

УДК 549.657 + 548.6

НЕСКЕВАРАИТ-Fe, $\text{NaK}_3\text{Fe}(\text{Ti,Nb})_4(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2(\text{O,OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ ЛАБУНЦОВИТА¹

Н.В. Чуканов

Институт Проблем химической физики РАН, Московская обл., г.Черноголовка, chukanov@iip.ac.ru

В.В. Субботин

Геологический институт КНИЦ РАН, Апатиты

И.В. Пеков

Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, Москва, igorpekov@mtu-net.ru

А.Е. Задов

НПО «Регенератор», Москва

А.И. Цепин

Институт Геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, vak@igem.ru

К.А. Розенберг

Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, Москва

Р.К. Расцветаева

Институт Кристаллографии РАН, Москва

Дж. Феррарис

Туринский Университет, Турин, Италия

Новый минерал группы лабунцовита нескевараит-Fe найден в щелочно-ультраосновном массиве Вуориярви (Сев. Карелия) в гидротермально переработанном участке карбонатита, в виде плохо ограниченных коричневатых полупрозрачных призматических кристаллов длиной до 6 мм в ассоциации с доломитом, кальцитом, флогопитом, фторапатитом, пиритом, пирротином, халькопиритом, серпентином и ненадквичитом (голотип), и в калишпат-кальцитовый жиле на горе Кукисвумчорр (Хибинский массив, Кольский п-ов) в тесных сростаниях с лабунцовитом-Fe. Кристаллы нескевараита-Fe из Хибин (до 6 x 4 x 1 мм) почти непрозрачные, желто-коричневые, уплощенно-призматические, образованы гранями { -201 }, { 100 }, { -101 }, { 001 }, { 021 }, { 010 }. Хрупкий, твердость по Моосу 5, спайность отсутствует. Микродвойникование по (001) и (-401) выявлено при изучении кристаллической структуры. $D_{\text{изм}} = 2.88(3)$, $D_{\text{выч}} = 2.90$ г/см³. Оптически двуосный, положительный, $n_p = 1.677(1)$, $n_m = 1.684(2)$, $n_g = 1.790(5)$, $2V = 25(10)^\circ$. Плеохроизм практически отсутствует. Оптическая ориентировка: $Y = b$. Структура изучена методом монокристалла, $R = 0.066$. Моноклинный, простр. гр. *Cm*. Параметры элементарной ячейки: $a = 14.450(6)$, $b = 13.910(6)$, $c = 7.836(4)$ Å, $\beta = 117.42(1)^\circ$, $V = 1398(2)$ Å³. Нескевараит-Fe является структурным аналогом гуткованита-Mn и алсахаровита-Zn, образуя с этими минералами подгруппу гуткованита в группе лабунцовита. Усредненный хим. состав (микросонд, мас.%; содержание H₂O определено по термогравиметрическим данным в вакууме; 1-я цифра – Вуориярви (голотип), 2-я – Хибини): Na₂O 3.10, 3.45; K₂O 8.83, 9.11; CaO 0.00, 0.03; SrO 0.00, 0.07; BaO 3.37, 5.07; MgO 0.75, 0.05; MnO 0.50, 1.03; FeO 1.82, 1.98; ZnO 0.00, 0.11; SiO₂ 39.29, 37.95; TiO₂ 15.08, 14.80; ZrO₂ 0.00, 0.08; Nb₂O₅ 17.96, 18.21; H₂O 9.26, не опр.; сумма 99.97, 91.94. Эмпирическая формула голотипа из Вуориярви: $\text{Na}_{1.22}\text{K}_{2.29}\text{Ba}_{2.26}(\text{Fe}_{.31}\text{Mg}_{.23}\text{Mn}_{.09})_{\Sigma 0.63}(\text{Ti}_{2.31}\text{Nb}_{1.63})_{\Sigma 3.96}(\text{Si}_{8.00}\text{O}_{24})[\text{O}_{2.78}(\text{OH})_{1.22}]_{\Sigma 4} \cdot 5.68\text{H}_2\text{O}$. Упрощенная формула ($Z = 2$): $\text{NaK}_3\text{Fe}(\text{Ti,Nb})_4(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2(\text{O,OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Главные линии рентгенограммы порошка [d , Å (I, %) (hkl)]: 6.93 (100) (020, 001); 4.93 (80) (021); 3.21 (100) (400, 42-1, 40-2); 3.11 (90) (041, 022); 2.62 (60) (15-1, 241, 24-2, 202); 2.49 (50) (44-1, 401, 40-3). Дан ИК-спектр. Минерал назван по месту первой находки на участке Нескевара в массиве Вуориярви и по преобладанию Fe в D-позиции структуры. Образец нескевараита-Fe хранится в Минералогическом музее им. А.Е.Ферсмана РАН в Москве.

