

РИС. 1. Кремнекислородные слои  $\{\text{Si}_{18}\text{O}_{45}\}^{18-}$  в кристаллической структуре зеравшанита

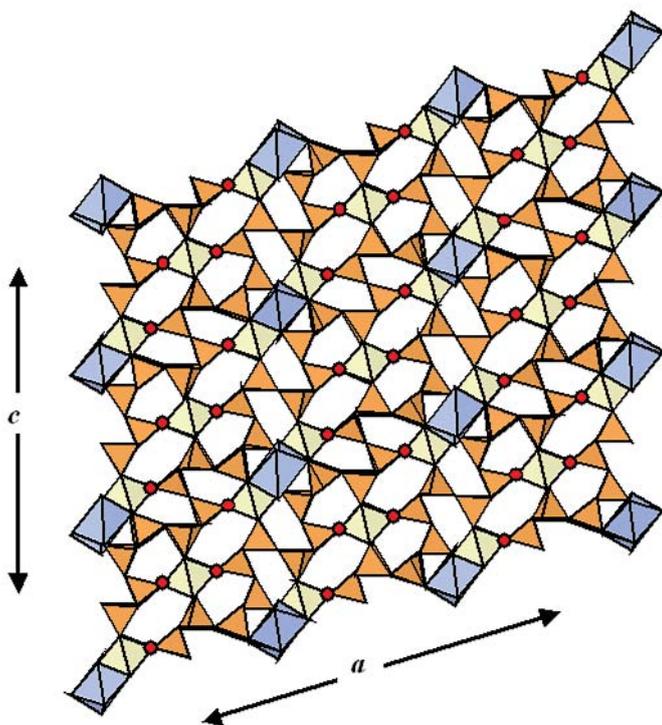


РИС. 2. Кристаллическая структура зеравшанита в проекции на  $(010)$ .  
 Оранжевым цветом показаны  $\text{Si}$ -тетраэдры,  
 желтым -  $\text{M}$ -октаэдры,  
 голубым -  $\text{Na}$ -полиэдры,  
 красными кружками - атомы А позиции.

УДК 549.657.42

## ЗЕРАВШАНИТ $Cs_4Na_2Zr_3(Si_{18}O_{45})(H_2O)_2$ — НОВЫЙ ЦЕЗИЕВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ДАРА-И-ПИОЗСКОГО МАССИВА (ТАДЖИКИСТАН)

Л.А. Паутов

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

А.А. Агаханов

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

Ю.А. Уварова, Е.В. Соколова, Ф. Хавторн

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

Новый цезиевый минерал зеравшанит (Zeravshanite) с формулой  $Cs_4Na_2Zr_3(Si_{18}O_{45})(H_2O)_2$  (моноклинной сингонии, пр. группа  $C2/c$ ,  $a = 26,3511(8)\text{\AA}$ ,  $b = 7,5464(3)\text{\AA}$ ,  $c = 22,9769(8)\text{\AA}$ ,  $\beta = 107,237(1)^\circ$ ,  $V = 4363,9(4)\text{\AA}^3$ ,  $Z = 4$ ) найден на морене ледника Дара-и-Пиоз, расположенной на стыке Зеравшанского, Туркестанского и Алайского хребтов (Таджикистан). Минерал назван по географическому месту находки. Зеравшанит обнаружен в виде зерен (размером от 0.02 до 0.2 мм) в составе кварцевой породы с эгирином, полилитионитом, пектолитом, ридмерджеритом, согдианитом, лейкофенитом, стилуэлитом-(Се), микроклином, баратовитом, флюоритом, галенитом, туркестанитом, минералами группы таджикита и эвдиалита, нептунитом, пековитом, цезиевым аналогом полилитионита и др. Зеравшанит — бесцветный, прозрачный. Твердость — 6. Твердость микровдавливания VHN = 838 кгс/мм<sup>2</sup>. Плотность (изм.) 3.09(5), (выч.) 3.17 г/см<sup>3</sup>. Зеравшанит — минерал двуосный, оптически отрицательный.  $2V$  (выч.) =  $-63^\circ$ . Дисперсия осей ср.  $v > r$ .  $n_p = 1,582(2)$ ,  $n_m = 1,598(2)$ ,  $n_g = 1,603(2)$ . ИК-спектр (сильные полосы поглощения) 1089, 1045, 978, 709, 662, 585, 538 см<sup>-1</sup>. Химический состав (мас.%, м.з., среднее по 6 ан.): SiO<sub>2</sub> — 52.20, TiO<sub>2</sub> — 0.43, ZrO<sub>2</sub> — 16.41, SnO<sub>2</sub> — 0.46, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0.21, Na<sub>2</sub>O — 3.06, K<sub>2</sub>O — 0.09, Cs<sub>2</sub>O — 26.58, H<sub>2</sub>O (calc.) — 1.74, сумма — 101.18. Сильные линии рентгеновской порошкограммы (d, Å): 6.32(5); 3.65(5); 3.35(10); 3.25(4); 2.82(5); 2.62(7); 1.946(4); 1.891(4); 1.865(4). Кристаллическая структура решена с R = 2.8%. Препарат с образцом нового минерала хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва, Россия).

