

СЕНКЕВИЧИТ* CsKNaCa₂TiO[Si₇O₁₈(OH)] – НОВЫЙ МИНЕРАЛ

А.А. Агаханов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, atali@fmm.ru

Л.А. Паутов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, pla@fmm.ru

Ю.А. Уварова

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

Е.В. Соколова

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

Ф. Хавторн

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

В.Ю. Карпенко

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, pla@fmm.ru

Новый цезиевый минерал – сенкевичит – найден на щелочном массиве Дарай-Пиёз** (Таджикистан). Образует сростки удлинённых дощатых зерен, размером до 1 мм, в кварц-пектолитовом агрегате из «кварцевых глыб» в породе состоящей в основном из гранулированного льдистого кварца. Цвет белый, бесцветный. Прозрачный. Блеск стеклянный. Твердость по Моосу – 5.5–6. Пл. изм. 3.12 г/см³. Оптически двуосный, положительный, $n_p = 1.616(2)$, $n_m = 1.645(2)$, $n_g = 1.683(2)$. Триклинной сингонии, пр. группа: *P*-1, $a = 10.4191(4)\text{Å}$; $b = 12.2408(5)\text{Å}$; $c = 7.0569(3)\text{Å}$; $V = 887.8(1)\text{Å}^3$; $Z = 2$. Химический состав (микрозондовый анализ. H₂O – расчетная): SiO₂ – 50.48, TiO₂ – 8.94, Nb₂O₅ – 0.64, FeO – 0.50, MnO – 2.59, CaO – 11.09, Na₂O – 3.73, K₂O – 6.13, Cs₂O – 15.28, H₂O (расч.) – 1.09, сумма – 100.47. Эмпирическая формула минерала Cs_{0.90}K_{1.08}Na_{1.00}(Ca_{1.65}Mn_{0.30}Fe_{0.06})_{2.01}(Ti_{0.93}Nb_{0.04})_{0.97}O_{0.97}[Si₇O₁₈(OH)]. Упрощенная формула CsKNaCa₂TiO[Si₇O₁₈(OH)]. Сильные линии порошкограммы (*d*, *I*): 4.08 (13), 3.33 (11), 3.25(25), 3.14 (21), 3.06 (100), 2.959 (20), 2.038 (17). Кристаллическая структура решена с R = 4.5%. Препарат с образцом хранится в Минералогическом музее им А.Е. Ферсмана РАН (г.Москва, Россия).

В статье 3 таблицы, 4 рисунка и список литературы из 7 названий

Сенкевичит – новый представитель цезиевых природных силикатов с формулой CsKNaCa₂TiO[Si₇O₁₈(OH)] – найден на леднике Дарай-Пиёз (Таджикистан) в моренных свалах одноименного щелочного массива. Минерал встречен в глыбе гранулированного кварца в ассоциации с эгирином, пектолитом, стиллуэлитом, полилитионитом, лейкофенином, нептунитом, баратовитом, флюоритом, пековитом, зеравшанитом и др. Сенкевичит (senkevichite) назван в честь Юрия Алексеевича Сенкевича (1937 – 2003), выдающегося русского путешественника, военного врача, исследователя поведения человеческого организма в экстремальных условиях, известного телеведущего и журналиста. Сенкевичит является Cs аналогом тинаксита (Рогов, 1965).

