

УДК 549.6 (575.3)

ЛАПТЕВИТ-(Ce) $\text{NaFe}^{2+}(\text{REE}_7\text{Ca}_5\text{Y}_3)(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})(\text{BO}_3)\text{F}_{11}$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹ ИЗ ГРУППЫ ВИКАНИТА ИЗ ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА ДАРАИ-ПИЁЗ, ТАДЖИКИСТАН

А.А. Агаханов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН, Москва, atali99@mai.ru

Л.А. Паутов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН, Москва, pla58@mail.ru

Ю.А. Уварова

Государственное объединение научных и прикладных исследований (CSIRO), Кенсингтон, Австралия, yulia.uvarova@csiro.au

Е.В. Соколова

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канага, Elena.Sokolova@umanitoba.ca

Ф.К. Хоторн

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канага, Frank.Hawthorne@umanitoba.ca

В.Ю. Карпенко

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН, Москва, mineralab@mail.ru

Лаптевит-(Ce) – новый минерал из группы виканита обнаружен в породе кальцит-бафертсит-эгири-микроклинового состава в ассоциации со стиллуэлитом-(Ce), калькибеборсилитом-(Y), флюоритом, полиитионитом и другими минералами на морене ледника Дарай-Пиёз (Таджикистан). Минерал темно-коричневого цвета, в тонких сколах прозрачный. Блеск стеклянный. Встречен в плохо образованных кристаллах размером до 1 см. Твердость по Моосу 4.5–5. $D_{\text{измер.}} = 4.61(2) \text{ г/см}^3$, $D_{\text{выч.}} = 4.619 \text{ г/см}^3$. Оптически одноосный отрицательный, $n_o = 1.741(3)$, $n_e = 1.720(3)$. Частично метамиктный. Кристаллическая структура уточнена с $R = 3.61\%$. Сингония гексагональная, пр. гр. $R3m$, $a = 10.804(2) \text{ \AA}$; $b = 10.804(2) \text{ \AA}$; $c = 27.726(6) \text{ \AA}$; $V = 2802.7(2) \text{ \AA}^3$; $Z = 3$. Главные линии рентгеновской порошкограммы [d , (h), (hkl)]: 7.70 (19) (012); 4.41 (29) (202); 3.13 (26) (214); 3.03 (100) (027); 2.982 (85) (125); 2.954 (60) (033); 2.689 (40) (-240); 1.979 (31) (330); 1.770 (21) (-555). ИК-спектр (сильные полосы поглощения, см^{-1}) 1623, 1437, 1300, 945, 930, 877, 758, 637, 570, 531. Химический состав (микрозондовый анализ, мас.%): SiO_2 – 15.67, TiO_2 – 0.28, ZrO_2 – 0.01, ThO_2 – 0.38, UO_2 – 0.65, FeO – 1.48, CaO – 11.64, MnO – 1.02, SrO – 0.95, Y_2O_3 – 11.30, La_2O_3 – 14.51, Ce_2O_3 – 16.93, Pr_2O_3 – 2.76, Nd_2O_3 – 5.16, Sm_2O_3 – 0.98, Eu_2O_3 – 0.10, Gd_2O_3 – 1.56, Tb_2O_3 – 0.29, Dy_2O_3 – 1.37, Tm_2O_3 – 0.17, Yb_2O_3 – 0.28, B_2O_3 – 4.98, P_2O_5 – 1.51, Na_2O – 1.05, F – 8.53, $-\text{O} = \text{F}_2$ – 3.59, сумма – 100.46. Упрощенная формула $\text{NaFe}^{2+}(\text{REE}_7\text{Ca}_5\text{Y}_3)(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})(\text{BO}_3)\text{F}_{11}$. Минерал назван в честь Татьяны Михайловны Лаптевой (1928 – 2011), советского геолога-петрографа, внесшей большой вклад в геологическую изученность Средней Азии.

В статье 3 таблицы, 4 рисунка, список литературы из 13 названий.

Ключевые слова: лаптевит-(Ce), группа виканита, Дарай-Пиёзский щелочной массив.

Лаптевит-(Ce) встречается в глыбе фенитизированной породы, размером $1 \times 0.8 \times 0.4$ метра, из Верхнего Дарай-Пиёзского щелочного массива, найденной в моренных отложениях ледника Дарай-Пиёз (Таджикистан). Массив Дарай-Пиёз имеет изометричную форму и расположен на стыке Зеравшанского, Алайского и Туркестанского хребтов в верховьях одноименной реки. Значительная часть массива перекрыта ледником, а коренные выходы массива труднодоступны. В связи с этим основные исследования минералогии и петрографии верхнего Дарай-Пиёзского щелочного массива выполнены на материале из моренных отложений. Геологии и минера-

логии этого щелочного массива посвящено большое количество публикаций (Москвин, 1937; Дусматов и др., 1963; Дусматов, 1968; 1971; Семенов и др., 1963; Belakowski, 1991; и др.). Минералогия Верхнего Дарай-Пиёзского щелочного массива, как и большинства щелочных массивов, крайне разнообразна и во многом уникальна. Как правило, почти все щелочные массивы имеют свои характерные геохимические отличительные черты. Для Верхнего Дарай-Пиёзского щелочного массива одной из геохимических особенностей является большое видовое разнообразие минералов В и REE: стиллуэлит-(Ce), таджикит-(Ce), таджикит-(Y), капицаит-(Y),

¹ – Рассмотрен и рекомендован к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов РМО и утвержден Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (КНМНК ММА) 2 декабря 2011 г.