В статье 3 таблицы, 3 рисунка и список литературы из 12 названий.

Среди всего многообразия водных щелочных титано- и ниобосиликатов («амфотеросиликатов») группа лабунцовита занимает особое место благодаря уникальному, свойственному только этим минералам структурному мотиву. В его основе лежит каркас, образованный цепочками M-октаэдров ($M = \text{Ti, Nb}$), «сшитых» кольцами Si_4O_{12} , а нередко также дополнительными D-октаэдрами ($D = \text{Mg, Mn, Fe, Zn}$) (Chukanov *et al.*, 1999, 2002).

Присутствие лабунцовитоподобных минералов – своеобразных «редкометалльных цеолитов» – как бы оконтуривает границы специфических условий минералообразования: по-видимому, можно говорить о существовании лабунцовитовых парагенезисов, формирование которых в щелочных гидротермалитах связано с одновременно высокими активностями воды, K и/или Na, Ti и/или Nb и Si при относительно низких температурах и давлениях.

¹ Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 2 мая 2002 года

Таблица 1. Химический состав нескевараита-Fe (1,2) и срastaющего с ним лабунцовита-Fe (3)

Компонент	мас. %		
	1	2	3
Na ₂ O	3.10 (2.21 – 3.38)	3.45	5.09
K ₂ O	8.83 (8.18 – 9.37)	9.11	7.74
CaO	0.00	0.03	0.00
SrO	0.00	0.07	0.00
BaO	3.37 (2.05 – 4.69)	5.07	8.28
MgO	0.75 (0.57 – 1.06)	0.05	0.98
MnO	0.50 (0.38 – 0.59)	1.03	0.11
FeO	1.82 (1.62 – 2.14)	1.98	1.75
ZnO	0.00	0.11	0.11
SiO ₂	39.29 (38.25 – 40.12)	37.95	39.62
TiO ₂	15.08 (13.30 – 15.94)	14.80	25.13
ZrO ₂	0.00	0.08	0.08
Nb ₂ O ₅	17.96 (17.21 – 19.04)	18.21	2.09
H ₂ O	9.26	не опр.	не опр.
Сумма	99.97	91.94	90.98
Формульные коэффициенты, расчет на 8 атомов Si			
Na	1.22	1.41	1.99
K	2.29	2.45	1.99
Ca	—	0.01	—
Sr	—	0.01	—
Ba	0.26	0.42	0.66
Mg	0.23	0.02	0.29
Mn	0.09	0.18	0.02
Fe	0.31	0.35	0.30
Zn	—	0.02	—
Si	8	8	8
Ti	2.31	2.35	3.82
Zr	—	0.01	—
Nb	1.65	1.74	0.19

Примечание: 1 — Нескевара, Вуориярви (голотип: среднее по 7 анализам, в скобках даны пределы содержания); 2 — 3 — Кукисвумчорр, Хибинь (параллельный сросток нескевараита-Fe и лабунцовита-Fe)

