$
56	6.95	51	6.94	001	4	2.341		2.336	440
5	6.76	4	6.75	11 $\bar{1}$	6	2.333	5		44 $\bar{2}$
34	6.34	34	6.34	200, 20 $\bar{1}$	3	2.315		2.313	003, 350
13	4.90	20	4.88	021, 111	2	2.250	2	2.252	33 $\bar{3}$
2	4.67	2	4.66	220, 22 $\bar{1}$	2	2.235	3	2.232	15 $\bar{2}$
8	4.058	4	4.058	310	2	2.213	3		62 $\bar{2}$ , 312
3	3.873	3	3.875	20 $\bar{2}$	6	2.192		2.192	023, 35 $\bar{2}$
17	3.564	13	3.570	40 $\bar{1}$	2	2.163	7	2.154	260
4	3.478	3	3.466	002	10	2.121	2	2.120	600
11	3.395	9	3.386	221	7	2.108	12	2.116	60 $\bar{3}$
100	3.169	100	3.175	400, 40 $\bar{2}$ , 42 $\bar{1}$	6	2.080	10	2.077	511
62	3.100	57	3.093	022	7	2.049	5	2.044	351
		55	3.083	041	4	2.024	8	2.014	441
53	3.032	51	3.024	240, 24 $\bar{1}$	8	2.013	9		44 $\bar{3}$ , 71 $\bar{2}$
9	2.992	7	2.982	311	4	1.980		1.975	261, 55 $\bar{1}$
20	2.955	21	2.948	112	4	1.950	6	1.946	402
13	2.893	21	2.888	420	6	1.936	7	1.940	64 $\bar{1}$ , 64 $\bar{2}$
7	2.878			42 $\bar{2}$	5	1.919	8	1.914	062
2	2.781			51 $\bar{1}$	3	1.888	7	1.891	71 $\bar{3}$ , 35 $\bar{3}$
19	2.597	38	~2.59	202, 15 $\bar{1}$	2	1.865	3	1.859	460, 46 $\bar{2}$
58	2.585	48	2.576	241, 24 $\bar{2}$	1		4	1.840	22 $\bar{4}$
2	2.551	4	2.544	331	2	1.840	3		601
6	2.501	12	2.495	401	5	1.812		1.803	60 $\bar{4}$ , 64 $\bar{3}$
25	2.478	24	2.485	40 $\bar{3}$	10	1.801	7	1.787	80 $\bar{2}$
		24	2.480	44 $\bar{1}$	9	1.782	7	1.735	352, 004
10	2.448	10	2.444	042, 11 $\bar{3}$	10	1.738	11	1.719	080
		5	2.432	151		1.723	10		

Примечание. Условия съемки. Дифрактометр, Си $\alpha_1$ -излучение, графитовый монохроматор. Индексы линий прокорректированы по массивам отражений от монокристаллов.

ТГ, соответствуют дегидратации и дегидроксиляции, а остальные — фазовым превращениям вещества. Термограмма, записанная при ограниченном доступе кислорода (в атмосфере N $_2$ ), по общему характеру не отличается от приведенной на рисунке, но характеризуется небольшим смещением первого эндоэффекта в высокотемпературную область (400 °С), а также фиксирует некоторое различие в интегральной величине потери массы, составляющей на воздухе и в инертной среде соответственно 7.9 и 8.2 %. Различие между последними величинами практически равно расчетному привесу образца за счет окисления железа и перехода всего его количества (FeO = 2.41 мас. %) из двухвалентного состояния в трехвалентное, что косвенно подтверждает предположение о преимущественно закисной исходной форме этого элемента. Потеря минералом основной части воды (около 80 %) происходит в довольно широком температурном интервале (~220—380 °С), что согласуется с ее цеолитной природой и распределением OH $_n$ -группировок по нескольким разным структурным позициям.

Таблица 3

**Химический состав (мас. %) минералов**  
**Chemical composition (wt %) of the minerals**

Компонент	Лабунцовит-Fe		Лабунцовит-Mg	
		Si + Al = 16		Si + Al = 16
Na <sub>2</sub> O	5.45 (5.22—5.70)	4.26	4.61 (4.38—4.79)	3.57
K <sub>2</sub> O	8.54 (8.14—8.70)	4.39	8.57 (8.16—8.62)	4.37
CaO	0.00	—	0.03 (0.00—0.06)	0.01
SrO	0.10 (0.08—0.14)	0.02	0.01 (0.01—0.02)	—
BaO	8.02 (7.55—9.10)	1.27	6.23 (5.61—6.30)	0.97
FeO	2.41 (2.25—2.54)	0.81	1.49 (1.26—1.53)	0.50
MgO	0.30 (0.25—0.38)	0.18	1.22 (1.12—1.31)	0.73
MnO	0.23 (0.17—0.26)	0.08	0.01 (0.01—0.02)	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04 (0.03—0.04)	0.02	0.30 (0.30—0.31)	0.14
SiO <sub>2</sub>	39.66 (39.12—39.80)	15.98	39.70 (38.46—39.84)	15.86
TiO <sub>2</sub>	25.61 (24.50—25.71)	7.76	23.96 (21.98—24.35)	7.20
ZrO <sub>2</sub>	0.05 (0.02—0.08)	0.01	—	—
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.11 (0.71—1.49)	0.20	3.65 (2.83—4.06)	0.66
H <sub>2</sub> O	8.20	22.16	9.24	24.60
Сумма	99.72		99.02	