калькибеборосилит-(Y), византиевит. При этом, почти все эти минералы, кроме стиллуэллита-(Ce), впервые встречены и описаны из пород данного массива.

Порода лейкократового облика, в которой был обнаружен лаптевит-(Ce), имеет кальцит-бафертисит-эгирин-микроклиновый состав, неравномернозернистую структуру, от мелко- до крупнозернистой, часто пятнистую текстуру. Пятнистая текстура обусловлена неравномерным распределением скопленных микроклина, эгирина, кальцита, бафертисита, кварца, калькибеборосилита-(Y), стиллуэллита-(Ce) и лаптевита-(Ce). Микроклин представлен крупными идиоморфными зернами размером 1–6 см, сероватого, желтовато-белого цвета. Эгирин образует призматические, часто деформированные, длиною до 3 см, черные кристаллы. Кварц присутствует в виде льдистых, полупрозрачных, светло-серых, крупнозернистых агрегатов, размером 2–3 см. Одной из характерных черт этой ассоциации является наличие крупнопластинчатых выделений коричнево-красного бафертисита, тетрагональных, плохо образованных кристаллов калькибеборосилита-(Y), до 2 см, темно-серого цвета, и изометричных выделений стиллуэллита-(Ce), до 3 см, без видимой огранки, светло-розового цвета. Второстепенными минералами являются флюорит, полилитионит, альбит. Чаще всего лаптевит-(Ce) сростается с бафертиситом, калькибеборосилитом-(Y) и стиллуэллитом-(Ce).

Физические свойства

Лаптевит-(Ce) образует плохо оформленные кристаллы до 1 см (рис. 1), центральная часть которых, как правило, метамиктна. Цвет минерала коричневый, при этом цен-

тральная часть кристаллов имеет желто-коричневый цвет. В тонких сколах прозрачный. Блеск стеклянный, часто жирный, излом неровный, спайности нет. Твердость по шкале Мооса — 4–4.5. Твердость микродавления 453 кгс/мм² (среднее значение по 15 измерениям при разбросе единичных замеров от 443 до 485 кгс/мм²). Измерения проводились на приборе ПМТ-3, градуированном по NaCl, при нагрузке 50 г. Измеренная плотность — 4.61(2) г/см³, определена уравниванием зёрен в водном растворе жидкости Клеричи. Вычисленная плотность — 4.619 г/см³. Показатели преломления лаптевита-(Ce) измерены иммерсионным методом (при 589 нм): $n_o = 1.741(3)$, $n_e = 1.720(3)$, минерал оптически отрицательный, одноосный. Лаптевит-(Ce) нерастворим в воде, но слабо растворим в HCl (1:1) при комнатной температуре. Инфракрасный спектр получен на ИК-Фурье спектрометре Avatar (Thermo Nicolet) из микротаблетки минерала в бромиде калия (рис. 2). Лаптевит-(Ce) имеет следующие наиболее сильные полосы поглощения (см⁻¹): 1623, 1437, 1300, 945, 930, 877 пл, 758, 637, 570, 531.

Химический состав

Химический состав лаптевита-(Ce) изучался в двух лабораториях: Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва и кафедры наук о Земле Университета Манитоба, Виннипег, Канада. В основном изучение состава проводилось электронно-зондовым методом, как на волнодисперсионных, так и на энергодисперсионных спектрометрах. Было изучено 8 зерен лаптевита-(Ce) и получено 42 анализа. В Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана анализы выполнены на электронном микрозонде JCXA-733 фирмы JEOL,

Рис. 1. Кристалл лаптевита-(Ce) коричневого цвета и выделения бафертисита в кальците с микроклином. Косое освещение. Ширина поля зрения 5 см.

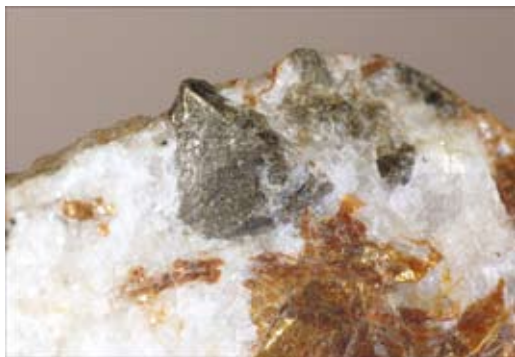
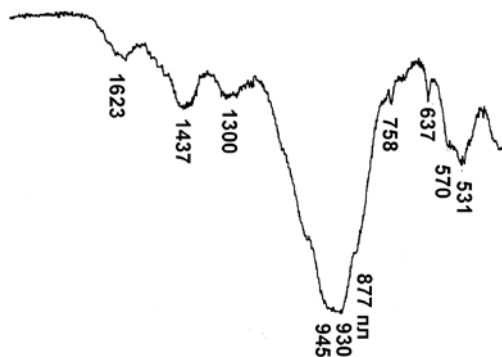


Рис. 2. ИК-спектр наливкинита. Препарат — таблетка минерала с KBr. Спектр получен на ИК-Фурье спектрометре Avatar (Thermo Nicolet).