Обладая однотипным структурным мотивом, минералы группы лабунцовита в то же время отличаются существенной вариативностью структурных типов и особенно химического состава, реагируя даже на незначительные изменения геохимической обстановки — как при кристаллизации из растворов, так и (в свете последних экспериментальных данных) в ходе последующих катионообменных процессов. Чрезвычайно широкие изоморфные замещения затрагивают не только позиции внекаркасных катионов (Na, K, Ca, Sr, Ba), что характерно и для обычных алюмосиликатных цеолитов, но и октаэдрические позиции разных типов в каркасе. Эти факторы определяют многообразие представителей данной группы, что не только важно с точки зрения реконструкции условий минералообразования, в том числе локальных, но и может представлять значительный практический интерес, учитывая наличие ионообменных свойств у лабунцовитоподобных минералов (Пеков и др., 2002а) и их синтетических аналогов (Dyer *et al.*, 1999).

Новый минерал группы лабунцовита, описываемый в настоящей работе, обнаружен в керне скважин в двух щелочных массивах — Вуориярви (Сев. Карелия) и Хибинском

(Кольский п-ов). Он получил название **нескевараит-Fe** по месту первой находки на участке Нескевара в массиве Вуориярви; сульфидс-уточнитель -Fe указывает на преобладание железа в D-позиции структуры, в соответствии с принятой номенклатурой минералов группы лабунцовита (Chukanov *et al.*, 2002).

Массив Вуориярви является типичным представителем интрузий центрального типа, сложенных щелочно-ультраосновными породами и карбонатитами (Кухаренко и др., 1965). Члены группы лабунцовита здесь развиты достаточно широко: это вуориярвит-К (Субботин и др., 1998), ненадкевичит, лабунцовит-Mg, лабунцовит-Fe, коробицынит. Наиболее разнообразны они на участке Нескевара, в гидротермально измененных пироклорсодержащих карбонатитах и фоскоритах. Все находки лабунцовитоподобных минералов сделаны в керне скважин на глубинах от 30 до 780 м от дневной поверхности и приурочены к карбонатитовым жилам протяженностью до 1 км и мощностью до 100 м, а в раздувах и более. Минералы групп пироклора и цирконолита явились источником Nb и Ti для формирования лабунцовитоподобных фаз, которые наблюдаются только в зонах низкотемпературного гидротермального преобразования карбонатитов и фоскоритов. Гидротермально переработанные породы кавернозные, состоят из доломита (60 – 90%), кальцита, сидерита, магнезита, хлорита, серпентина, карбонат-фторапатита, содержат барит, сульфиды, карбонаты Ba, Sr и REE, нередко кварц и полевой шпат. Нескевараит-Fe здесь встречается в единственном (голотипном) образце керна в виде плохоограненных коричневатых полупрозрачных призматических кристаллов длиной до 6 мм в гидротермально переработанном участке карбонатита (гнездо размером 3 x 3 x 1 см). В ассоциации с новым минералом находятся доломит, кальцит, флогопит, фторапатит, пирит, пирротин, халькопирит, серпентин и ненадкевичит. Во вмещающем малоизмененном карбонатите, сложенном в основном кальцитом, флогопитом, пироксенем и пиритом, присутствуют реликты пироклора.

В Хибинском массиве нескевараит-Fe найден также в одном образце керна разведочной скважины, пробуренной в подземной выработке на горизонте + 172 м Кировского рудника, эксплуатирующего месторождение апатита в южной части горы Кукисвумчорр. Этот образец был представлен авторам для исследования изве-

стным коллекционером А.С.Подлесным. Здесь новый минерал приурочен к кавернозной жильной породе, сложенной среднезернистым агрегатом белого кальцита и желтоватого калиевого полевого шпата приблизительно в равных количествах. Нескевараит-Fe образует практически непрозрачные желто-коричневые уплощенно-призматические кристаллы длиной до 1.8 см при ширине до 4 мм и толщине до 1 мм, вросшие в кальцит или расположенные в полостях. Он находится в тесных сростаниях с лабунцовитом-Fe; наиболее поздними в этой ассоциации являются отдельные мелкие кристаллики доннейита-(Y) и покрывающие стенки полостей пленки буро-черного твердого битума.

