

Падмаит (3) — PbBiSe
Перролит (32) — $\text{Na}_2\text{KBaMn}_8(\text{Ti, Nb})_4\text{Si}_8\text{O}_{32}(\text{OH, F, H}_2\text{O})_7$
Питильяноит (37) — $\text{Na}_6\text{K}_2\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Радкеит (2) — $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}$
Рувиллит (13) — $\text{Na}_3\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}$
Сиансуллит (11) — $\text{Mn}(\text{Mg, Mn})_2\text{Zn}_2(\text{OH})_{10} \cdot 2-4\text{H}_2\text{O}$
Силинаит (27) — $\text{NaLiSi}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Скуокриkit (9) — $(\text{Fe}_{0.35}\text{Sb}_{0.35}\text{Sn}_{0.2}\text{Ti}_{0.1})\text{O}_2$
Стронциовитлокит (22) — $\text{Sr}_9\text{Mg}(\text{PO}_3\text{OH})(\text{PO}_4)_6$
Тойохаит (1) — $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$
Уоттерсит (7) — $\text{Hg}^1\text{Hg}^{2+}\text{Cr}^{6+}\text{O}_6$
Хайнесит (20) — $(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_2(\text{SeO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Черемныхит (17) — $\text{Pb}_3\text{Zn}_3\text{TeO}_6(\text{VO}_4)_2$

Институт геологии рудных месторождений,
 петрографии, минералогии и геохимии
 (ИГЕМ) РАН Москва

Поступила в редакцию
 25 мая 1993 г.

УДК 549.0

© ЗВМО, № 5, 1993 г.

Д. чл. А. П. ХОМЯКОВ, Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ, Р. К. РАСЦВЕТАЕВА

САЗЫКИНАИТ-(Y) $\text{Na}_5\text{YZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹

А. Р. ХОМЯКОВ, Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ, Р. К. РАСЦВЕТАЕВА. SAZYKINAITE-(Y) $\text{Na}_5\text{YZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ —
 A NEW MINERAL

В 1991 г. при изучении пегматитов горы Коашва в Хибинском щелочном массиве (Кольский полуостров) А. П. Хомяковым были встречены ромбоэдрические кристаллы неизвестного минерала, внешне сходного с сидеритом, но обладающего индивидуальными оптическими свойствами. Детальное исследование, проведенное авторами настоящей статьи, показало, что найденный минерал имеет состав $(\text{Na, K})_5(\text{Y, Dy, Gd})(\text{Zr, Ti, Nb})\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и может рассматриваться как редкоземельный аналог илерита $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Chao e. a., 1974), в котором половина атомов Zr замещена иттрием и тяжелыми лантаноидами, занимающими самостоятельную структурную позицию. Новый минерал назван сазыкинаитом-(Y) (sazykinaite-(Y)) в честь Сазыкиной Людмилы Борисовны (р. 1934), известного минералога и художника Кольского края, автора оригинальных картин из природных цветных камней.²

Пегматитовое тело, в котором встречен сазыкинаит, имеет линзовидную форму и мощность в раздуве около 8 м. В нем выделяется гакманито-натролитовое ядро и сильно развитая вокруг него эгириновая зона, сложенная агрегатами сферолитового тонковолокнистого и игольчатого эгирина, а также натролитом, калиевым полевым шпатом, пектолитом, щелочным амфиболом, астрофиллитом, ломоносомитом, сфалеритом. На отдельных участках эта зона содержит пустоты с кристаллами сазыкинаита и лабунцовита, обычно находящимися в тесных взаимных сростаниях.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93—05—8694).

² 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. Символ (Y) в названии минерала указывает на доминирующую роль иттрия в составе PЗЭ.