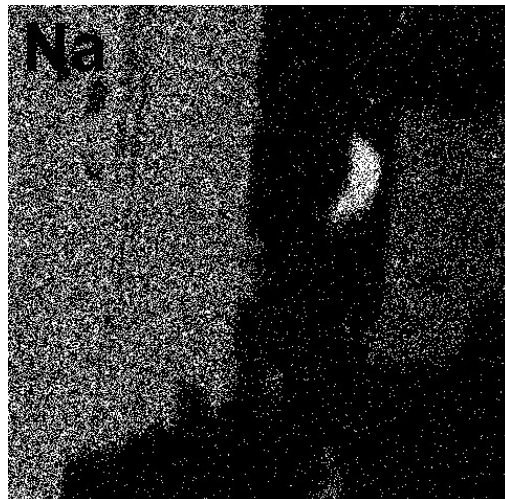
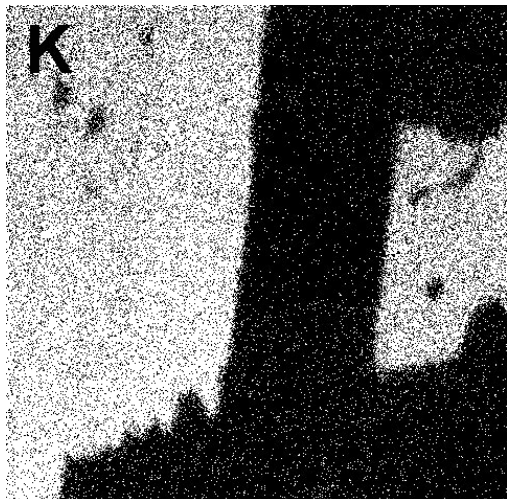
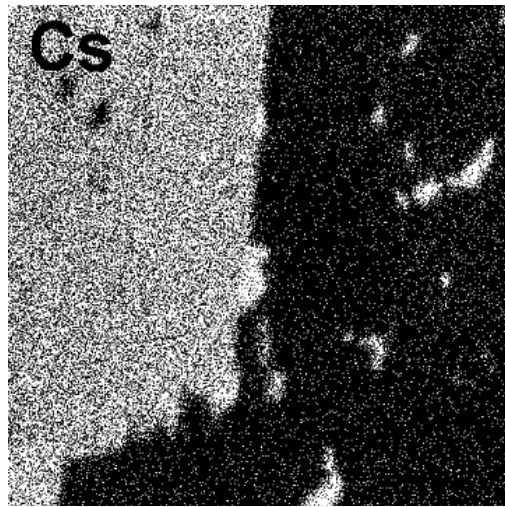
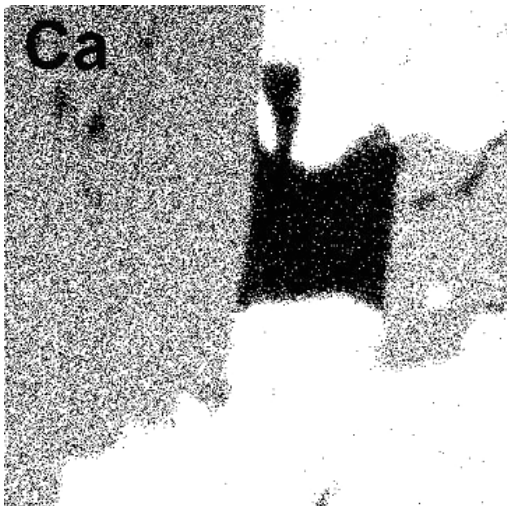
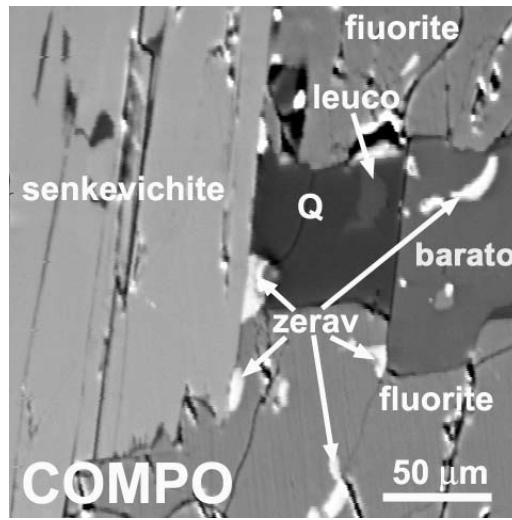
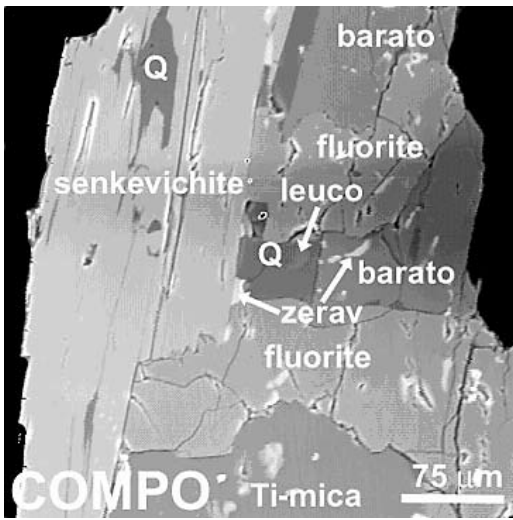
Место находки и ассоциация