Примечание. Микрозонд. Аналитик Г. Н. Нечелюстов. Среднее из состава пяти зерен для каждого минерала, в скобках — пределы вариаций. Содержание воды в первом минерале оценено по термогравиметрическим данным, во втором — рассчитано по структурной формуле.

**Лабунцовит-Mg** выделен авторами в результате доизучения лабунцовитов из массивов щелочно-ультраосновных пород, обогащенность которых высокомагнезиальными минералами различных классов является известным фактом (Капустин, 1971; Булах, Евдокимов, 1973, и др.). Он установлен в железорудном карьере Ковдорского массива, в кавернозных грубозернистых, интенсивно минерализованных доломитовых карбонатитах, образцы которых в настоящее время имеются в большинстве минералогических музеев и частных коллекций. Всего же во вскрытых ковдорским железорудным карьером жильных образованиях, относимых к поздним карбонатитам, к настоящему времени разными исследователями описано несколько десятков редких или совершенно новых минералов, включая большое разнообразие минералов магния: бобьерит, гирвасит, енаит, ковдорскит, коллинсит, красновит, римкорольгит, стронциовитлокит, терновит и др. (Иванюк, Яковенчук, 1997).

Минерал образует короткостолбчатые и длиннопризматические кристаллы размерами от 0.5 до 2—3 мм и их лучистые агрегаты, нарастающие на ромбоздры доломита, часто в сопровождении близких по времени выделения скоплений кристаллов катаплеита и анатаза. Кристаллы удлинены по оси *b*, их призматические грани исштрихованы вдоль удлинения, а головки часто представлены зеркально-гладкой гранью пинакоида (010). Преобладают матово-прозрачные, с сильным стекляннным блеском кристаллы белого и бледно-желтого цвета. Весьма характерны также полихромные кристаллы с оранжевой осевой и совершенно бесцветной внешней зонами. Кроме того, на многих кристаллах прослеживаются переходы от бесцветной корневой части к желтоватой или оранжевой головке. Значительно реже встречаются кристаллы с равномерной розовой окраской. Для разновидностей лабунцовита-Mg, различающихся окраской, закономерных различий в составе и свойствах не отмечено, и причины их полихромности остаются невыясненными. До выяснения этих причин мы предлагаем рассматривать в качестве эталона выделенного минерального вида его преобладающую бесцветную разновидность, служившую основой данного исследования.

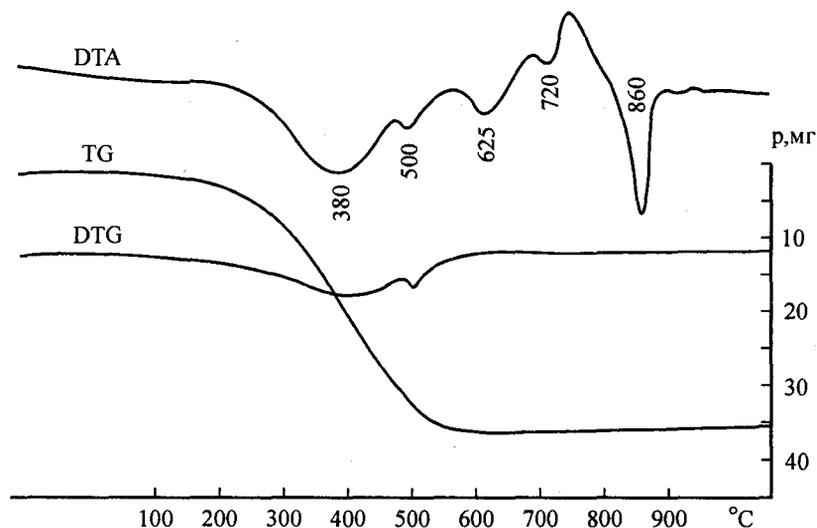


Рис. 1. Термограмма лабунцовита-Fe.  
 Навеска 444.6 мг, потеря массы 35.3 мг, ~7.9 %.  
 Fig. 1. Thermogram of labuntsovite-Fe.