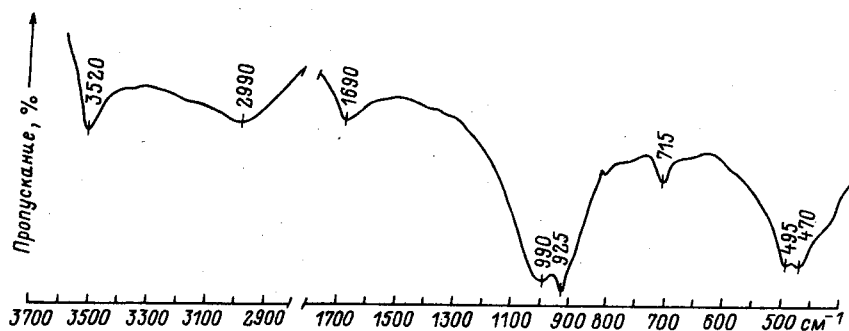


Рис. 1. ИК-спектр сазыкинаита-(Y).

Fig. 1. IR spectrum of sazykinaite-(Y).

Кристаллы сазыкинаита размерами от 0.5—1 до 2 мм в поперечнике имеют форму слегка сплюснутых ромбоэдров, образованных комплексом граней (01 $\bar{1}$ 2). Цвет минерала светло-зеленый с желтоватым оттенком. Блеск сильный, стеклянный. Прозрачный или просвечивает. В ультрафиолетовых лучах обнаруживает отчетливое зеленое свечение. Спайность несовершенная по (01 $\bar{1}$ 2). Хрупкий. Излом раковистый, на части сколов ступенчатый. Твердость 5 по шкале Мооса. Плотность, определенная микрометодом, 2.67(5) г/см³, вычисленная 2.74 г/см³. Минерал оптически одноосный, отрицательный, $N_e = 1.578(2)$, $N_o = 1.585(2)$. Минерал устойчив в воде, но легко разлагается на холоду 10%-ными HCl и HNO₃.

ИК-спектр (рис. 1) содержит хорошо выраженные полосы поглощения в области колебаний молекул воды (3520, 2990 и 1690 см⁻¹) и в основной области (990, 925, 715, 495 и 470 см⁻¹). По общему характеру ИК-спектр сазыкинаита близок к спектрам илерита и комковита, опубликованным А. В. Волошиным и др. (1990). На кривой ДТА (рис. 2) имеется четко выраженный эндотермический эффект при 245 °С, сопряженный с минимумом на кривой ДТГ и обусловленный дегидратацией минерала. Потеря массы в интервале 20—1000 °С составляет 12.6%. Термически обработанные кристаллы становятся непрозрачными и

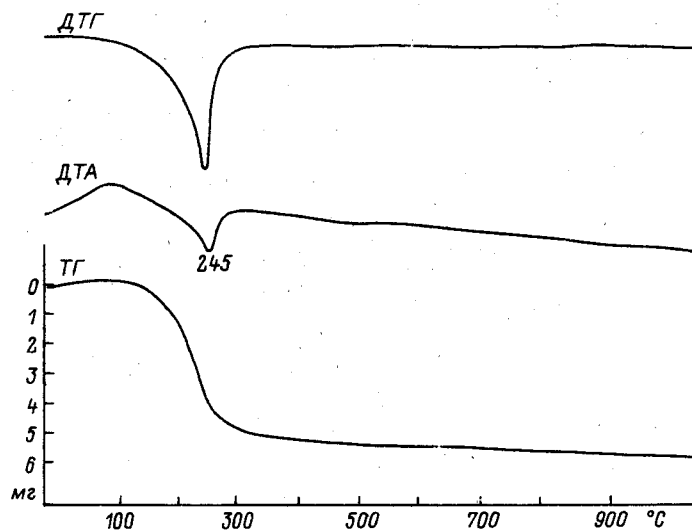


Рис. 2. Дериватограмма сазыкинаита-(Y).

Fig. 2. Derivatogram of sazykinaite-(Y).