Сенкевичит обнаружен в образцах пород Верхнего Дарай-Пиёзского щелочного массива, собранных на морене ледника Дарай-Пиёз (Гармский район, Центральный Таджикистан). Геологии и минералогии массива посвящен ряд публикаций (Дусматов, 1968,

1971; Belakovskiy, 1991 и др.). Сам щелочной массив Дарай-Пиёз трудно доступен из-за сложного горного рельефа, поэтому основная часть минералогических исследований проводилась на материале, собранном в моренных отложениях ледника, прорезающего массив. Одной из особенностей Дарай-Пиёзского щелочного массива является разнообразие в нем собственных минералов цезия. На сегодняшний день в породах этого массива открыты следующие минералы цезия: цезий-куплетскит, телюшенкоит, зеравшанит, соколоваит и сенкевичит. Вероятно, при дальнейшем изучении минералогии массива список цезиевых минералов будет пополняться. Сенкевичит встречен в «кварцевой глыбе» в породе, сложенной преимущественно гранулированным кварцем. Подробно об этой необычной породе написано ранее (Паутов, 2004). Минерал найден в полиминеральном агрегате буро-коричневого цвета, который иногда встречается в «кварцевых глыбах». Агрегат сложен преимущественно пектолитом с подчиненным количеством кварца. Кроме этих минералов в агрегате в акцессорных количествах присутствуют эгирин, флю-

* Рассмотрен и рекомендован к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов РМО и утверждён Комиссией по новым минералам и названиям минералов ММА 13 июля 2004 г.

** Название ущелья, где расположен одноименный щелочной массив, переводится с таджикского языка как луковый сай и имеет транскрипцию на русский язык – дарай-пиёз. В первых публикациях географическое название щелочного массива было также – Дарай-Пиёз. В дальнейшем авторы будут придерживаться этого же правописания