Геологическая позиция и особенности состава минеральных ассоциаций, в которых встречаются охарактеризованные выше минералы, свидетельствуют об образовании последних в гидротермальных условиях при кристаллизации высокощелочных силикатно-солевых жидкостей на заключительных стадиях формирования нефелин-сиенитовых и карбонатитовых комплексов.

Переходя к сравнительному описанию двух изученных минералов, еще раз отметим их отраженное в табл. 1—3 сходство по составу и свойствам, параметрам элементарной ячейки, набору межплоскостных расстояний, соотношению интенсивностей линий рентгendifракционного спектра и т. п. В частности, зерна того и другого минерала обладают стекляннм блеском, неровным ступенчатым изломом, наличием несовершенной спайности по (001) и другим плоскостям. Просвечивают, в тонких сколах прозрачны. В воде и кислотах (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) при комнатной температуре не разлагаются, в ультрафиолетовых лучах (240—400 нм) не люминесцируют. Хрупкие. Твердость 5 по шкале Мооса. Плотность лабунцовита-Fe, определенная объеметрическим методом (метод В. В. Василевского), равна 2.94(2) г/см<sup>3</sup>, вычисленная для эмпирической формулы 2.93 г/см<sup>3</sup>. Те же величины для Mg-аналога равны 2.88(2) и 2.89 г/см<sup>3</sup>.

Кристаллооптические исследования выполнены с использованием федоровского и иммерсионного методов. Оба минерала оптически двуосные, положительные и характеризуются тождественными взаимоотношениями кристаллографических и оптических элементов:  $a = Ng$ ,  $b = Nm$ ,  $c \wedge Np = 27^\circ$  в тупом углу  $\beta$ . Оптические константы лабунцовита-Fe и его магнезиального аналога следующие:  $n_p = 1.686(2)$  и  $1.688(2)$ ,  $n_m = 1.696(2)$  и  $1.698(2)$ ,  $n_g = 1.835(3)$  и  $1.802(3)$ ,  $2V = 32(1)$  и  $37(1)$ .

Среди особенностей рассматриваемых титаносиликатов следует отметить наличие у первого хорошо выраженной дисперсии  $r < v$  и сильного плеохроизма: от бледно-желтого ( $Np$ ,  $Ng$ ) до темно-оранжевого ( $Nm$ ). У второго минерала характер дисперсии не выражен. Его окрашенные разновидности плеохроируют по общей для лабунцовитов схеме ( $Np < Nm > Ng$ ), но в более бледных зеленовато-желтых тонах.

ИК-спектры новых минералов (рис. 2) содержат обычный для лабунцовитов набор полос поглощения (см<sup>-1</sup>, подчеркнуты наиболее сильные): (1) 3440, 3250, 3136, 1716, 1640, 1560, 1076, 1020, 930, 767, 680, 570, 461; (2) 3445, 3265, 3148, 1650, 1610, 1560, 1080, 1056, 1017, 950, 925, 772, 683, 572, 457. Из них пять первых полос, проявленных в том и другом спектрах, обусловлены колебаниями молекул

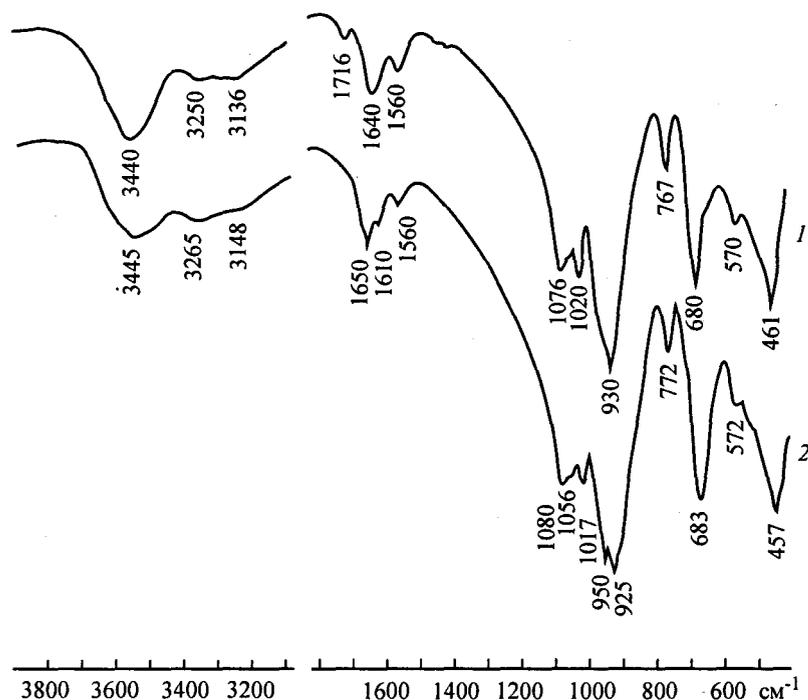


Рис. 2. ИК-спектры поглощения минералов.