Кристаллы хибинского нескевараита-Fe обычно грубые, досковидные, вытянутые вдоль [010]. В полостях, однако, встречаются и хорошо оформленные кристаллы с четкими головками (рис. 1). Пояс призм этих кристаллов (класс симметрии $2/m$) образован комплексом покрытых продольной штриховкой граней пинакоидов $\{-201\}$ (главная габитусная форма), $\{100\}$, $\{-101\}$, иногда $\{001\}$. Головки представлены гладкими гранями ромбической призмы $\{021\}$ и узким пояском граней пинакоида $\{010\}$. Нередко попадаются параллельные, возможно, синтаксические сростки нескевараита-Fe с лабунцовитом-Fe. Последний дает брусковидные великолепно оформленные прозрачные кристаллы (до 5 мм) с зеркальными гранями, имеющие яркую кроваво-красную окраску и резко контрастирующие по своему внешнему облику с мутными желто-коричневыми иштрихованными уплощенными кристаллами нескевараита-Fe.

Черта нового минерала белая, блеск стеклянный. Спайность не наблюдается, излом неровный. Твердость по Моосу около 5, хрупкий. Плотность нескевараита-Fe, измеренная методом уравнивания зерна в тяжёлых жидкостях, составляет 2.88(3),

Таблица 2. Результаты расчета порошковой рентгенограммы нескевараита-Fe из Вуориярви

$I_{\text{изм}}$	$d_{\text{изм}}$ Å	$I_{\text{выч}}$	$d_{\text{выч}}$ Å	hkl
100	6.93	32	6.95	020
		100	6.93	001
20	6.45	28	6.39	200
		36	6.39	20-1
80	4.93	32	4.91	021
	3.52	3	3.60	40-1
10		3	3.48	040
10	3.42	7	3.40	221
		3	3.39	22-2
		17	3.20	400
100	3.21	64	3.20	42-1
		22	3.19	40-2
90	3.11	41	3.11	041
		51	3.10	022
		13	2.95	112
30	2.91	19	2.90	420
		14	2.90	42-2
		6	2.62	15-1
60	2.62	15	2.59	241
		10	2.59	24-2
		7	2.59	202
		11	2.50	44-1
50	2.49	10	2.50	401
		19	2.50	40-3
5	2.14	5	2.13	600
		6	2.13	60-3
5	2.03	5	2.03	441
		8	2.03	44-3
10	1.929	7	1.926	062
		2	1.925	043
		3	1.876	460
10	1.873	3	1.875	46-2
		2	1.872	42-4
10	1.801	10	1.800	80-2
30	1.730	10	1.738	080
		5	1.734	004
		13	1.697	44-4
40	1.687	2	1.690	82-1
		2	1.690	82-3
		3	1.685	081
		8	1.558	84-1
20	1.558	3	1.557	820
		7	1.557	84-3
		2	1.526	48-2
10	1.522	2	1.524	423
		4	1.523	42-5
		5	1.426	481
40	1.422	6	1.426	48-3
		7	1.425	443
		4	1.297	4.10.-1
30	1.297	3	1.296	482
		3	1.294	404