В статье 2 таблицы, 2 ч/б рисунка, 2 цв. схемы, список литературы из 4 наименований.

Новый цезиевый минерал с формулой  $Cs_4Na_2Zr_3(Si_{18}O_{45})(H_2O)_2$  (моноклинной сингонии, пр. группа  $C2/c$ ,  $a = 26,3511(8)\text{\AA}$ ,  $b = 7,5464(3)\text{\AA}$ ,  $c = 22,9769(8)\text{\AA}$ ,  $\beta = 107,237(1)^\circ$ ,  $V = 4363,9(4)\text{\AA}^3$ ,  $Z = 4$ ) найден на морене ледника Дара-и-Пиоз, расположенной на стыке Зеравшанского, Туркестанского и Алайского хребтов (Таджикистан) в составе существенно кварцевой породы с полилитионитом, пектолитом, ридмерджеритом, эгирином, лейкофенитом и др. Минерал назван зеравшанитом (Zeravshanite)\* по географическому месту находки.

### Место находки и ассоциация

Зеравшанит обнаружен при изучении образцов пород Верхнего Дара-и-Пиозского массива, собранных Л.А. Паутовым и А.А. Агахановым совместно с В.Ю. Карпенко и П.В. Хворовым на морене ледника Дара-и-Пиоз (Гармский район, Таджикистан). Массив Дара-и-Пиоз находится в верховьях одноименной реки (левого притока р. Ярхыч) и значительная площадь его перекрыта ледниками. Обнаженные участки массива труднодоступны, по этой причине большая часть наблюдений по минералогии и петрографии

массива выполнена на глыбах пород в моренном материале ледника Дара-и-Пиоз. Геология и минералогия массива рассмотрена в ряде публикаций (Дусматов, 1968, 1971, Belakovskiy, 1991 и др.). Яркой минералогической особенностью Дара-и-Пиозского щелочного массива является нахождение в нем собственных минералов цезия. Это открытые на Дара-и-Пиозе цезий-куплетскит, телюшенкоит, а теперь и зеравшанит. По-видимому, на этом список цезиевых минералов с Дара-и-Пиоза не закончится: в настоящее время обнаружены и изучаются цезиевые слюды и ряд недиагностированных цезиевых силикатов.

Зеравшанит встречается в образцах породы, сложенной в основном кварцем, с подчиненным количеством эгирина, полилитионита, ридмерджерита, пектолита и целого ряда других аксессуарных минералов. Эта порода встречается на морене ледника Дара-и-Пиоз нечасто. Все находки её представлены глыбами, разной степени окатанности, размерами до полуметра, крайне редко — больше. К сожалению, авторам ни разу не удалось встретить контактов этой кварцевой породы с какой либо другой породой, что не позволяет сколько-нибудь обосновано су-

\* Рассмотрен КНМНМ ВМО и утвержден КНМНМ ММА 21 сентября 2003 г.