Таблица 1

Результаты расчета рентенограммы порошка сазыкинаита-(У) (1) и илгерита (2)
 X-ray powder analysis data for (1) sazykinaite-(U) and (2) iligirite

1						2							
<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>hkl</i>
32	6.03	6.04	012	60	6.00	012	11	1.730	1.729	422	5	1.719	128
63	5.40	5.41	110	100	5.28	110, 003			1.726	128	20	1.688	422
2	3.776	3.776	113				12	1.696	1.694	054	20	1.661	054
4	3.645	3.642	104	5	3.636	104	4	1.648	1.647	152	10	1.607	152
3	3.453	3.458	211				7	1.618	1.617	244	10	1.584	244
84	3.236	3.233	122	50	3.168	122	2	1.577	1.573	318	5	1.562	318
88	3.127	3.125	300	40	3.046	300	5	1.564	1.566	131	5	1.524	600
100	3.030	3.022	024	30	2.994	024			1.562	600			
19	2.708	2.706	220	30	2.639	220, 033	4	1.549	1.549	514	10	1.516	514
8	2.641	2.638	214	5	2.604	214	5	1.514	1.513	342	10	1.476	342
3	2.565	2.566	131						1.513	253			
9	2.472	2.470	312	10	2.416	312	13	1.503	1.501	520			
4	2.407	2.407	223				5	1.491	1.489	336			
5	2.371	2.369	116	5	2.362	116	2	1.458	1.455	238			
7	2.248	2.247	042	10	2.197	042	3	1.447	1.444	21, 110			
14	2.175	2.172	134	15	2.135	134			1.443	057			
2	2.134	2.131	321				2	1.437	1.436	434			
13	2.077	2.075	232	30	2.027	232	4	1.407	1.407	612			
7	2.046	2.046	410				3	1.362	1.360	508			
18	2.018	2.016	404	30	1.996	410, 306			1.359	125			
		2.014	306				3	1.354	1.353	440			
3	1.909	1.907	143						1.351	13, 110			
13	1.890	1.889	324	5	1.866	226	6	1.346	1.344	164			
		1.888	226						1.344	606			
4	1.825	1.824	502	10	1.852	324	3	1.321	1.320	532			
		1.821	208	5	1.820	208			1.320	072			
21	1.805	1.805	330	40	1.759	330	4	1.283	1.283	262			

+6 линий
от 1.454 до 1.288

Примечание. Условия съемки: дифрактометр. Сикс-излучение. Индексы линий прокорректированы по массиву отражений от монокристалла, полученному на автодифрактометре Эйрф-Нонгус.

приобретают белую окраску, но в какой-то мере сохраняют исходную кристаллическую структуру. На это указывают оптические и рентгенографические характеристики прогретых кристаллов. В частности, зерна, прогретые до 500 °С, дают дебаграмму сазыкинаита с резко ослабленными диффузными линиями.

Рентгеноструктурным исследованием (Расцветаева, Хомяков, 1992) установлена принадлежность сазыкинаита к тригональной (ромбоэдрической) системе. Пространственная группа $R32$. Параметры элементарной ячейки в гексагональной установке: $a = 10.825(5)$, $c = 15.809(4)\text{Å}$, $V = 1604(2)\text{Å}^3$, $Z = 3$. Рентгенограмма порошка минерала (табл 1) индивидуальна и хорошо индицируется на основе элементарной ячейки с приведенными выше параметрами. От рентгенограммы илерита, имеющего ту же симметрию, рентгенограмма сазыкинаита отличается более высокими значениями d соответственных линий, положением наиболее интенсивной линии и целым рядом других особенностей, позволяющих легко различать эти минералы при визуальном сравнении рентгенограмм.