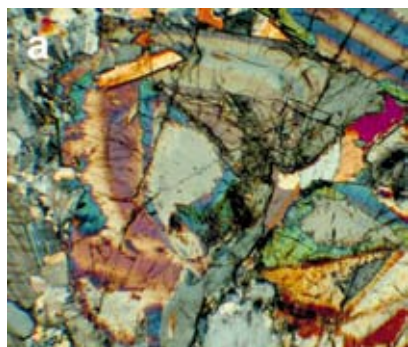


Рис. 3. Срастание зональных кристаллов лаптевита-(Ce) с альбитом и кальцитом: а — изображение прозрачно-полированного шлифа в проходящем свете (николи скрещены); б — тот же фрагмент в режиме контраста по среднему атомному номеру (BSE). Ширина поля зрения 2,6 мм.

Таблица 1. Химический состав лаптевита-(Ce) (мас. %)

Компонент	1		2
	Среднее	Пределы вариаций	
SiO ₂	15.67	14.54–15.98	15.58
TiO ₂	0.28	0.18–0.53	0.30
ZrO ₂	0.01	0.00–0.05	0.10
ThO ₂	0.38	0.17–0.56	0.43
UO ₂	0.65	0.44–0.71	0.70
FeO	1.48	1.31–1.66	1.59
CaO	11.64	11.12–12.01	11.83
MnO	1.02	0.82–1.07	0.84
SrO	0.95	0.81–1.60	1.46
Y ₂ O ₃	11.30	11.07–11.73	11.21
La ₂ O ₃	14.51	13.20–15.01	13.86
Ce ₂ O ₃	16.93	16.20–17.92	17.58
Pr ₂ O ₃	2.76	2.43–3.97	2.90
Nd ₂ O ₃	5.16	4.37–5.58	5.10
Sm ₂ O ₃	0.98	0.77–1.26	1.03
Eu ₂ O ₃	0.10	0.04–0.34	0.16
Gd ₂ O ₃	1.56	1.19–1.69	1.40
Tb ₂ O ₃	0.29	0.16–0.25	0.21
Dy ₂ O ₃	1.37	1.24–1.67	1.47
Tm ₂ O ₃	0.17	0.09–0.26	0.13
Yb ₂ O ₃	0.28	0.20–0.39	0.35
B ₂ O ₃	4.98	3.79–5.40	4.71
P ₂ O ₅	1.51	1.35–1.58	1.47
Na ₂ O	1.05	0.86–1.26	0.98
F	8.53	8.05–9.47	8.44
Сумма	103.56		103.83
–O=F ₂	–3.59		–3.55

Примечание. 1 — среднее и пределы вариации по 42 микрозондовым анализам 8 зерен выполнены с помощью энергодисперсионного спектрометра INCA, смонтированного на JCSA-733, U=20 кВ, I=2 нА, диаметр зонда — 1 мкм, 10 анализов выполнено на волновых спектрометрах Cameca SX-100, U=15 кВ, I=20 нА, диаметр зонда — 5 мкм, 3 анализа по определению B₂O₃ — методом ICP OES, аналитики А.А. Агаханов, Л.А. Паутов, Panseok Yang. 2 — анализ зерна, на котором была решена кристаллическая структура минерала (из того же образца). Основные компоненты определены на электронном микрозонде Cameca SX-100 U=15 кВ, I=20 нА, диаметр зонда — 5 мкм (Uvarova et al., 2013).

с помощью (Si-Li) энергодисперсионного спектрометра и системой анализа INCA, при ускоряющем напряжении — 20 кВ, токе зонда — 2 нА и диаметре зонда — 1 мкм. Использовались следующие стандарты: микролин USNM 143966 (Si), анортит USNM 137041 (Ca), ильменит USNM 96189 (Ti, Fe), Mn (Mn), SrTiO₃ (Sr), YPO₄ (Y), LaPO₄ (La, P), CePO₄ (Ce), PrPO₄ (Pr), NdPO₄ (Nd), SmPO₄ (Sm), EuPO₄ (Eu), GdPO₄ (Gd), TbPO₄ (Tb), DyPO₄ (Dy), TmPO₄ (Tm), YbPO₄ (Yb), омфациит USNM 110607 (Na), MgF₂ (F). В Университете Манитобы анализы были выполнены на электронном микрозонде Cameca SX-100, с помощью волнодисперсионных спектрометров, при ускоряющем напряжении — 15 кВ, токе зонда — 20 нА и диаметре зонда — 5 мкм. В качестве стандартов использовались диопсид (Si, Ca), титанит (Ti), циркон (Zr), ThO₂ (Th), UO₂ (U), пироп (Fe), спессартин (Mn), стронцианит (Sr), YPO₄ (Y), LaPO₄ (La, P), CePO₄ (Ce), PrPO₄ (Pr), NdPO₄ (Nd), SmPO₄ (Sm), EuPO₄ (Eu), GdPO₄ (Gd), TbPO₄ (Tb), DyPO₄ (Dy), TmPO₄ (Tm), YbPO₄ (Yb), датолит (B), жадеит (Na), флюорит (F).