1 — лабунцовит-Fe, 2 — лабунцовит-Mg.

Fig. 2. Infrared absorption spectra of the minerals. 1 — labuntsovite-Fe, 2 — labuntsovite-Mg.

воды и гидроксил-ионов, а слабая полоса  $1716 \text{ см}^{-1}$ , выраженная только в спектре лабунцовита-Fe, может быть отнесена к валентным колебаниям  $\text{H}_3\text{O}^+$  (Архипенко и др., 1977).

Химический состав новых минералов исследован Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Superprobe-733 при следующих параметрах: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 20 нА. В качестве стандартов использовались альбит (Na),  $\text{K}_2\text{ZrSi}_2\text{O}_7$  (K, Zr), диопсид (Si, Ca, Mg), родонит (Mn), алмадин (Fe), барит (Ba),  $\text{SrTiO}_3$  (Sr, Ti),  $\text{AlPO}_4$  (Al), и  $\text{LiNbO}_3$  (Nb). Для каждого минерала анализировался состав пяти зерен, который после усреднения пересчитывался на число атомов в ячейке исходя из  $\text{Si} + \text{Al} = 16$ , а последние распределялись по группам с учетом данных структурного анализа (см. ниже). Полученные результаты (табл. 3) приводят к следующим эмпирическим формулам:

Лабунцовит-Fe:  $\text{Na}_4(\text{K}_{3.74}\text{Na}_{0.26})_{\Sigma 4}(\text{Ba}_{1.27}\text{K}_{0.65}\text{Sr}_{0.02}(\text{H}_2\text{O})_{2.14})_{\Sigma 4.08}(\text{Fe}_{0.81}\text{Mg}_{0.18}\text{Mn}_{0.08}\square_{0.93})_{\Sigma 2}(\text{Ti}_{7.76}\text{Nb}_{0.20}\text{Zr}_{0.01})_{\Sigma 7.97}(\text{Si}_{15.98}\text{Al}_{0.02})_{\Sigma 16}\text{O}_{48}(\text{O}_{5.43}\text{OH}_{2.57})_{\Sigma 8} \cdot 7.66\text{H}_2\text{O}$ .

Лабунцовит-Mg:  $(\text{Na}_{3.57}\text{Ca}_{0.01}\square_{0.42})_{\Sigma 4}\text{K}_4(\text{Ba}_{0.97}\text{K}_{0.37}(\text{H}_2\text{O})_{2.18}\square_{0.48})_{\Sigma 4}(\text{Mg}_{0.73}\text{Fe}_{0.36}\square_{0.91})_{\Sigma 2}(\text{Ti}_{7.20}\text{Nb}_{0.66}\text{Fe}_{0.14}^{3+})_{\Sigma 8}(\text{Si}_{15.86}\text{Al}_{0.14})_{\Sigma 16}\text{O}_{48}(\text{O}_{4.46}\text{OH}_{3.54})_{\Sigma 8} \cdot 8.35\text{H}_2\text{O}$ .

А их упрощенные варианты могут быть представлены соответственно в виде  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K}, \text{H}_2\text{O})_4(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_{1+x}(\text{Ti}, \text{Nb})_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \sim \text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K}, \text{H}_2\text{O})_4(\text{Mg}, \text{Fe})_{1+x}(\text{Ti}, \text{Nb})_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \sim \text{Na}_4\text{K}_4(\text{Ba}, \text{K})(\text{Mg}, \text{Fe})_{1+x}\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O}, \text{OH})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Детальным рентгеноструктурным анализом (Ferraris e. a., 2000) доказана изоструктурность рассматриваемых минералов. С помощью 4-кружного монокристаллического автодифрактометра P4 Siemens для них установлена принадлежность к моноклинной системе (пр. группа  $\text{C2}/m$ ) и определены параметры элементарной ячейки, приведенные в табл. 1. Установленные в результате структурных уточнений кристаллохимические формулы лабунцовита-Fe —  $\text{Na}_4\text{K}_4[\text{Ba}_{1.28}\text{K}_{0.30}\text{Na}_{0.28}(\text{H}_2\text{O})_{2.14}](\text{Fe}_{0.82}^{2+}\text{Mg}_{0.18}$