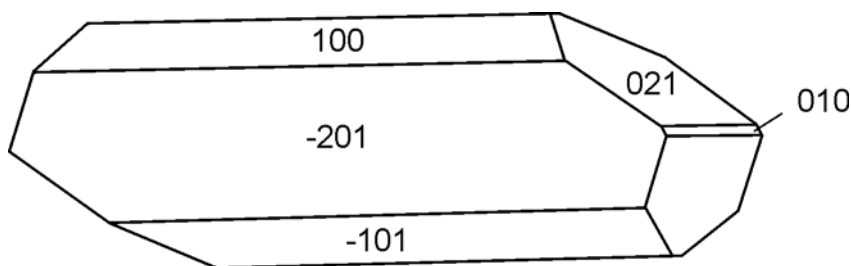


Рис. 1. Кристалл нескевараита-Fe из Хибин

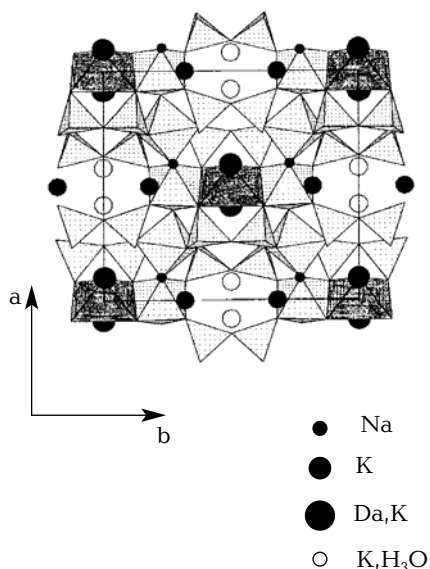


РИС. 2. Кристаллическая структура нескевараита-Fe; октаэдры Fe показаны темными, октаэдры (Ti, Nb) – светлыми

рентгеновская плотность – 2.90 г/см³. Оптически двуосный, положительный, $n_p = 1.677(1)$, $n_m = 1.684(2)$, $n_g = 1.790(5)$, $2V = 25(10)^\circ$. Плеохроизм практически отсутствует. Оптическая ориентировка: $Y = b$.

Катионный состав нового минерала (табл. 1) изучен методом локального рентгеноспектрального анализа. Содержание воды для образца из Вуориярви определено по потере массы при нагревании минерала в вакууме до 950°C со скоростью 40°C/мин. Расчёт анализа голотипного образца (ан. 1 в табл. 1) на $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O}, \text{OH})_4$ приводит к следующей эмпирической формуле ($Z = 2$): $\text{Na}_{1.22}\text{K}_{2.29}\text{Ba}_{.26}(\text{Fe}_{.31}\text{Mg}_{.23}\text{Mn}_{.09})_{\Sigma 0.63}(\text{Ti}_{2.31}\text{Nb}_{1.65})_{\Sigma 3.96}(\text{Si}_{8.00}\text{O}_{24})[\text{O}_{2.78}(\text{OH})_{1.22}]_{\Sigma 4} \cdot 5.68\text{H}_2\text{O}$. Упрощённая формула нескевараита-Fe: $\text{NaK}_3\text{Fe}(\text{Ti}, \text{Nb})_4(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2(\text{O}, \text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Корректность определений химического состава, показателей преломления и плотности нескевараита-Fe подтверждается хорошей сходимостью по критерию Гладстона-Дейла (Mandarino, 1981): $1 - K_p/K_c = 0.021$ для $D_{\text{изм}}$; $1 - K_p/K_c = 0.028$ для $D_{\text{выч}}$.

Дебаеграмма нескевараита-Fe (камера РКГ-86, FeK-излучение) приведена в табл. 2. При выборе индексов hkl для рефлексов использованы данные по интенсивностям, полученные при структурном исследовании минерала.

Кристаллическая структура нескевараита-Fe изучена на монокристалле из Вуориярви при помощи четырёхкружного дифрактометра ENRAF NONIUS ($R_{\text{анизот}} = 0.066$)

с учётом микродвойничкования по (001) и (-401): наблюдаемый удвоенный период ромбической псевдоячейки с указывает на двойникование по типу леммлейнита, и для перехода от экспериментальной к истинной моноклинной ячейке была использована матрица: $[100/010/000.5] + [100/010/-0.50 -0.5]$. Уточненные массовые коэффициенты компонент двойника составляют 0.53 и 0.47. Нескевараит-Fe моноклинный, пространственная группа Cm . Параметры элементарной ячейки: $a = 14.450(6)$, $b = 13.910(6)$, $c = 7.836(4)\text{Å}$, $\beta = 117.42(1)^\circ$, $V = 1398(2)\text{Å}^3$. В основе структуры этого минерала, как и других моноклинных членов группы лабунцовита, лежат волнообразно изогнутые це-