Кроме этого, для определения содержания В, Li, Be и группы REE было выполнено три анализа методом ICP-OES. Для этого зерна лаптевита-(Ce), предварительно проверенные по составу с помощью ЭДС, разлагались в полипропиленовых флаконах в 40% HF с добавлением HNO₃ и упаривались до влажных солей. После этого к пробе повторно добавлялась HNO₃ и упаривалась до сухого остатка для полного удаления всех фторидов. Далее сухой остаток разводился в 2% HNO₃, и полученный раствор анализировался на приборе VISTA Pro фирмы Varian. Концентрация Be, Li, измеренная методом ICP-OES, в новом минерале не превышает следовые содержания. Полученные данные о содержании В и REE методом ICP-OES хорошо коррелируют с данными, полученными электроннозондовым методом.

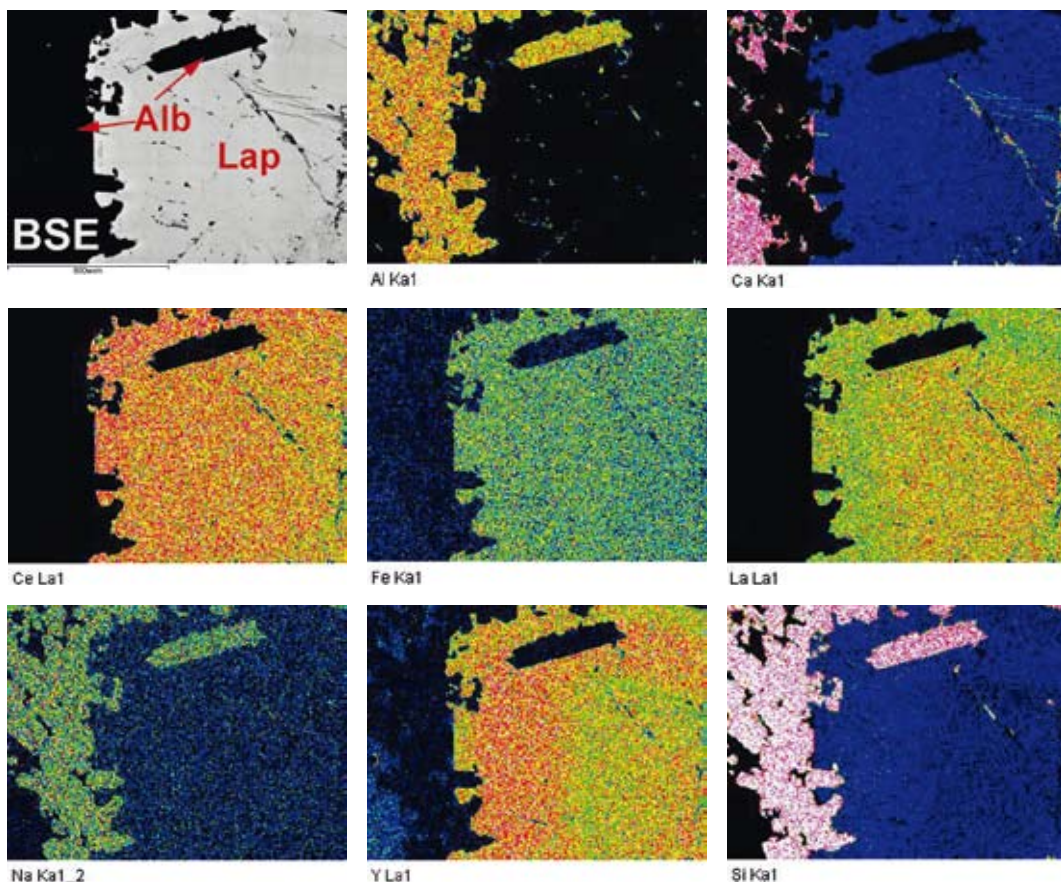


Рис. 4. Фрагмент кристалла лаптевидита-(Ce) (Lap) в сростании с альбитом (Alb). Изображение в режиме контраста по среднему атомному номеру (BSE) и рентгеновские карты распределения указанных элементов.