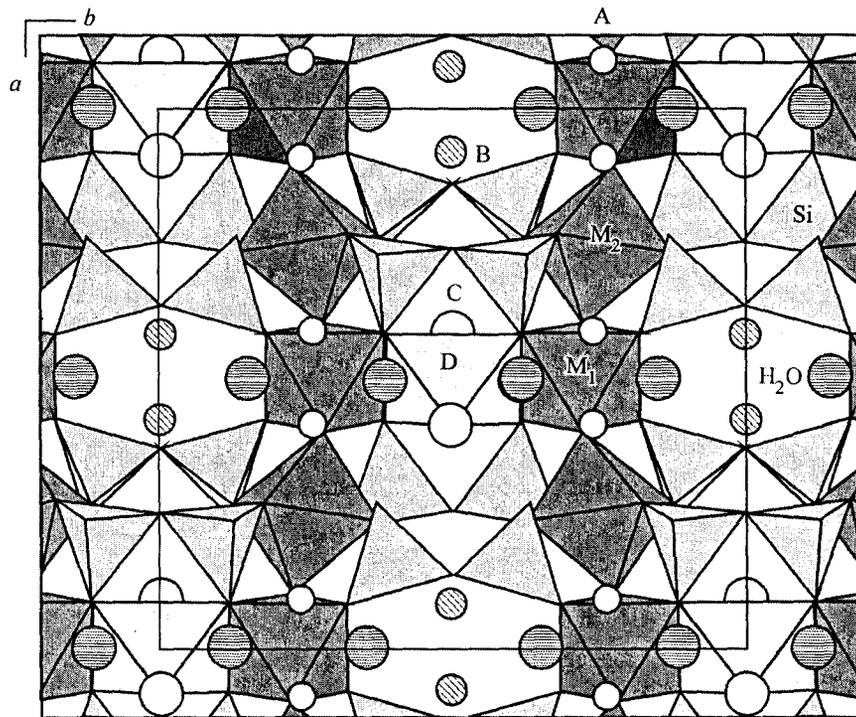


Рис. 3. (001) проекция кристаллической структуры моноклинных минералов группы лабунцовита и положение в ней ключевых изоморфноёмких позиций. Пояснения в тексте.

Fig. 3. (001) projection of the monoclinic labuntsovite-group mineral structures and position of the key isomorphically capacious sites.

$Mn_{0.07} \square_{0.93} [Ti_{7.82} Nb_{0.16} \square_{0.02} (Si_{15.96} Al_{0.04} O_{48}) (O_{5.32} OH_{2.68})] \cdot 8H_2O$  и лабунцовита-Mg —  $(Na_{3.23} \square_{0.77}) (K_{3.66} Na_{0.34}) [Ba_{0.97} K_{0.71} (H_2O)_{2.32}] (Mg_{0.73} Fe_{0.43}^{2+} \square_{0.84}) [(Ti_{7.20} Nb_{0.66} Fe_{0.07}^{3+} \square_{0.07}) (Si_{15.86} Al_{0.14} O_{48}) (O_{4.37} OH_{3.63})] \cdot 8H_2O$  весьма близки к эмпирическим. Обе они хорошо согласуются с типовой формулой группы лабунцовита  $A_4B_4C_{4-2x}[D_x(H_2O)_{2x}][M_8(O, OH)_8][Si_4O_{12}]_4 \cdot 8H_2O$ , где  $A = Na, Ca$ ;  $B = K, Na, H_3O$ ;  $C = K, Ba, Sr, H_3O, H_2O, OH$ ;  $D = Fe^{2+}, Mg, Mn, Zn, Ti, Nb$ ;  $M = Ti, Nb, Fe^{3+}, Fe^{2+}$ ;  $x = 0-2$  (Хомяков и др., 1999). Основной мотив структуры изученных минералов, как и других моноклинных представителей группы (Головастиков, 1973; Органова и др., 1981; Расцветаева и др., 1998), определяется наличием каркаса смешанного типа из колонок вершинно-связанных M-октаэдров, скрепленных между собой кольцами  $[Si_4O_{12}]$  и дополнительно D-октаэдрами (рис. 3). Каркас содержит объемные полости и каналы, в которых локализуются катионы типа А, В, С и молекулы воды. К наиболее примечательным особенностям строения моноклинных лабунцовитов относится большая сближенность С- и D-позиций, из которых первая может заселяться как катионами, так и анионами, а вторая способна оставаться в значительной мере или полностью вакантной. Заселение обеих названных позиций катионами осуществляется по конкурентному механизму в соответствии с формулой  $2(Ba, K...) + \square = 2H_2O + (Fe, Mg...)$ : вхождение в структуру средних по размеру катионов (Fe, Mg и др.) сопровождается вытеснением удвоенного числа крупных (Ba, K и др.) из соседней С-позиции. Вместе с D-катионами в структуру входят молекулы воды (по две на каждый катион), которые располагаются в той же (С) позиции, что и крупные катионы, с образованием смешанной (Ba, K,  $H_2O$ )-позиции.