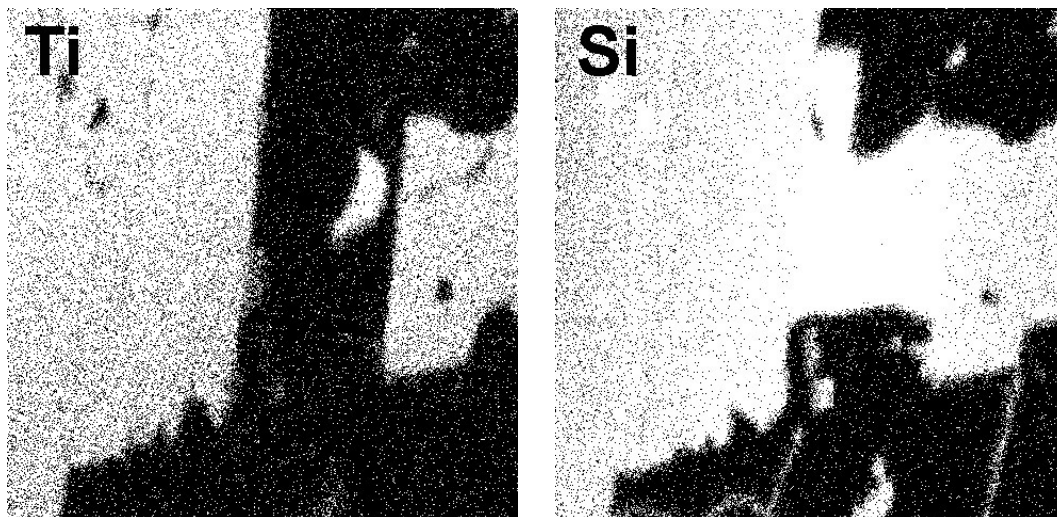


Рис. 1. Срастание сенкевичита с флюоритом (fluorite), кварцем (Q), зеравшанитом (zerav), лейкофенитом (leuco), баратовитом (barato) и с, предположительно, новым минералом - титановой слюдой (Ti-tica). Изображение в режиме СМРО и характеристическом излучении указанных элементов

орит, полилитионит, нептунит, гиалотекит, баратовит крайне редко – соколоваит и пековит. Сенкевичит в основном срастается с нептунитом, баратовитом, кварцем, пектолитом, лейкофенитом, флюоритом и с предположительно новой титановой слюдой (рис. 1).

Физические свойства

Сенкевичит – бесцветный, прозрачный минерал с сильным стеклянным блеском. Из-за трещин часто выглядит белым. Минерал образует сростки удлинённых дощатых зерен, размером до 1 мм. Твердость по шкале Мооса – 5.5–6. Твердость микровдавливания 650 кг/мм² (среднее значение по 20 измерениям при разбросе единичных замеров от 611 до 708 кг/мм²). Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г, градуированном по NaCl. Минерал хрупкий. Плотность минерала определялась уравниванием зерен в растворе Клеричи. Измеренная плотность минерала – 3.12(2) г/см³, вычисленная – 3.13 г/см³. Сенкевичит оптически положительный, двусный. Показатели преломления измерены иммерсионным методом (при 589 нм): $n_p = 1.616(2)$, $n_m = 1.645(2)$, $n_g = 1.683(2)$. Измеренный на Федоровском столике угол $2V = 85(2)^\circ$, вычисленный – 84° . Дисперсия сильная $g < v$. Минерал не растворим в воде и в HCl (1:1). Инфракрасный спектр сенкевичита, полученный на Specord-75IR (препарат – таблетка минерала с KBr) близок к ИК-спектру тинаксита (рис. 2), характеризуется полосами поглощения: 3450, 3380, 1262(пл), 1092, 1065,

1035, 965, 880, 780, 718(пл), 703, 678, 652, 638, 541, 508, 480, 467 см⁻¹.

Химический состав

Химический состав сенкевичита определялся на электронном микрозонде JСХА-50А фирмы JEOL, укомплектованном энергодисперсионным спектрометром и тремя волновыми спектрометрами. Анализы проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ на энергодисперсионном спектрометре при токе зонда 20 нА. В качестве стандартов использовались микроклин USNM143966 (Si, K), синтетический жадеит $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ (Na), синтетический $\text{CsTb}(\text{PO}_3)_4$ (Cs), ильменит USNM 96189 (Ti). Из-за малого количества материала воду прямым методом определить не удалось, поэтому ее содержание рассчитывалось. Расчет концентрации проводился по программе ZAF-коррекции. Гомогенность зерен проверялась с использованием волновых спектрометров. Проанализировано 6 зерен. Усредненный состав проанализированных зерен (табл. 1) пересчитывается при Si = 7 на эмпирическую формулу $\text{Cs}_{0.90}\text{K}_{1.08}\text{Na}_{1.00}(\text{Ca}_{1.65}\text{Mn}_{0.30}\text{Fe}_{0.06})_{2.01}(\text{Ti}_{0.93}\text{Nb}_{0.04})_{0.97}\text{O}_{0.97}[\text{Si}_7\text{O}_{18}(\text{OH})]$. Упрощенная формула сенкевичита $\text{CsKNaCa}_2\text{TiO}[\text{Si}_7\text{O}_{18}(\text{OH})]$. Индекс сходимости свойств $(1 - K_p/K_c) = 0.017$, что соответствует высшей степени.