Кристаллы лаптевидита-(Ce) часто трещиноватые с вростками других фаз (рис. 3, 4) и имеют хорошо проявленную зональность, в основном связанную с изоморфными замещениями La, Ce и Y (рис. 4).

Усредненный состав проанализированных электронно-зондовым и ICP-OES методами зерен (табл. 1, ан. 1) пересчитывается, исходя из суммы анионов (O + F) = 48 а.ф., на эмпирическую формулу $(\text{Na}_{0.88}\text{REE}_{0.12})_{\Sigma 1.00}(\text{Fe}_{0.54}\text{Mn}_{0.37}\text{Ti}_{0.09})_{\Sigma 1.00}(\text{REE}_{6.79}\text{Ca}_{5.40}\text{Y}_{2.60}\text{Sr}_{0.24}\text{U}_{0.06}\text{Th}_{0.04})_{\Sigma 15.13}(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_{2.78}\text{B}_{2.68}\text{P}_{0.55}\text{O}_{17.33}\text{F}_{0.67})(\text{B}_{1.05}\text{O}_3)\text{F}_{11}$. При этом $\text{REE} = \text{Ce}_{2.68}\text{La}_{2.32}\text{Nd}_{0.80}\text{Pr}_{0.44}\text{Gd}_{0.22}\text{Dy}_{0.19}\text{Sm}_{0.15}\text{Yb}_{0.04}\text{Tb}_{0.04}\text{Tm}_{0.02}\text{Eu}_{0.01}$.

Упрощенная формула лаптевидита-(Ce) $\text{NaFe}^{2+}(\text{REE}_7\text{Ca}_5\text{Y}_3)(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})(\text{BO}_3)\text{F}_{11}$. Анализ фрагмента зерна, на котором была изучена кристаллическая структура минерала, также приведен в таблице 1 (ан. 2). Индекс сходимости свойств $(1 - K_p/K_c) = 0.004$, что соответствует его высшей степени (superior).

Рентгеновские данные

На начальном этапе изучения нового минерала была получена рентгеновская порошкограмма данной фазы. После этого были отобраны зерна для монокристаллических исследований, но зерна оказались метамиктными. В дальнейшем из пяти образцов были выделены монофракции исследуемого минерала и сделаны попытки получить для них рентгеновские порошкограммы. К сожалению, материал этих фракций также оказался метамиктным. В связи с этим, было принято решение прокалить данный минерал. Отобранные для прокаливания фрагменты кристаллов содержали желто-коричневую, более прозрачную центральную зону и внешнюю, более темную и трещиноватую зону. Состав обеих зон в отобранных обломках кристаллов был проверен с помощью ЭДС анализа и оказался идентичным. Прокалка

Таблица 2. Результаты расчета рентгенограммы лаптевита-(Ce)

Измеренная		Расчетная		hkl
I	d, Å	I	d, Å	
5	9.24	7	9.216	0 0 3
				0 1 2
19	7.70	17	7.755	1 -1 2
				-1 0 2
2	5.38	3	5.394	1 1 0
				-2 1 0
6	4.73	4	4.767	0 1 5
				1 -1 5
				2 0 2
29	4.41	38	4.428	-2 2 2
				0 -2 2
				1 0 7
4	3.62	7	3.650	-1 1 7
				2 0 5
13	3.59	5	3.579	0 2 5
				-2 2 5
7	3.53	7	3.513	-1 -1 6
4	3.48	2	3.508	2 1 1
6	3.41	3	3.427	-1 3 2
5	3.20	3	3.249	0 1 8
				2 1 4
26	3.13	37	3.149	3 -1 4
				-2 3 4
				-3 3 0
19	3.11	14	3.123	0 3 0
				3 0 0
4	3.08	11	3.081	0 0 9
				0 2 7
100	3.03	100	3.023	-2 0 7
				2 -2 7
				1 2 5
85	2.982	41	2.980	-1 3 5
				3 -2 5
				0 3 3
60	2.954	51	2.955	3 0 3
				-3 3 3
10	2.750	15	2.782	2 0 8
				-2 4 0
40	2.689	38	2.701	-4 2 0
				2 2 0
				2 1 7
13	2.610h	10	2.638	2 2 3
		2	2.593	3 1 2
6	2.553	8	2.550	3 -4 4
3	2.430	4	2.431	4 0 4
		5	2.216	0 3 9
8	2.202h	13	2.191	3 0 9
				3 -4 7
				-4 1 7
				-3 -1 7
				4 -4 5
15	2.154	9	2.155	0 4 5
				-4 0 5
3	2.142	2	2.140	3 2 1
				2 3 2
13	2.117	10	2.121	-2 5 2
				5 -3 2
Измеренная		Расчетная		hkl
I	d, Å	I	d, Å	
2	2.079	4	2.080	0 -1 13
				1 0 13
				-1 1 13
				3 2 4
11	2.049	11	2.050	-2 -3 4
				2 -5 4
				-2 -2 9
13	2.030	12	2.031	2 2 9
				-2 4 9
				4 0 7
10	2.012	6	2.012	-4 4 7
				0 -4 7
				2 3 5
8	2.003	17	2.002	3 -5 5
				-5 2 5
				4 1 3
14	1.990	16	1.994	-1 5 3
				5 -1 3
				-4 0 8
3	1.942	6	1.940	0 4 8
				4 -4 8
				-5 3 7
4	1.885	5	1.887	-3 5 7
				3 2 7
				1 4 6
8	1.869	6	1.868	4 1 6
18	1.845	23	1.855	0 3 12
				-5 2 8
13	1.822	16	1.824	3 -5 8
				2 3 8
				3 3 0
31	1.797	19	1.801	-3 6 0
				-6 3 0
				-5 5 5
21	1.770	15	1.773	5 0 5
				0 -5 5
5	1.700	8	1.698	3 2 10
				-6 4 5
7	1.683	3	1.685	4 2 5
3	1.622	3	1.624	0 2 16
8	1.598	4	1.590	0 3 15
5	1.548	4	1.548	5 1 7
8	1.540	5	1.539	2 0 17
				0 0 18
6	1.529	6	1.529	1 4 12
				3 2 13
7	1.514	4	1.513	1 5 8
				0 4 14
2	1.500	3	1.501	-7 4 4
5	1.491	2	1.491	2 4 10
				-7 5 3
14	1.477	9	1.479	5 2 3
				2 -7 3
2	1.424	2	1.425	7 -5 6