дять о форме тел, сложенных этой породой и о ее происхождении. Одни исследователи считают ее кварцевыми ядрами пегматитов, другие склонны видеть в ней фрагменты собственных силицитовых жильных тел. Облик и минеральный состав этой породы весьма экзотичен и ей трудно дать однозначную трактовку и название в рамках существующих классификаций горных пород. Как уже говорилось, главным минералом породы является кварц. Кварц имеет льдистый облик, чаще совершенно прозрачный, из-за межзерновых границ и трещин, кажется белым. Структура неравнозернистая, от среднезернистой до грубозернистой, реже до гигантозернистой. Весьма часто встречаются равно-среднезернистые участки без резких границ, сложенные изометричными полиэдрами — гранулами кварца. Спорадически в кварце вкраплены хорошо образованные черные таблитчатые кристаллы эгирина (до 5 см), крупные пластины полилитоинита (до 20 см), полупрозрачные травяно-зеленые кристаллы лейкофенита, чечевицеобразные кристаллы стиллуэллита-(Се), гнезда крупнозернистого ридмерджерита, одиночные кристаллы и сростки белого микроклина, розовые до фиолетового таблитчатые выделения минерала ряда согдианит-сугилит (до 20 см), столбчатые до игольчатых кристаллы темно-зеленого гидратированного высокоуранового туркестанита. Реже в ней отмечается пирохлор, нептунит, галенит, кальцит, капицаит-(Y), березанскит, тяньшанит, дарапиозит, дусматовит, минералы группы таджикита, баратовит, самородный висмут, сфалерит, флюорит, фторопатит и фторопофиллит. Распределение перечисленных минералов в породе крайне неравномерное, без какой-либо ориентировки индивидов акцессорных минералов. Характерной особенностью описываемой породы является только в ней встречаемые бурые полиминеральные агрегаты с резкими границами (размером до 25 см), сложенные преимущественно пектолитом с подчиненным количеством эгирина, флюорита, кварца, полилитоинита, нептуни-та, крайне редко — пековита и цезиевого аналога полилитоинита. Первоначально зер-равшанит был обнаружен в краевой части пектолитового агрегата на границе с квар-цем в виде не имеющих огранки зерен (0.02—0.1 мм) и сростков таблитчатых инди-видов до 0.2 мм в наибольшем измерении (рис. 3) в сростании с пектолитом и недиаг-ностированным силикатом цезия и кальция. Встречаемость зеравшанита весьма низ-кая — из многих десятков шлифов из пекто-

Таблица 1. Результаты расчета гебаграммы зеравшанита

<i>l</i>	<i>d</i> изм.	<i>d</i> расч.	<i>hkl</i>
2	7.31	7.271	202
5	6.32	6.327	-402
		6.292	400
1	5.43	5.453	-312
1	4.57	4.561	-114
2	4.24	4.279	-512
		4.201	114
1	4.18	4.195	600
5	3.65	3.658	006
		3.636	404
10	3.35	3.367	-712
		3.356	-223
		3.349	222
4	3.25	3.263	206
		3.246	710
		3.241	-422
9	3.14	3.144	-224
1	2.89	2.907	224
5	2.82	2.833	-716
		2.820	406
7	2.62	2.626	026
		2.622	910
		2.608	-518
3	2.517	2.517	10 0 0
		2.514	714
1	2.478	2.483	-916
		2.481	-822
		2.468	226
2	2.276	2.279	-2.0.10
		2.279	-334
		2.264	-532
1	2.227	2.230	-918
2	2.185	2.187	-12.0.4
3	2.146	2.149	532
2	2.095	2.097	12.0.0
		2.094	10.2.0
1	2.071	2.072	518
4	1.946	1.951	-2.2.10
		1.942	-736
4	1.891	1.892	-12.2.4
4	1.865	1.865	-538
		1.864	-14.0.2
3	1.829	1.830	734
		1.829	0.0.12
3	1.816	1.818	-936
		1.814	-7.1.12
1	1.786	1.784	044
1	1.764	1.762	-14.0.8
1	1.736	1.737	12.2.2
2	1.674	1.677	046
		1.672	-14.2.2
1	1.649	1.650	10.2.6
		1.646	0.2.12
1	1.632	1.633	246
		1.631	-16.0.6
1	1.546	1.547	14.2.2
1	1.534	1.534	13.3.0
3	1.500	1.500	-7.3.12
2	1.454	1.454	14.2.4
		1.453	-2.4.10

Примечание:

РКД 114, Fe-анод, Mn-фильтр, УРС-50ИМ.  
Аналитик Л.А. Паутов

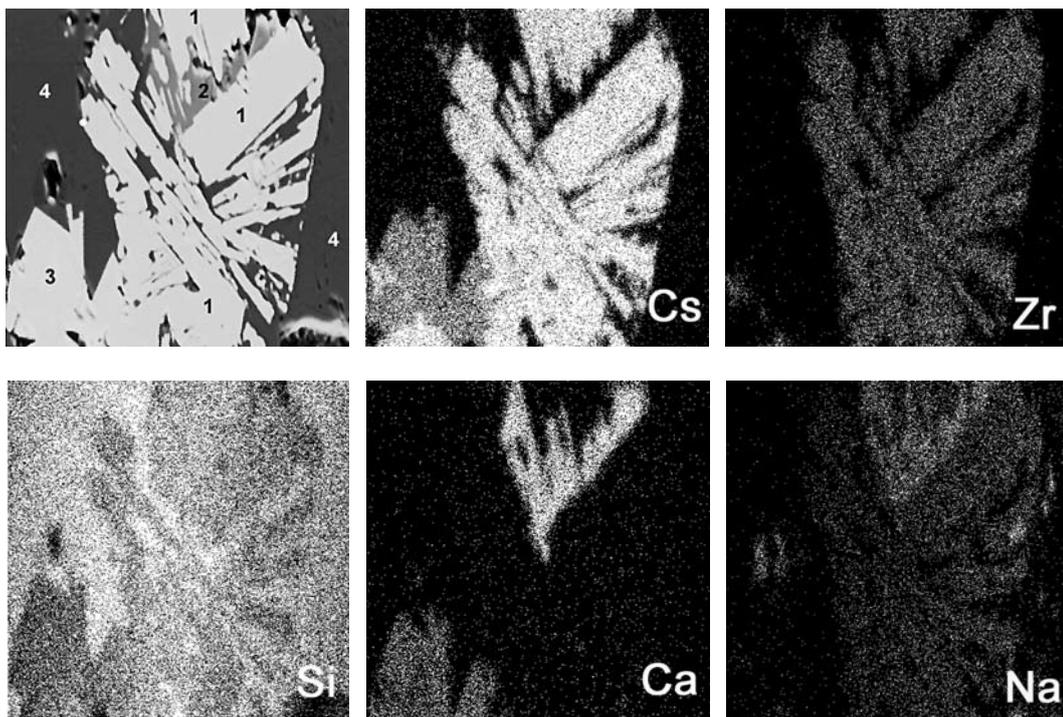


РИС. 3. Сросток пластинчатых зерен зеравшанита (1) с пектолитом (2) и не диагностированным Cs-Ca силикатом (3) в кварце (4). Изображение в режиме SOMPO и характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов. Ширина поля зрения 200 мкм

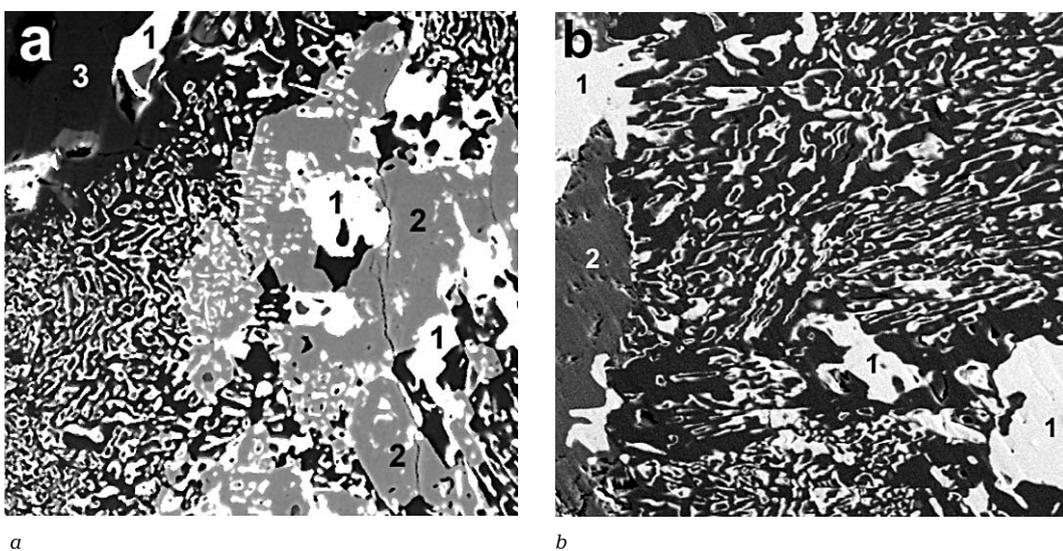


РИС. 4. а) графические сростания зеравшанита (1) с кварцем (черное) и эгирином (2). Ширина поля зрения 100 мкм; б) графические сростания зеравшанита (1) с кварцем (черное). Темно-серое — пектолит (2). Ширина поля зрения 60 мкм