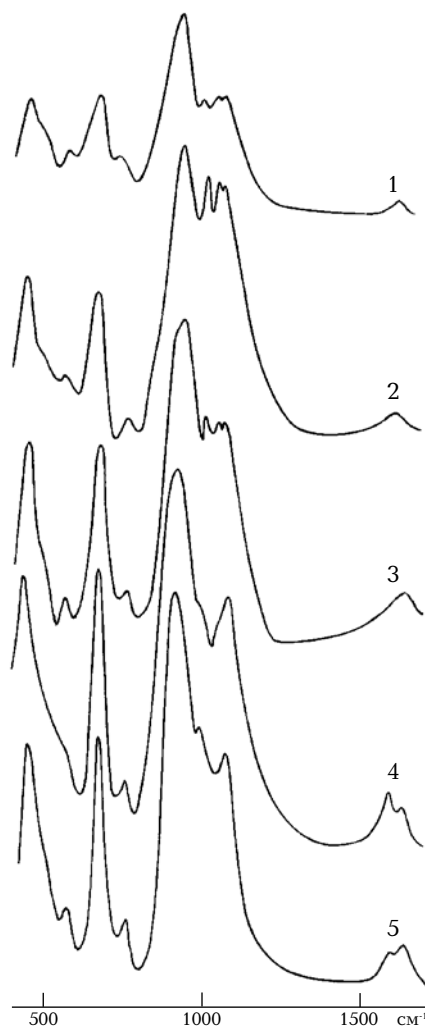


РИС. 3. ИК-спектры минералов подгрупп гутковаита и кузьменкоита: 1 – гутковаит-Мп, 2 – алшаровит-Зп, 3 – нескевараит-Fe, 4 – кузьменкоит-Мп, 5 – кузьменкоит-Зп

Таблица 3. Сравнительные кристаллохимические характеристики минералов подгруппы гутковаита

Минерал	Гутковаит-Mn	Нескевараит-Fe	Алсахаровит-Zn
Упрощённая формула	CaK ₂ Mn(Ti,Nb) ₄ (Si ₄ O ₁₂) ₂ (O,OH) ₄ ·5H ₂ O	NaK ₃ Fe(Ti,Nb) ₄ (Si ₄ O ₁₂) ₂ (O,OH) ₄ ·6H ₂ O	NaSrKZn(Ti,Nb) ₄ (Si ₄ O ₁₂) ₂ (O,OH) ₄ ·7H ₂ O
Пространственная группа	<i>Cm</i>	<i>Cm</i>	<i>Cm</i>
<i>a</i> , Å	14.365	14.45	14.49
<i>b</i> , Å	13.89	13.91	13.91
<i>c</i> , Å	7.81	7.84	7.82
β , °	117.4	117.4	117.6
Преобладающие катионы:			
A(1)	Ca	Na	Na
A(2)	/	K	Sr
B	K	K	K
D	Mn	Fe	Zn
M	Ti	Ti	Ti

почки Ti(Nb)-октаэдров, соединённые четверными кремнекислородными кольцами и октаэдрами *D*, заполненными главным образом атомами железа (рис. 2). По симметрии и расположению внекаркасных катионов нескевараит-Fe относится к структурному типу гутковаита. В новом минерале, как и в гутковаите-Mn (Расцветаева и др., 2001; Пеков и др., 2002b) и алсахаровите-Zn (Розенберг и др., 2002a; Пеков и др. в печати), позиция *A* распадается на две – *A*(1) и *A*(2) – находящиеся на расстоянии 1.73 Å друг от друга и заполненные статистически атомами Na и K соответственно. Атомы K занимают позицию, в которой в собственно лабунцовите находятся молекулы воды H₂O(1); при этом данная позиция (как и позиция Sr в алсахаровите-Zn) смещена в сторону Na. Несколько укороченное расстояние Na-H₂O(2) = 1.97 Å объясняется неполной заселенностью обеих позиций – как катионами, так и молекулами воды.