Примечание. Дифрактометр ДРОН-2, Си анод, графитовый монохроматор, скорость счетчика 1 град/мин., внутренний стандарт кварц. Аналитик А.А. Агаханов.

проводилась в трубчатой печи при 800°C в токе аргона. Центральные части кристаллов лаптевита-(Ce) превратились в белое фарфоровидное рентгеноаморфное вещество, а внешняя кайма кристаллов осталась без видимых изменений и дала рентгеновскую порошковую диаграмму, совпадающую с дифрак-

тограммой, полученной в самом начале для непрокаленного вещества. Все дальнейшие исследования проводились на прокаленном материале.

Рентгеновская порошковая диаграмма лаптевита-(Ce) (табл. 2) была получена на приборе ДРОН-2 с графитовым монохромато-

Таблица 3. Сравнительная характеристика минералов: лаптевит-(Ce), виканит-(Ce), оканоганит-(Y), хундхолменит-(Y) и прощенкоит-(Y)

Характеристика минерала	Лаптевит-(Ce)	Виканит-(Ce)	Оканоганит-(Y)	Хундхолменит-(Y)	Прощенкоит-(Y)
Формула	$\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})(\text{REE}_7\text{Ca}_5\text{Y}_3)_{15}(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})(\text{BO}_3)\text{F}_{11}$	$(\text{Ca}, \text{REE}, \text{Th})_{15}\text{Fe}^{3+}[\text{SiO}_{413}[\text{Si}_3\text{B}_3\text{O}_{18}][\text{BO}_3](\text{As}^{3+}\text{O}_4)(\text{As}^{3+}\text{O}_3)_x(\text{NaF}_3)_{1-x}\text{F}_7(\text{H}_2\text{O})_{0.2}, x=0.4$	$(\text{Na}, \text{Ca})_3(\text{Y}, \text{Ce})_{12}\text{B}_2\text{Si}_6\text{O}_{27}\text{F}_{14}$	$(\text{Y}, \text{REE}, \text{Ca}, \text{Na})_{15}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Ca}_x\text{As}^{3+}_{1-x}(\text{Si}, \text{As}^{5+})\text{Si}_6\text{B}_3(\text{O}, \text{F})_{48}$	$(\text{Y}, \text{REE}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{Mn})_{15}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{Ca}(\text{P}, \text{Si})\text{Si}_6\text{B}_3\text{O}_{34}\text{F}_{14}$
Пространственная группа	$R3m$	$R3m$	$R3m$	$R3m$	$R3m$
$a, \text{\AA}$	10.804(2)	10.8112(2)	10.7108(5)	10.675(6)	10.7527(7)
c	27.726(6)	27.3296(12)	27.0398(11)	27.02(2)	27.4002(18)
Z	3	3	3	3	3
Сильные линии рентгеновской порошковой граммы, $D_{\text{изм.}}(I)$	7.70 (19)	7.70 (50)			
	4.41 (29)	4.42 (50)	4.38(41)	4.38 (33)	4.441 (36)
	3.13 (26)	3.13 (50)	3.11(48)	3.114 (43)	3.144 (77)
	3.03 (100)	2.993 (100)	2.970(100)	2.972 (100)	3.028 (45)
	2.982 (85)	2.950 (70)	2.939(95)	2.947 (76)	2.968 (100)
	2.954 (60)	2.698 (50)	2.926(50)	2.924 (66)	
	2.689 (40)	1.839 (50)	2.676(32)	2.681 (36)	
	1.979 (31)	1.802(50)	1.978(35)	1.978 (37)	
	1.770 (21)		1.822(32)		
			1.784(43)		1.782 (32)
Цвет	Коричневый, желто-коричневый	Желто-зеленый	Рыжевато-коричневый, бледно-розовый	Бледно-серовато-коричневый до серовато-коричневого	
Блеск	Стекланный	Стекланный		Стекланный, алмазный	
$D_{\text{изм.}}, \text{г/см}^3$	4.61(2)	> 4.2	4.35(4)	> 4.2	4.72
$D_{\text{выч.}}, \text{г/см}^3$	4.619	4.73	4.96	5.206	4.955
Твердость (Мооса)	4.5-5	5-6	4	5-6	Около 5
Оптические свойства (оптический знак)	Одноосный (–)	Одноосный (–)	Одноосный (–)	Одноосный (–)	Одноосный (–)
n_o	1.741(3)	1.757(2)	1.753(2)	1.7578(5)	1.734(2)
n_e	1.720(3)	1.722(2)	1.740(2)	1.7487(5)	1.728(2)
	Наши данные	Maras <i>et al.</i> , 1995; Ballirano <i>et al.</i> , 1991	Boggs, 1980	Raade <i>et al.</i> , 2008	Raade <i>et al.</i> , 2008