литовых агрегатов зеравшанит был встречен только в единичных препаратах. Другие находки зеравшанита были сделаны также в описываемой кварцевой породе, но без видимой связи с пектолитовыми агрегатами. В последнем случае зеравшанит представлен зернами с изрезанными очертаниями и графическими сростаниями с кварцем, эгирином, арфведсонитом, реже — пектолитом (рис. 4).

### Физические свойства

Зеравшанит — совершенно бесцветный, водяно-прозрачный минерал. По внешнему виду практически неотличим от кварца. Блеск стеклянный, немного более сильный чем у кварца. В коротковолновом и длинноволновом ультрафиолетовом свете минерал не люминесцирует. Твердость по шкале Мооса — 6. Твердость микровдавливания VHN = 838 кгс/мм<sup>2</sup> (среднее значение по 12 измерениям при разбросе единичных замеров от 805 до 880 кгс/мм<sup>2</sup>) при нагрузке 50 г. Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3, градуированном по NaCl. Плотность минерала определялась уравниванием зерен в растворе Клеричи микрометодом и оказалась равной 3.09(5) г/см<sup>3</sup>. Наблюдения проводились при вертикальном положении столика микроскопа в стекле с лункой, в которую помещались зерна минерала и жидкость. Во всех зернах наблюдались единичные газово-жидкие включения, что, несомненно, привело к некоторому занижению измеренной плотности, по сравнению с расчетной плотностью 3.17 г/см<sup>3</sup>. Зеравшанит — оптически отрицательный, двусный минерал. 2V (выч.) = -63°. Дисперсия осей средняя  $v > r$ . Показатели преломления измерены на вращающейся игле  $n_p = 1.585(2)$ ;  $n_m = 1.598(2)$ ;  $n_g = 1.603(2)$  (для света с длиной волны 589 нм). Весьма незначительное количество нового минерала не позволило получить исчерпывающие оптические константы. Так не удалось изучить его оптическую ориентировку и измерить величину угла 2V. В иммерсионных препаратах на единичных зернах наблюдалась спайность в одном направлении. Зерна, которые ложатся в препарате на плоскость спайности, дают в конюскепе разрез близкий к разрезу перпендикулярному к тупой биссектрисе. Удлиннение вытянутых обломков отрицательное. Инфракрасный спектр минерала, полученный на Specord-751R (препарат — микротаблетка минерала в бромиде калия) имеет следующие наиболее сильные полосы поглощения: 1089, 1045, 978, 709, 662, 585, 538 см<sup>-1</sup>.

### Рентгеновские данные

Рентгеновская порошковая диаграмма минерала (табл. 1) получена фотометодом в камере РКУ 114 мм на железном излучении с Mn-фильтром. В качестве внутреннего стандарта применялся кремний. Дебаеграмма индивидуальна и не совпадает ни с одним известным минералом или синтетическим соединением.