Расщеплённая позиция *B* занята ионами K⁺ с небольшим количеством H₃O⁺, которые распределены по двум подпозициям (подобное заполнение *B*-позиции наблюдается и в алсахаровите-Zn). Вхождение в структуру минерала ионов оксония подтверждается присутствием в ИК-спектре слабой полосы при 1715 см⁻¹.

Кристаллохимическая формула нескевараита-Fe (из структурных данных, *Z* = 1): [Na_{2.0}(K_{1.6}Na_{0.4})] [K_{2.2} 1.0 (H₃O)_{0.8}] [K_{0.7}Ba_{0.5}(H₂O)_{2.2} 0.6] [Fe_{0.7}Mg_{0.4}] [Ti_{4.6}Nb_{3.2}(OH_{5.27}O_{2.73})] [Si₄O₁₂]₄·*n*H₂O, где первыми четырьмя квадратными скобками выделены составы ключевых групп позиций *A*, *B*, *C* и *D* соответственно.

Одной из особенностей нескевараита-Fe является частично упорядоченное распределение атомов Ti и Nb по разным

октаэдрическим позициям: в одной преобладает Ti, в другой содержатся равные количества Ti и Nb.

Примечательно, что роль воды в минералах подгруппы гутковаита несколько иная, чем в других минералах группы лабунцовита. Так, в собственно лабунцовите существуют две независимые позиции молекул воды, одна из которых, H₂O(1), связана с катионными позициями *A* и *B*, в то время как H₂O(2) координирует только позицию *A*. При этом обе позиции молекул воды могут смещаться в сторону позиции *A*, которая чаще всего занята Na. В структуре цепинита-Na обе позиции воды смещены и заняты оксонием (как и сама позиция *A*). В кузьменкоитах H₂O(1) сохраняется, а H₂O(2) замещается оксонием. В гутковаитоподобных структурах, наоборот, позиция H₂O(2) сохраняется, а позиция H₂O(1) смещена и может заселяться катионами (например, Sr).

Кроме того, в структурах гутковаита и его аналогов наблюдается избирательное вхождение атомов Ba только в одну из позиций в вершинах *D*-октаэдра, занятых преимущественно молекулами H₂O (4), что является одной из причин понижения симметрии.

Более детально кристаллическая структура нескевараита-Fe описана в отдельном сообщении (Розенберг и др., 2002b). Сравнительные характеристики минералов подгруппы гутковаита даны в табл. 3.

Волновые числа полос в ИК-спектре (см⁻¹; sh – плечо, s – сильная полоса): 3530, 3340, 1653, 1083 s, 1059 s, 1025 s, 951 s, 930 sh, 770, 686 s, 584, 530 sh, 458. По ИК-спектрам минералы подгруппы гутковаита отличаются от других представителей группы лабунцовита, в том числе от наиболее близких к ним членов подгруппы кузьменкоита (рис. 3).

В заключение еще раз подчеркнем серьезные различия между минералами подгрупп гутковаита и собственно лабунцовита. Уже сам факт нахождения в Хибинах тесных сростаний, включая параллельные, близко-одновременно кристаллизовавшихся нескевараита-Fe и лабунцовита-Fe – минералов, содержащих в качестве видообразующих одни и те же компоненты, но различающихся структурными типами, ярко иллюстрирует индивидуальность каждого из этих двух видов. Еще более наглядно эту индивидуальность демонстрируют резко различный внешний облик минералов в таких сростках и существенные различия по соотношениям примесных компонентов в химическом составе минералов. Нескевараит-Fe относительно лабунцовита-Fe обеднен барием и магнием, но обогащен марганцем и особенно резко – ниобием (ан. 2 и 3 в табл. 1). Учитывая, что высокониобиевые разновидности членов подгруппы собственно лабунцовита до сих пор неизвестны, несмотря на обширную статистику анализов, а для представителей других подгрупп, включая подгруппу гутковаита (Пеков и др., в печати), обогащенные ниобием фазы типичны, можно предположить, что именно этот элемент стабилизирует структуру нескевараита-Fe.