Рентгеновские данные

Рентгеновская порошковая диаграмма сенкевичита была получена на дифрактометре ДРОН-2 (табл. 2), она индивидуальна и хорошо инди-

Таблица 1. Химический состав сенкевичита (мас.%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Средний
SiO ₂	50.92	49.94	50.36	50.83	50.87	50.51	50.42	50.00	50.48
TiO ₂	8.52	8.90	9.41	9.14	8.83	8.73	8.71	9.28	8.94
Nb ₂ O ₅	0.61	0.59	0.39	0.46	0.59	0.89	0.85	0.72	0.64
FeO	0.36	0.73	0.47	0.61	0.48	0.45	0.45	0.43	0.50
MnO	2.47	3.40	2.29	2.60	2.26	2.67	2.66	2.39	2.59
CaO	11.20	9.82	11.04	11.81	11.24	11.62	11.60	10.38	11.09
Na ₂ O	3.70	3.84	3.56	3.75	3.78	3.90	3.58	3.74	3.73
K ₂ O	6.12	5.78	6.34	6.22	6.02	6.12	6.15	6.25	6.13
Cs ₂ O	15.68	15.51	14.77	14.78	14.92	15.56	15.57	15.46	15.28
H ₂ O _{расч.}	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
Сумма	100.57	100.80	99.83	100.45	100.23	101.05	100.32	100.39	100.47

Примечание: аналитики А.А. Агаханов и Л.А. Паутов

цируется в предложенных параметрах элементарной ячейки триклинной сингонии $a = 10.4191(4)\text{Å}$, $b = 12.2408(5)\text{Å}$, $c = 7.0569(3)\text{Å}$, $\alpha = 90.857(1)^\circ$, $\beta = 99.193(1)^\circ$, $\gamma = 91.895(1)^\circ$, $V = 887.8(1)\text{Å}^3$, пространственная группа $P-1$, $Z = 2$.

Кристаллическая структура сенкевичита была уточнена с R_1 -фактором 4.5% по 4872 независимым рефлексам (диффрактометр Bruker P4 с четырех кружном CCD-детектором, MoK α -излучение) (Sokolova *et al.*, 2005). В целом структура сенкевичита представляет собой смешанную каркасную постройку, образованную кремнекислородными цепями и лентами полиэдров Na и октаэдров Ti и Ca, в пустотах каркаса расположены атомы Cs и K. Здесь имеется семь тетраэдрических позиций Si ($\langle Si-O \rangle = 1.623\text{Å}$), причем шесть из этих тетраэдров окружены кислородом, один же — Si(7) — тремя атомами кислорода и одной (OH)-группой. Также имеется три позиции M в шестерной координации. Из них M(1) заселена преимущественно Ti с неболь-

шой долей Nb ($\langle M(1)-O \rangle = 1.985\text{Å}$), M(2) — исключительно Ca ($\langle M(2)-O \rangle = 2.382\text{Å}$), а M(3) заселена Ca с незначительной долей Fe²⁺ и Mn²⁺ ($\langle M(3)-O \rangle = 2.317\text{Å}$). Атомы щелочных металлов заселяют три позиции: имеются одна позиция полиэдра Na с семерной координацией ($\langle Na-O \rangle = 2.504\text{Å}$) и две позиции A. Из них A(1) с [12]-ой координацией занята преимущественно Cs (с небольшой долей K) ($\langle A(1)-O \rangle = 3.318\text{Å}$), A(2) [10]-ой координации занята K ($\langle A(2)-O \rangle = 2.986\text{Å}$). Кремнекислородные цепочки в сенкевичите представляют собой бесконечную цепь гибридных кластеров $[Si_7O_{18}(OH)]^9-$, составленную из двух волластонитоподобных цепочек, соединенных общим атомом кислорода и дополнительным тетраэдром Si (рис. 3а). Октаэдры M(1) и полиэдры Na, соединяются общими ребрами, образуют ленту шириной в два полиэдра, а октаэдры M(2) и M(3), сочленяясь общими ребрами, образуют другую ленту шириной также в два полиэдра (рис. 3б). Эти ленты протя-