ром на $\text{CuK}\alpha$ излучении. В качестве внутреннего стандарта применялся кварц. Порошковаяграмма минерала хорошо индицируется в параметрах гексагональной ячейки, с пространственной группой $R3m$: $a = 10.779(2)$, $c = 27.864(4)\text{\AA}$, $V = 2803.6(3)\text{\AA}^3$, $Z = 3$. Параметры элементарной ячейки и порошковаяграмма лаптевита-(Ce) весьма близки минералам группы виканита (табл. 3). Структура лаптевита была уточнена по 924 независимым отражениям с R-фактором = 3.87%. Минерал гексагональный, с пространственной группой $R3m$, $Z = 3$. Параметры ячейки: $a = 10.804(2)$, $c = 27.726(6)\text{\AA}$, $V = 2802.6(2)\text{\AA}^3$ (дифрактометр Bruker P4 с CCD детектором, $\text{MoK}\alpha$ излучение) (Uvarova *et al.*, 2013).

Структура нового минерала несет основные черты, присущие структурам минералов группы виканита (Ballirano *et al.*, 2002; Bioiocchi *et al.*, 2004; Raade *et al.*, 2007; 2008; Uvarova *et al.*, 2013). Основными элементами этих структур являются слои A ($z \sim 0$), B ($z \sim 0.13$) и C ($z \sim 0.23$), объединенные в сложный гетерополиэдрический каркас. Структура нового минерала включает в себе 4 тетраэдрические позиции T1-T4, заселенные Si, B, P и координированные кислородом, одну треугольную позицию T5, заселенную B и координированную кислородом и фтором, октаэдрическую позицию M6 = $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Ti})$, координированную атомами кислорода, и 6 позиций с координацией от 7 до 10: позиции M1 – M5, заселенные Ca

и REE, и M7, заселенная Na и REE. Позиции M1 – M6 координированы преимущественно кислородом, в меньшей степени фтором.

В слое А содержатся тетраэдры T1 и T4, которые объединены в характерный для минералов группы комплексный анион, имеющий в лаптевите-(Ce) состав $(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})^{-17}$, в отличие от остальных минералов группы, у которых состав этого аниона $(\text{Si}_3\text{B}_3\text{O}_{18})^{-15}$. Другой строительной единицей слоя А является кластер, образованный октаэдром M6, соединенный вершинами с кремнекислородными тетраэдрами (T1, T2) и полиэдром $^{[9]}\text{M}(1) = (\text{REE}, \text{Ca})$.

Слой В в лаптевите состоит из изолированных Si-O тетраэдров T3, треугольников $(\text{B}_{0.84}\text{O}_{0.16})$, а также полиэдров $^{[10]}\text{M}2 = (\text{REE}, \text{Ca})$ и $^{[8]}\text{M}4 = (\text{Ca}, \text{REE}, \text{U}, \text{Th})$. Борные треугольные группировки присутствуют еще в одном минерале группы — виканите-(Ce). В остальных минералах эта позиция вакантна.