Эталонный образец нового минерала передан в Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана РАН в Москве (рег. № 2814/1).

Авторы благодарят А.С.Подлесного за предоставленный для исследования материал из Хибин. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 01-05-64739) и гранта ведущей научной школы № 00-15-98-497.

Список литературы

Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г., Багдасаров Э.А., Римская-Корсакова О.М., Нефедов Е.И., Ильинский Г.А., Сергеев А.С., Абакумова Н.Б. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М., 1965. 772 с.
 Пеков И.В., Турчкова А.Г., Кононкова Н.Н., Чуканов Н.В. Изучение катионообменных свойств минералов группы лабунцовита. I. Эксперименты в водных растворах при

нормальных условиях. Тез. докл. //Матер. Всероссийского семинара «Щелочной магматизм Земли». М., 2002а. С. 76.
 Пеков И.В., Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Загов А.Е., Кононкова Н.Н. Гутковаит – $Mn, CaK_2Mn(Ti, Nb)_4(Si_4O_{12})_2(O, OH)_4 \cdot 5H_2O$, новый минерал группы лабунцовита из Хибинского массива, Кольский полуостров //ЗВМО. Ч. 131. 2002b. № 2. С. 51 – 57.
 Пеков И.В., Чуканов Н.В., Загов А.Е., Розенберг К.А., Расцветаева Р.К. Алсахаровит- $ZnNaSrKZn(Ti, Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O, OH)_4 \cdot 6H_2O$ – новый минерал группы лабунцовита из Ловозерского массива, Кольский полуостров //ЗВМО (в печати).
 Расцветаева Р.К., Пеков И.В., Некрасов Ю.В. Кристаллическая структура и микродвойникование высококальциевого аналога лабунцовита // Кристаллография. Т. 46. 2001. № 3. С. 415 – 417.
 Розенберг К.А., Расцветаева Р.К., Пеков И.В., Чуканов Н.В. Кристаллическая структура и микродвойникование нового высококальциевого представителя группы лабунцовита //ДАН. Т. 383. 2002а. № 5 (в печати).
 Розенберг К.А., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Субботин В.В. Кристаллическая структура нецентросимметричного высококальциевого аналога лабунцовита-Fe // Кристаллография. Т. 47. 2002b. № 3 (в печати).
 Субботин В.В., Волошин А.В., Пахомовский Я.А., Бахчисарайцев А.Ю., Пуцаровский Д.Ю., Расцветаева Р.К., Надежина Т.Н. Вуориярвит $(K, Na)_2(Nb, Ti)_2Si_4O_{12}(O, OH)_2 \cdot 4H_2O$ – новый минерал из карбонатитов массива Вуориярви (Кольский полуостров) //ДАН. Т. 358. 1998. № 4. С. 517 – 519.
 Chukanov N.V., Pekov I.V., Rastsvetaeva R.K., Nekrasov A.N. Labuntsovite: solid solutions and features of the crystal structure //Can. Miner. Vol. 37. 1999. P. 901 – 910.
 Chukanov N.V., Pekov I.V., Khomyakov A.P. Recommended nomenclature for labuntsovite-group minerals //Eur. J. Miner. Vol. 14. 2002. P. 165 – 173.
 Dyer A., Pillinger M., Newton J.A., Harjula R.O., Moller J.T., Tusa E.H., Suheel A., Webb M. Mineral ion exchangers for removal of radionuclides from liquids and wastewaters. Patent WO 9958243 (GB). 13.05.1999.
 Mandarino J. A. The Gladstone-Dale relationship: Part IV. The compatibility concept and its application //Can. Miner. 1981. Vol. 19. P. 441 – 450.