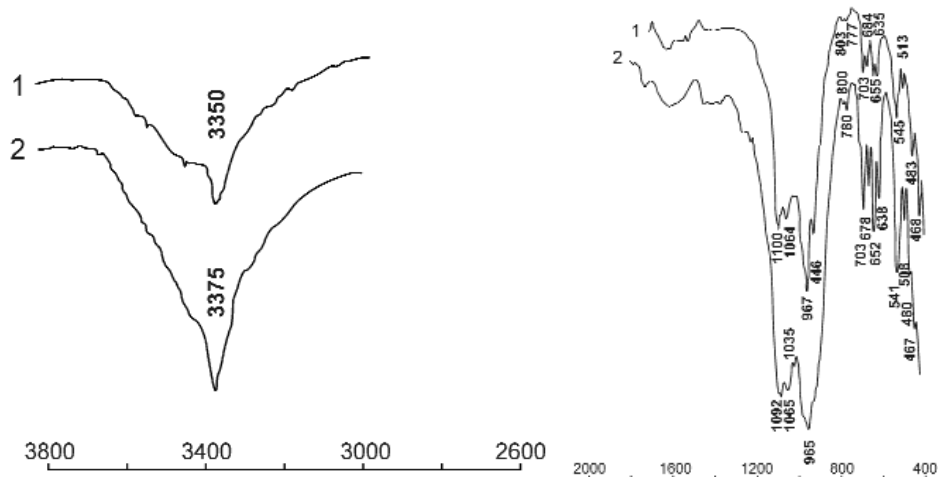
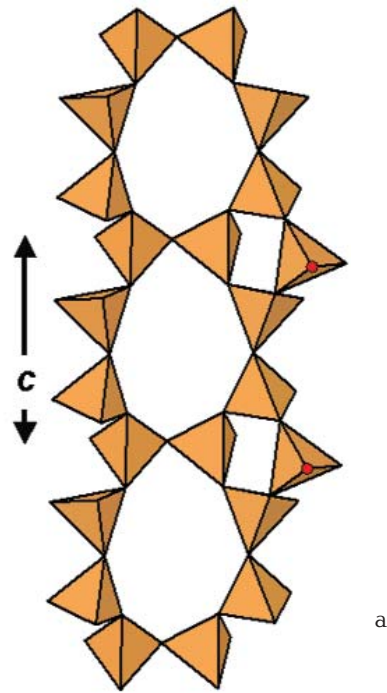


Рис. 2. ИК-спектры тинаксита (1) и сенкевичита (2). Аналитики: Н.В. Чуканов, Л.А. Паутов

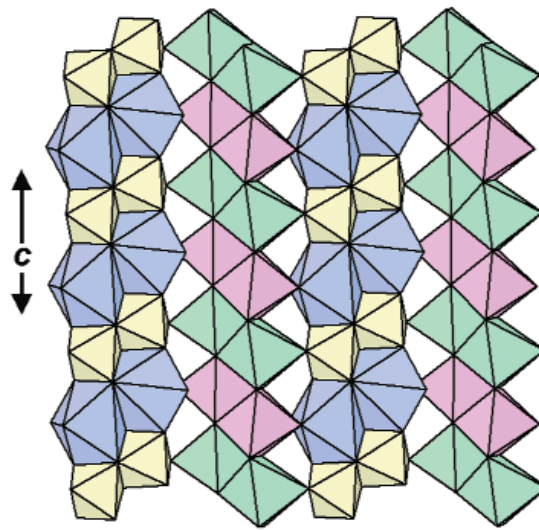
Таблица 2. Результаты расчета рентгенограммы сенкевичита