Наличие в структуре изученных минералов существенно заселенной катионами D-позиции довольно резко отличает их, как и типичные лабунцовиты в целом, от D-вакантных представителей рассматриваемой группы, в частности леммлейнита (Хомяков и др., 1999). Эта октаэдрическая позиция приурочена (рис. 3) к точкам

максимального сближения синусоидально изгибающихся в плоскости (001) М-колонок из Ti(Nb)-октаэдров с образованием в местах их стыка MDM-кластеров из троек реберно-сочлененных октаэдров, в результате чего указанные колонки конденсируются в ажурные октаэдрические MDM слои, параллельные (001). Именно благодаря наличию специфической для данного структурного типа существенно заселенной катионами D-позиции лабунцовиты выделяются большой сложностью и изменчивостью химического состава на фоне относительно простых по набору компонентов ненадквечита и леммлейнита. Этой же причиной объясняется своеобразие оптических и других свойств типичных лабунцовитов, имеющих, как правило, яркую оранжевую окраску в противоположность их совершенно бесцветным или бледно окрашенным D-вакантным аналогам. Всего же в группе лабунцовита систематизирующее значение могут иметь катионы, заселяющие пять ключевых изоморфных структурных позиций — А, В, С, D, М. Точнее, следовало бы говорить о шести позициях, так как в данном структурном типе имеются две М-позиции ( $M_1$  и  $M_2$ ), способные избирательно заселяться титаном и ниобием.

Согласно принципам систематики и номенклатуры группы лабунцовита, утвержденным КНМ ММА (Чуканов и др., 2001), в настоящее время эта группа включает семь подгрупп минералов — одну ромбическую (подгруппа ненадквечита) и шесть моноклинных (подгруппы лабунцовита, леммлейнита, паралабунцовита, кузьменкоита, органоваита и вуориярвита). Для наименования минеральных видов, относящихся к моноклинным подгруппам, принята суффиксная система, аналогичная номенклатуре редкоземельных минералов и цеолитов, которая основана на комбинировании корневого названия и видового модификатора. В качестве последнего используется химический символ катиона, доминирующего в ключевой структурной позиции. Минеральные виды получают разные корневые названия, если выполняется по крайней мере одно из следующих условий: 1) они относятся к разным структурным типам; 2) различаются типом катиона, доминирующего в позициях А, В или М; 3) различаются типом альтернативной позиции (С или D), суммарная заселенность которой катионами составляет более 50 % от ее полной заселенности (от 2 до 4 атомов на 16 Si в позиции С и от 1 до 2 атомов на 16 Si в позиции D). В частности, минералы с однотипным заполнением главных позиций ( $A = Na$ ,  $B = K$ ,  $M = Ti$ ) и одной и той же пространственной группой  $C2/m$  относят к подгруппе леммлейнита, если условию  $\Sigma_{кат.} > 50\%$  удовлетворяет позиция С, и к подгруппе лабунцовита, если такому условию удовлетворяет позиция D. Соответственно в качестве видового модификатора в первом случае используется символ катиона, доминирующего в позиции С, во втором — катиона, доминирующего в позиции D. Этот принцип аналогичен правилу А. А. Левинсона для редкоземельных минералов (Levinson, 1966; Nickel, Grice, 1998): если сумма REE превалирует над любым другим компонентом, заселяющим данную структурную позицию, минерал рассматривается как собственно редкоземельный, а элемент, доминирующий среди REE, определяет принадлежность минерала к конкретному виду.

В соответствии с рассмотренными принципами титаносиликаты, описанные в настоящей работе, могут быть классифицированы как самостоятельные минеральные виды группы лабунцовита, представляющие собой Fe- и Mg-доминантные члены подгруппы лабунцовита. К этой же подгруппе относится существенно обогащенный марганцем минерал из пегматитов горы Куфтньюн в Ловозерском массиве, рассматривавшийся ранее как голотип «лабунцовита» (Семенов, Бузова, 1955; Семенов, 1959), который в связи с принятием новой номенклатуры переименован в лабунцовит-Мп. Обогащенный же магнием «лабунцовит Мильтона» (Milton e. a., 1958) из отложений формации Грин Ривер принадлежит другой подгруппе, поскольку он относится к иному структурному типу (пространственная группа  $I2/m$ ) и характеризуется удвоенным в сравнении с приведенным в табл. 1 объемом элементарной ячейки. По решению КНМ ММА за этим диморфом лабунцовита-Mg закреплено название «паралабунцовит-Mg». Отметим, что видовая принадлежность «титанозальпидита», описанного в Хибинах более 70 лет назад (Лабунцов, 1926) и являющегося архетипом группы лабунцовита, остается невыясненной. Утверждение же Н. В. Чу-

канова и И. В. Пекова, выполнивших контрольный микронзондовый анализ минерала А. Н. Лабунцова, что он относится к тому же виду, что и лабунцовит-Мп, является лишь предположением, так как необходимые для этого доказательства принадлежности «титаноэллипидита» к симметрии  $C1/m$  ими не приводятся.