Химический состав минерала (табл. 2) изучен Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Camebax и дополнен определением содержания воды по данным ДТА. Анализировался состав пяти зерен. В связи с неустойчивостью минерала под зондом измерение интенсивностей проводилось расфокусированным пучком (~5 мкм) при непрерывном перемещении образца. В качестве стандартов использовались чкаловит (Na, Si), микроклин (K) и искусственные соединения: $Y_2SiO_5(Y)$, ортофосфаты индивидуальных лантаноидов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), $ThO_2(Th)$, $ZrSiO_4(Zr)$, $TiO_2(Ti)$, $LiNbO_3(Nb)$. Усредненный состав проанализированных зерен пересчитывается при $O = 18$ (в безводной части) на эмпирическую формулу $(Na_{4.380}K_{0.579})(Y_{0.692}Dy_{0.061}Gd_{0.051}Er_{0.037}Yb_{0.027}Th_{0.025}Sm_{0.020}Nd_{0.013}Eu_{0.012}Tb_{0.011}Ce_{0.009}Tm_{0.007})(Zr_{0.743}Ti_{0.152}Nb_{0.088})Si_{6.028}O_{18.00} \cdot 6.25H_2O$. Упрощенная формула (Na,

Таблица 2

Химический состав сазыкинаита-(Y) (мас.%)
Chemical composition of sazykinaite-(Y) (%wt)

Компонент	Зерно 1	Зерно 2	Зерно 3	Зерно 4	Зерно 5	Среднее	O=18
Na ₂ O	14.72	14.44	15.63	14.66	16.43	15.18	4.380
K ₂ O	3.23	3.04	2.81	3.39	2.80	3.05	0.579
Y ₂ O ₃	8.76	7.76	8.79	9.19	9.22	8.74	0.692
Ce ₂ O ₃	0.17	0.35	0.13	0.05	0.13	0.17	0.009
Nd ₂ O ₃	0.30	0.47	0.30	0.17	0.22	0.25	0.013
Sm ₂ O ₃	0.29	0.76	0.35	0.36	0.16	0.38	0.020
Eu ₂ O ₃	—	—	—	0.34	0.14	0.24	0.012
Gd ₂ O ₃	1.08	1.23	1.03	0.85	0.94	1.03	0.051
Tb ₂ O ₃	—	—	—	0.22	0.20	0.21	0.011
Dy ₂ O ₃	1.17	1.11	1.17	1.41	1.45	1.26	0.061
Er ₂ O ₃	0.72	0.70	0.83	0.83	0.89	0.79	0.037
Tm ₂ O ₃	—	—	—	0.20	0.13	0.16	0.007
Yb ₂ O ₃	—	—	—	0.63	0.57	0.60	0.027
ThO ₂	1.09	0.82	0.77	0.61	0.39	0.74	0.025
ZrO ₂	11.19	10.92	10.96	9.11	9.01	10.24	0.743
TiO ₂	0.96	0.98	1.34	1.81	1.73	1.36	0.152
SiO ₂	40.46	40.06	39.99	40.80	41.25	40.51	6.028
Nb ₂ O ₅	1.24	0.91	1.12	1.66	1.58	1.30	0.088
H ₂ O	—	—	—	—	—	12.6	6.252
Сумма						98.81	

Примечание. Дополнительно в составе отдельных зерен установлено присутствие La, Pr и Ho — соответственно до 0.02, 0.06 и 0.09 мас.%; Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Al, Ta не обнаружены.

$K)_5(Y, Dy, Gd)(Zr, Ti)Si_6O_{18} \cdot 6H_2O$. Идеализированная формула $Na_5YZrSi_6O_{18} \cdot 6H_2O$. Последняя может быть выведена из удвоенной формулы илерита $Na_4Zr_2Si_6O_{18} \cdot 6H_2O$ путем замещения половины циркония иттрием с компенсацией зарядов по схеме $Y^{3+} + Na^+ = Zr^{4+}$. В изученном минерале существенная часть натрия замещена калием, иттрия — тяжелыми лантаноидами, состав которых характеризуется отчетливо выраженным диспрозиево-гадолиниевым максимумом, а часть циркония замещена титаном и ниобием. Анализ различных частей единого кристалла позволил установить некоторое изменение содержаний отдельных компонентов от центра к периферии: нарастание для K, Y, Er, Ti, Nb, падение для Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Zr и Si.