Слой С в минерале образован полиэдрами M3 = (Ca, Sr, REE), M5 = (Y, REE) и M7 = (Na, REE). Тетраэдры и полиэдры всех слоев, соединяясь друг с другом, формируют единую каркасную постройку. Структурная формула лаптевита-(Ce) имеет следующий вид (при пересчете на O + F = 48 а.ф.): $(\text{Fe}_{0.58}\text{Mn}_{0.31}\text{Ti}_{0.10}\text{Zr}_{0.02})_{\Sigma 1.01}[(\text{Ce}_{2.80}\text{La}_{2.22}\text{Nd}_{0.79}\text{Pr}_{0.46}\text{Dy}_{0.21}\text{Gd}_{0.20}\text{Sm}_{0.15}\text{Yb}_{0.05}\text{Tb}_{0.03}\text{Eu}_{0.02}\text{Tm}_{0.02})_{\Sigma 6.95}\text{Ca}_{5.52}\text{Y}_{2.60}\text{Na}_{0.83}\text{Sr}_{0.37}\text{U}_{0.07}\text{Th}_{0.04}]_{\Sigma 16.38}\text{Si}_{6.78}\text{B}_{3.54}\text{P}_{0.54}\text{O}_{36.39}\text{F}_{11.61}$, идеальная формула $\text{NaFe}^{2+}(\text{REE}_7\text{Ca}_5\text{Y}_3)(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})(\text{BO}_3)\text{F}_{11}$.

Заселенность большинства из 14 позиций в структурах лаптевита-(Ce) и других минералов из группы виканита одинакова. Поэтому трудно сказать, какой из минералов группы имеет наибольшее сходство или различие с лаптевитом-(Ce) (Uvarova *et al.*, 2013). Структурно лаптевит-(Ce) наиболее близок к виканиту-(Ce), благодаря присутствию в них борных треугольников, которые отсутствуют в других минералах группы, хотя при этом между виканитом-(Ce) и лаптевитом-(Ce) наблюдаются наибольшие отличия в составе: в виканите-(Ce) полиэдр M5 заселен торием, тетраэдр T3 — мышьяком, а анионная позиция, заселенная в лаптевите-(Ce) фтором, вообще вакантна (Ballirano *et al.*, 2002).

Образец с лаптевитом-(Ce) хранится в Минералогическом музее имени А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва), регистрационный номер 4195/1.

Благодарности

Авторы благодарят А.Р. Файзиева и Р.У. Сабирову за помощь в полевых работах на массиве Дарай-Пиёз, а также И.В. Пекова и Д.И. Белаковского за ценные советы и помощь в написании данной работы.

Литература

- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород // Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе: Илим. **1968**. С. 134 – 135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореферат кандидатской диссертации. М. **1971**. 18 с.
- Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Семенов Е.И. Первые находки стилвеллита в СССР // Докл. АН СССР. **1963**. Т. 153. № 4. С. 913 – 915.
- Москвин А.В. География и геология Восточного Каратегина. Таджикско-Памирская экспедиция 1935 года. М.-Л.: АН СССР. **1937**. С. 682 – 739.
- Семенов Е.И., Дусматов В.Д., Самсонова Н.С. Иттрий-бериллиевые минералы группы датолита // Кристаллография. **1963**. Т. 7. № 4. С. 677 – 679.
- Ballirano P., Callegari A., Caucia F., Maras A., Mazzi F., Ungaretti L. The crystal structure of vicanite-(Ce), a borosilicate showing an unusual $(\text{Si}_3\text{B}_3\text{O}_{18})^{15-}$ polyanion // Amer. Mineral. **2002**. Vol. 87. N. 8 – 9. P. 1139 – 1143.
- Belakowski D.I. Die seltenen Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans // Lapis. **1991**. Jg. 16. N. 12. P. 42 – 48 (на нем. яз.)
- Boggs R. Okanoganite, a new rare-earth borofluorosilicate from the Golden Horn batholith, Okanogan County, Washington // Amer. Mineral. **1980**. Vol. 65. N. 11 – 12. P. 1138 – 1142.
- Boiocchi M., Callegari A., Ottolini L., Maras A. The chemistry and crystal structure of okanoganite-(Y) and comparison with vicanite-(Ce) // Amer. Mineral. **2004**. Vol. 89. N. 10. P. 1540 – 1545.
- Maras A., Parodi G.G., della Ventura G., Ohnenstetter D. Vicanite-(Ce): A new Ca-Th-REE borosilicate from the Vico volcanic district (Latium, Italy) // Eur. J. of Mineral. **1995**. N. 7. P. 439 – 446.
- Raade G., Grice J.D., Erambert M., Kristiansson P., Witzke T. Proshchenkioite-(Y) from Russia — a new mineral species in the vicanite group: descriptive data and crystal structure // Mineral. Mag. **2008**. Vol. 72. P. 1071 – 1082.
- Raade G., Johnsen O., Erambert M., Petersen O.V. Hundholmenite-(Y) from Norway — a new mineral species in the vicanite group: descriptive data and crystal structure // Mineral. Mag. **2007**. Vol. 71. P. 179 – 192.
- Uvarova Y.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Agakhanov A.A., Karpenko V.Y., Pautov L.A. The crystal structure of laptevite-(Ce), $\text{NaFe}^{2+}(\text{REE}_7\text{Ca}_5\text{Y}_3)(\text{SiO}_4)_4(\text{Si}_3\text{B}_2\text{PO}_{18})(\text{BO}_3)\text{F}_{11}$, a new mineral species from the Darai-Pioz alkaline massif, Northern Tajikistan // Zeitschrift für Kristallographie. **2013**. B. 228 (10). (в печати).