Если обратиться ко всей серии минералов группы лабунцовита, характеризующихся симметрией  $C1/m$  и однотипной заселенностью главных катионных позиций ( $A = Na, B = K, M = Ti$ ), то она, как отмечалось выше, наряду с подгруппой лабунцовита и ее тремя официально утвержденными видами — лабунцовитом-Fe, лабунцовитом-Mg и лабунцовитом-Mп, включает подгруппу леммлейнита. В последней к настоящему времени описаны леммлейнит-К (Хомяков и др., 1999)<sup>2</sup> и леммлейнит-Ва (Чуканов и др., 2001), и, таким образом, всего в этой наиболее представительной серии мы имеем сейчас пять твердо установленных минеральных видов, положение которых в систематике минералов рассматриваемой группы определяется уже самими их названиями.

Когда свыше 40 лет назад была разработана суффиксная система номенклатуры редкоземельных минералов (Levinson, 1966), она была сразу же одобрена КНМ ММА, а ее широкое использование в практике работы этой комиссии на протяжении длительного периода позволило избежать введения в научный оборот огромного числа не связанных друг с другом названий родственных видов. Не менее разительных результатов следует ожидать от использования суффиксной системы в номенклатуре самой обширной по числу минеральных видов группы — цеолитов (Coombs *et al.*, 1997), а также в группах, подобных лабунцовитам, со средним и даже малым числом минеральных видов, но имеющих тенденцию к значительному расширению.

Актуальность рационализации минералогической номенклатуры возрастает год от года в связи с кардинальным пересмотром сложившихся представлений о разнообразии минерального мира (Хомяков, 1996; Khomyakov, 1986, 1998), согласно которым уже к середине XXI в. общее число выявленных в природе минералов возрастет от современных ~4000 до ~10 000 видов. Переход системы минеральных видов из категории малых множеств в категорию больших множеств с неизбежностью приведет к переходу от господствующей в настоящее время малоупорядоченной и во многом произвольной номенклатуры минералов к более упорядоченным номенклатурным системам, подобным системам, разработанным для амфиболов, цеолитов и ряда других сложных минералогических групп.

В их основе лежит использование составных терминов из корневого названия (root name) и добавленных к нему видовых модификаторов (species modifiers) в виде предлогов или суффиксов. Последние могут быть многочленными, как, например, в минералах уайтит-(CaFeMg) и уайтит-(MnFeMg), суффиксы которых состоят из символов трех элементов, доминирующих в позициях А, В, С групповой формулы  $ABC_2X_2(PO_4)_4(OH)_2 \cdot 8H_2O$ . Очевидным преимуществом префиксных и суффиксных систем перед любыми другими является то, что используемые в них термины определяют принадлежность каждого минерала одновременно к более высокому и более низкому таксонам. Это роднит указанные системы с Линнеевской бинарной системой номенклатуры растений и животных, которая успешно используется в биологии уже более 200 лет.

В качестве основы для разработки унифицированной минералогической номенклатуры будущего наиболее перспективными представляются расширенные суффиксные системы (Moore, Ito, 1978; Bayliss, Levinson, 1988), сочетающие в себе высокую информативность терминов с легкостью их индексации, что имеет особое значение для минералогических групп с потенциально широким разнообразием видов. Примерами таковых, наряду с группой лабунцовита, могут служить титано- и цирконосиликаты группы эвдиалита  $A_{12}B_3C_6D_{3-6}E_3FG(Si_3O_9)_2(Si_9O_{27})_2X_mY_nZ_k$  с варьирующим составом доминирующих катионов и анионов во многих структурных позициях. В качестве видовых модификаторов для минералогических групп с полипозицион-

<sup>2</sup> Минерал, первоначально описанный в цитируемой работе как леммлейнит, в связи с введением суффиксной номенклатуры переименован в леммлейнит-К.

ным изоморфизмом предлагается использовать суффиксы из четырех и более химических символов (Khomyakov, 2000). Широкое использование подобных вариантов суффиксных систем создаст возможность описания потенциально беспредельного видового разнообразия минерального мира с помощью минимального числа корневых названий и тем самым откроет перед минералогией и сопредельными науками новые горизонты в познании этого мира.