Кристаллическая структура сазыкинаита изучена с помощью монокристалльного автодифрактометра Эфраф-Нониус по 570 независимым отражениям до R -фактора 3.4% (Расцветаева, Хомяков, 1992). Кристаллохимическая формула минерала $Na_2(Na_{2.4}K_{0.6})[(Y_{0.8}TR_{0.2})(Zr_{0.7}Ti_{0.2}Nb_{0.1})(Si_6O_{18})] \cdot 6H_2O$, где квадратными скобками выделен трехмерный каркас смешанного типа из винтовых цепочек (Si_3O_9), объединенных вершинами Zr- и Y-октаэдров (рис. 3). Каркас пронизан крупными пустотами и каналами, в которых располагаются атомы щелочных металлов и молекулы воды. Минерал относится к структурному семейству илерита (Илюшин и др., 1981), пополнившееся в последние годы еще двумя представителями — кальциоилеритом $CaZrSi_3O_9 \cdot 3H_2O$ (Boggs Russell, 1988) и комковитом $BaZrSi_3O_9 \cdot 3H_2O$ (Волошин и др., 1990; Соколова и др., 1991). От указанных минералов сазыкинаит отличается прежде всего наличием вместо одной циркониевой двух разнообъемных позиций «цветных» катионов — более крупной иттриевой ($Y-O-2.260\text{\AA}$) и более компактной циркониевой ($Zr-O = 2.077\text{\AA}$). Это в основном и определяет заметное увеличение параметра a элементарной ячейки изученного минерала (и его мольного объема) в сравнении с «чисто циркониевыми» аналогами (табл. 3). В сравнении с ними сазыкинаит характеризуется также более высоким содержанием щелочей ($Na : M = 2.5$ вместо 2), что объясняется полной заселенностью в нем Na_1 и Na_2 позиций. Наличие в структуре сазыкинаита крупных полостей и каналов, пронизывающих смешанный каркас, позволяет рассматривать этот минерал (как и других представителей данного кристаллохимического семейства) в качестве потенциального ионообменника.

Сазыкинаит — позднегидротермальный минерал, образовавшийся на конечных стадиях формирования ультраапаитовых пегматитов и гидротермалитов при кристаллизации остаточных силикатно-солевых жидкостей, аномально обогащенных щелочными, летучими и редкими элементами (Хомяков, 1990). Одним из результатов этих процессов является интенсивное фракционирование элементов группы редких земель с появлением в продуктах конечной кристаллизации не свой-

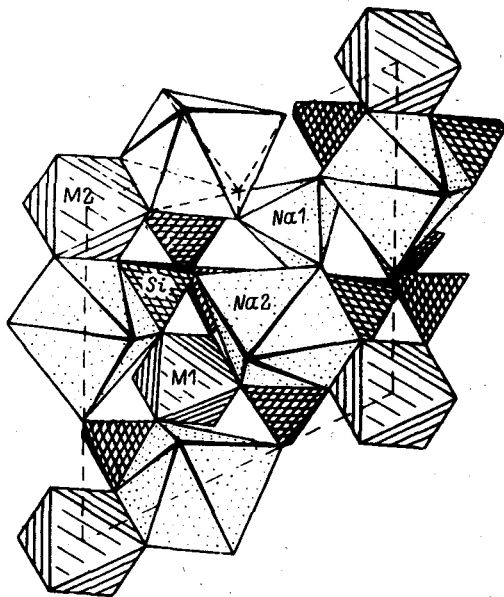


Рис. 3. Кристаллическая структура сазыкинаита-(Y) в проекции на (0001).

Штриховкой выделены октаэдры высокочарядных катионов и Si-тетраэдры, точками — Na-полиэдры.

Fig. 3. Crystalline structure of sazykinaite-(Y) in projection on (0001) plane.