<i>I</i>	<i>d</i> _{изм.}	<i>d</i> _{выч.}	<i>hkl</i>
3	10.30	10.28	1 0 0
5	5.16	5.17	2 0 0
3	4.97	4.99	1 -1 1
3	4.67	4.68	2 1 0
		4.64	0 2 -1
4	4.49	4.49	2 0 -1
4	4.36	4.38	1 -2 -1
5	4.16	4.19	2 1 -1
13	4.08	4.08	0 3 0
7	4.01	4.01	2 -2 0
3	3.88	3.87	2 2 0
		3.85	2 0 1
3	3.60	3.63	2 1 1
3	3.54	3.55	0 3 -1
3	3.43	3.43	3 0 0
11	3.33	3.35	1 1 -2
		3.33	0 1 2
		3.33	3 -1 0
4	3.28	3.27	3 1 0
16	3.25	3.25	2 -3 0
21	3.14	3.14	2 3 0
		3.15	1 0 2
100	3.06	3.06	0 4 0
		3.07	2 0 -2
		3.05	2 -3 -1
		3.04	3 -2 0
		3.03	2 -1 -2
20	2.959	2.96	1 -4 0
7	2.904	2.903	1 4 0
5	2.673	2.675	0 3 -2
		2.671	3 -3 0
7	2.578	2.579	3 2 1
		2.578	3 3 0
3	2.453	2.454	3 -2 -2
3	2.401	2.406	3 -3 1
4	2.323	2.323	3 -4 0
4	2.241	2.242	3 4 0
17	2.038	2.039	0 6 0
7	2.014	2.014	1 -6 0
3	1.985	1.986	2 4 2
3	1.937	1.940	3 5 -1
		1.940	1 -6 -1
5	1.826	1.827	5 -2 1
		1.826	4 -4 -2
6	1.712	1.713	1 7 0
5	1.673	1.673	2 -7 0
1	1.667	1.667	0 5 3
		1.666	2 -2 -4
5	1.637	1.637	5 -4 -2
1	1.631	1.629	3 -6 -2
2	1.616	1.616	5 -2 2
3	1.602	1.602	4 4 2
3	1.542	1.542	4 -5 2
		1.542	3 3 -4
	1.520	1.520	1 -8 0
2	1.468	1.468	7 0 0
3	1.439	1.440	7 -2 0
4	1.379	1.380	6 5 0
4	1.358	1.359	0 9 0
2	1.331	1.331	2 3 -5

Примечание: дифрактометр ДРОН-2, Fe-анод, графитовый монохроматор, скорость счетчика 1 град/мин., внутренний стандарт – кварц, Аналитик А.А. Агаханов



a



b

Рис. 3. а) гибридная двоянная цепочка, $[Si_7O_{18}(OH)]^{9-}$ – один из основных составных элементов структуры сенкевичита; красным кружком показана (OH)-группа; б) слои, сложенные октаэдрами M(1), M(2), M(3) и Na-полиэдрами (M(1)-октаэдры закрашены желтым цветом, M(2) – зеленым, M(3) – розовым, Na-полиэдры – голубым)

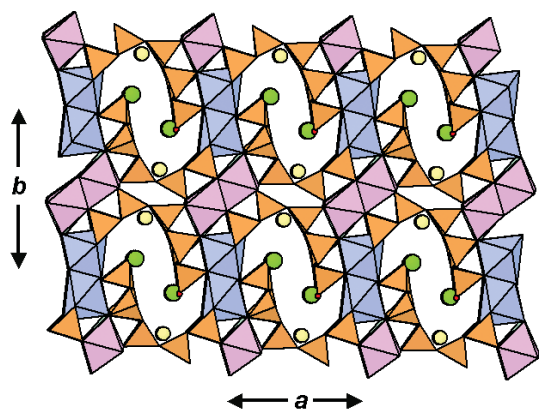


Рис. 4. Кристаллическая структура сенкевичита в проекции на (110). Si-тетраэдры закрашены оранжевым, Na-полиэдры – голубым, атомы A(1) отмечены зелеными кружками, атомы A(2) – желтыми кружками, (OH)-группы – маленькими красными кружками