В заключение авторы выражают благодарность В. Я. Герасименко, Т. В. Дубровской, П. М. Карташову, А. С. Подлесному и Г. К. Кривоконевой за предоставление образцов и помощь в получении некоторых важных характеристик изученных минералов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

#### Список литературы

- Архипенко Д. К., Органова Н. И., Шлюкова З. В. Колебательный спектр лабунцовита и анализ входящих в него  $\text{OH}_n$ -группировок // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1977. № 8. С. 61—67.
- Булах А. Г., Евдокимов М. Д. Особенности кристаллохимии лабунцовита и ненадкевичита // Вестн. ЛГУ. 1973. № 24. Вып. 4. С. 15—22.
- Головастиков Н. И. Кристаллическая структура щелочного титаносиликата лабунцовита // Кристаллография. 1973. Т. 18. Вып. 5. С. 950—955.
- Иванюк Г. Ю., Яковенчук В. Н. Минералы Ковдора. Апатиты: Изд. Кольского Научного центра РАН, 1997. 117 с.
- Капустин Ю. Л. Минералогия карбонатитов. М.: Наука, 1971. 288 с.
- Лабунцов А. Н. О титановом эльпидите из Хибинских тундр и его парагенезисе // Докл. АН СССР. Сер. А. 1926. С. 39—42.
- Органова Н. И., Архипенко Д. К., Диков Ю. П., Карпинский О. Г., Шлюкова Э. В. Структурные особенности новой калийсодержащей разновидности лабунцовита и ее место в семействе лабунцовит—ненадкевичит // Минер. журн. 1981. Т. 3. № 2. С. 49—63.
- Расцветаева Р. К., Чуканов Н. В., Пеков И. В., Шлюкова З. В., Хомяков А. П. Структуры двух высококальциевых лабунцовитов в свете кристаллохимии минералов семейства лабунцовит—ненадкевичита // Кристаллография. 1998. Т. 43. № 5. С. 874—881.
- Семенов Е. И. Изоморфный ряд лабунцовит—ненадкевичит // Тр. ИМГРЭ. 1959. Вып. 2. С. 102—109.
- Семенов Е. И., Бурова Т. А. О новом минерале лабунцовите и о так называемом титаноэльпидите // Докл. АН СССР. 1955. Т. 101. № 6. С. 1113—1116.
- Хомяков А. П. Почему их больше, чем две тысячи? // Природа. 1996. № 5. С. 62—74.
- Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветаева Р. К., Дорохова Г. И. Леммлейнит  $\text{NaK}_2(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{O}, \text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — новый минерал семейства лабунцовит—ненадкевичита // ЗВМО. 1999. № 5. С. 54—63.
- Чуканов Н. В., Пеков И. В., Расцветаева Р. К., Задов А. Е., Неделько В. В. Леммлейнит-Ва,  $\text{Na}_2\text{K}_2\text{Ba}_{1+x}\text{Ti}_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{O}, \text{OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — новый минерал группы лабунцовита // ЗВМО. 2001. № 3. С. 36.
- Bayliss P., Levinson A. A. A system of nomenclature for rare-earth mineral species: revision and extension // Amer. Miner. 1988. Vol. 73. N 3—4. P. 422—423.
- Coombs D. R. e. a. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on Zeolites of the IMA, Commission on New Minerals and Mineral Names // Canad. Miner. 1997. Vol. 35. P. 1571—1606.
- Ferraris G., Gula A., Ivaldi G., Khomyakov A. P., Raade G. Crystal structures of three new members of the labuntsovite group // XXX Congresso SIMP, Pavia, 8—13 Settembre, 2000. Plinius. 2000. N 24. P. 107.
- Khomyakov A. P. Diversity of alkaline rock minerals and the problem of quantity of mineral species. 14th IMA General Meeting. Stanford, California, 1986. Abstracts. P. 140.
- Khomyakov A. P. Recent mineral discoveries and the number of mineral species: a reconsideration // 17th IMA General Meeting. Toronto, Canada. 1998. Abstracts. P. 108.
- Khomyakov A. P. New species and rational mineralogical nomenclature // 4th Int. Conf. Mineralogy and Museums, Melbourne, 4—8. December, 2000. Abstracts.
- Levinson A. A. A system of nomenclature for rare-earth minerals // Amer. Miner. 1966. Vol. 51. N 1—2. P. 152—158.
- Milton Ch., Mrose M. E., Fahey J. J., Chao E. C. T. Labuntsovite from the Trona Mine, Sweetwater County, Wyoming // Bull. Geol. Soc. Amer. 1958. Vol. 69(12). P. 1614—1621.
- Moore P. B., Ito J. Whiteite, a new species, and a proposed nomenclature for the jahnsite-whiteite complex series // Miner. Mag. 1978. Vol. 42. N 323. P. 309—323.
- Nickel E. H., Grice J. D. The IMA Commission on New Minerals and Mineral Names: procedures and guidelines on mineral nomenclature, 1988 // Canad. Miner. 1998. Vol. 36. P. 1—14.

Поступила в редакцию  
27 ноября 2000 г.