Таблица 3

Сравнение сазыкинаита-(Y) с ближайшими аналогами
Comparison of sazykinaite-(Y) with nearest analogs

Минерал	Сазыкинаит-(Y)	Илерит	Кальциоилерит	Комковит
Формула	$\text{Na}_5\text{YZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{BaZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Сингония, прост- ранственная группа	Тригональная, R32	Тригональная, R32	Тригональная, R32	Тригональная, P3
<i>a</i> , Å	10.825	10.556	20.870	10.526
<i>c</i> , Å	15.809	15.851	16.002	15.736
<i>V</i> , Å	1604	1530	6036	1510
<i>Z</i>	3	6	12	6
Наиболее интен- сивные линии, <i>d</i> (I)	6.03 (32) 5.40 (63) 3.236 (84) 3.127 (88) 3.030 (100) 1.805 (21)	6.00 (60) 5.28 (100) 3.168 (50) 3.046 (40) 2.294 (30) 1.759 (40)	5.23 (100) 3.14 (14) 3.02 (34) 1.817 (31) 1.671 (17) 1.668 (15)	5.23 (10) 3.59 (8) 3.02 (8) 2.96 (9) 2.57 (6) 2.106 (6)
Оптический харак- тер	Одноосный (—)	Одноосный (—)	Одноосный (—)	Одноосный (—)
<i>n_e</i>	1.578	1.596	1.619	1.644
<i>n_o</i>	1.585	1.609	1.622	1.671
<i>D</i> , г/см ³	2.67	2.742	2.68	3.31

ственных более высокотемпературным ассоциациям минералов иттрия и тяжелых лантаноидов, в том числе таких, как недавно установленные в этих образованиях шомиокит-(Y) (Хомяков и др., 1992 а) и минеевит-(Y) (Хомяков и др., 1992 б), а также доннейит, эвальдит и некоторые другие (Хомяков, 1990).

Эталонные образцы сазыкинаита-(Y) переданы в минералогический музей имени А. Е. Ферсмана, Москва, и музей Санкт-Петербургского горного института. Регистрационный номер 2901/1.

Авторы выражают благодарность В. А. Блинову и А. В. Пескову за помощь в работе.

Список литературы

- Волошин А. В., Пахомовский Я. А., Меньшиков Ю. П. и др. Комковит — новый водный бариевый цирконосиликат из карбонатитов Вуориярви (Кольский полуостров) // Минер. журн. 1990. Т. 12. № 3. С. 69—73.
- Илюшин Г. Д., Воронков А. А., Невский Н. Н. и др. Кристаллическая структура илерита $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ // Докл. АН СССР. 1981. Т. 260. № 5. С. 1118—1120.
- Расцветаева Р. К., Хомяков А. П. Кристаллическая структура редкоземельного аналога илерита // Докл. АН СССР. 1992. Т. 37. № 6. С. 1585—1587.
- Соколова Е. В., Аракчеева А. В., Волошин А. В. Кристаллическая структура комковита // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 6. С. 1384.
- Хомяков А. П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 200 с.
- Хомяков А. П., Шумяцкая Н. Г., Полежаева Л. И. Шомиокит-(Y) $\text{Na}_3\text{Y}(\text{CO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — новый минерал // ЗВМО. 1992а. № 6. С. 129—132.
- Хомяков А. П., Полежаева Л. И., Ямнова Н. А., Пушаровский Д. Ю. Минеевит-(Y) $\text{Na}_2\text{Ba}(\text{Y}, \text{Gd}, \text{Dy})_2(\text{CO}_3)_{11}(\text{HCO}_3)_4(\text{SO}_4)_2\text{F}_2\text{Cl}$ — новый минерал // ЗВМО. 1992б. Вып. 6. С. 138—143.
- Boggs Russell C. Calciohilairite $\text{CaZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, the calcium analogue of hilairite from the Golden Horn Batholith, northern Cascades, Washington // Amer. Miner. 1988. Vol. 73. N 9—10. С. 1191—1194.

Chao G. Y., Watkinson D. H., Chen T. T. Hilairite, $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from Mont St. Hilaire, Quebec, Canada // *Canad. Miner.* 1974. Vol. 12. Part 4. С. 237—240.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов (ИМГРЭ), Москва
Всероссийский институт минерального сырья
(ВИМС), Москва
Институт кристаллографии
Российской академии наук, Москва

Поступила в редакцию
12 апреля 1993 г.