Таблица 3. Сравнительная характеристика сенкевичита и тинаксита

Химическая формула	сенкевичит CsKNaCa ₂ TiO ₃ [Si ₇ O ₁₈ (OH)]	тинаксит NaK ₂ Ca ₂ TiO ₃ [Si ₇ O ₁₈ (OH)]
Пространственная группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> 1, <i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	10.4191	10.35
<i>b</i> , Å	12.2408	12.17
<i>c</i> , Å	7.0569	7.05
α , °	90.857	91.00
β , °	99.193	99.20
γ , °	91.895	92.30
<i>Z</i>	2	2
Сильные линии рентгеновской порошковой программы:		
<i>d</i> _{изм.} , Å(<i>l</i>)	5.16(5)	5.09(30)
	4.08(13)	4.04(30)
	3.33(11)	3.32(30)
	3.25(16)	3.25(80)
	3.14(21)	3.09(50)
	3.06(100)	3.03(100)
	2.959(20)	2.952(50)
	2.904(7)	2.865(50)
	2.038(17)	2.002(45)
Плотность, г/см ³ (изм.)	3.13	2.82
	двуосный (+)	двуосный (+)
<i>n</i> _p	1.616	1.593
<i>n</i> _m	1.645	1.621
<i>n</i> _g	1.683	1.666

гиваются вдоль оси *c* и, связываясь общими вершинами, образуют слои параллельно (011). Гибридные двоянные цепочки [Si₇O₁₈(OH)]⁹⁻, октаэдры *M*(2) и *M*(3) и полиэдры *Na*, соединяясь общими вершинами, образуют смешанный каркас с общим кластером [NaCa₂Ti(Si₇O₁₈(OH)O)²⁻. Последний включает в себе крупные ячейки, заполненные атомами A(1) и A(2) (рис. 4). Сенкевичит является Cs-аналогом тинаксита K₂NaCa₂Ti(Si₇O₁₈)O(OH) (Петрунина и др., 1971) и Cs-Na-Ti оксианалогом токкоита K₂Ca₄Si₇O₁₈(OH)F (Rozhdestvenskaya *et al.*, 1989).

Сравнительная характеристика сенкевичита и тинаксита показана в таблице 3.

Препарат сенкевичита передан в Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва).

Благодарности

Авторы благодарят за ценные замечания и советы И.В. Пекова и В.Д. Дусматова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-05-64118).

Литература

- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород //Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе, 1968. С. 134–135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиёз (Южный Тянь-Шань) //Автореферат диссертации. М., 1971. 18 с.
- Паутов Л.А., Агаханов А.А., Уварова Ю.А., Соколова Е.В., Хавторн Ф. Зеравшанит Cs₄Na₂Zr₃(Si₁₈O₄₅)(H₂O)₂ – новый цезиевый минерал из Дарай-Пиёзского массива (Таджикистан) //Новые данные о минералах. М., ЭКОСТ, 2004. Вып. 39. С. 21–25.
- Петрунина А.А., Юльяхин В.В., Белов Н.В. Кристаллическая структура тинаксита NaK₂Ca₂TiSi₇O₁₉(OH) //Докл. АН СССР. 1971. Т.198, С. 575–578.
- Рогов Ю.Г., Рогова В.П., Воронков А.А., Молева В.А. Тинаксит, NaK₂Ca₂TiSi₇O₁₉(OH) – новый минерал //Докл. АН СССР. 1965. Т.162, С. 658–661.
- Belakovskiy D.I. Die seltenet Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistan //Lapis. 1991. Jg. 16. 12. P. 42–48.
- Rozhdestvenskaya I.V., Nikishova L.V., Lazebnik Yu.D., Lazebnik K.A. The crystal structure of tokkoite and its relation to the structure of tinaksite //Zeitschrift fur Kristallographie. 1989. V. 189. P. 195–204.