Кристаллическая структура зеравшанита (Uvarova *et al*, 2004) с идеализированной формулой Cs<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>Zr<sub>3</sub>(Si<sub>18</sub>O<sub>45</sub>)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> (моноклинный, параметры ячейки  $a = 26.3511(8)$ ,  $b = 7.5464(3)$ ,  $c = 22.9769(8)$  Å,  $\beta = 107.237(1)^\circ$ ,  $V = 4363.9(4)$  Å<sup>3</sup>, пр. группа C2/c, Z = 4), была решена прямым методом и уточнена с  $R_1 = 2.8\%$  по 4508 независимым рефлексам [ $F_o > 4\sigma(FI)$ ] на диффрактометре Bruker P4 (MoK $\alpha$  излучение, CCD детектор). В структуре минерала имеются: 9 тетраэдрических позиций Si ( $\langle Si-O \rangle = 1.614$  Å); две позиции M [6]-ной координации, занятые в основном Zr с небольшим количеством Ti, Fe<sup>3+</sup> и Sn ( $\langle M-O \rangle = 2.067$  Å); одна позиция Na [5]-ой координации ( $\langle Na-O, H_2O \rangle = 2.406$  Å); две позиции A, занятые преимущественно Cs (с небольшим количеством Na и K), из них A(1) имеет [12]-ую координацию, а A(2) — [11] ( $\langle A(1)-O, H_2O \rangle = 3.371$  и  $\langle A(2)-O \rangle = 3.396$  Å). В структуре зеравшанита Si — тетраэдры образуют слои {Si<sub>18</sub>O<sub>45</sub>}<sup>18-</sup>, состоящие из 5- и 8- членных колец Si-O (рис. 1). Топология слоев может быть описана, как связанные волластонитоподобные цепочки {Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>}<sup>6-</sup>. Тетраэдры слоев (10-1) Si-O и полиэдры M и Na делят поровну общие вершины, образуя смешанную постройку {Na<sub>2</sub>Zr<sub>3</sub>(Si<sub>18</sub>O<sub>45</sub>)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>} с полостями, заключающими в себя атомы A (рис. 2). Квадратные пирамиды Na соединяясь общими вершинами, образуют зигзагообразные цепочки вдоль [010]. Каждая пирамида Na имеет общее ребро с октаэдром M(2), при этом осуществляется *цис*-декорирование октаэдрами M(2) цепь Na пирамид. Так же имеется целиком заселенная позиция (H<sub>2</sub>O). Атомы H установлены. Группы (H<sub>2</sub>O) образуют лиганды с Na и A(1) со слабыми O-H связями (~ 2.9 Å) в пределах смешанной структурной постройке.

### Химический состав

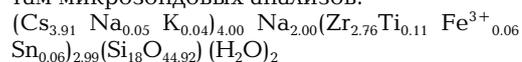
Химический состав зеравшанита изучался на электронном микроскопе JCXA-50A фирмы JEOL, укомплектованном модернизированным энергодисперсионным спектрометром LINK и 3 волновыми

Таблица 2. Химический состав (мас. %) зеравшанита

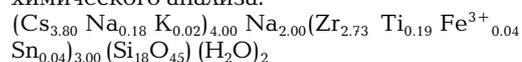
Компонент	1	2	3	4	5	6	среднее
SiO <sub>2</sub>	52.50	52.47	52.35	52.39	51.32	52.18	52.20
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.51	0.95	0.88	0.02	0.00	0.43
ZrO <sub>2</sub>	17.16	16.98	15.53	14.82	16.72	17.23	16.41
SnO <sub>2</sub>	0.02	0.04	0.74	1.93	0.00	0.00	0.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.26	0.26	0.00	0.022	0.33	0.21
Na <sub>2</sub> O	3.08	3.35	3.03	3.01	2.97	2.94	3.06
K <sub>2</sub> O	0.01	0.07	0.01	0.38	0.00	0.07	0.09
Cs <sub>2</sub> O	26.50	25.65	27.25	25.61	27.02	27.47	26.58
H <sub>2</sub> O расч.	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Сумма	101.46	101.07	101.86	100.76	100.01	101.96	101.18
Расчет на 18 атомов Si							
Si	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Ti	0.06	0.13	0.25	0.23	0.01	0.00	0.11
Zr	2.87	2.84	2.60	2.48	2.86	2.90	2.76
Sn	0.00	0.01	0.10	0.26	0.00	0.00	0.06
Fe	0.06	0.07	0.07	0.00	0.06	0.09	0.06
Na	2.05	2.23	2.02	2.01	2.02	1.97	2.05
K	0.00	0.03	0.00	0.017	0.00	0.03	0.04
Cs	3.87	3.75	4.00	3.75	4.04	4.04	3.91
H <sub>2</sub> O расч	2	2	2	2	2	2	2
O	44.91	45.06	45.01	44.91	44.85	44.95	44.95

Примечание: Аналитики Л.А. Паутов, А.А. Агаханов

спектрометрами. Анализы на все элементы проводились на ЭДС при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 3 нА. Образцами сравнения служили: на Si — анортит USNM 137041, на Ti, Fe — ильменит USNM 96189, на Na — синтетический жадеит, на K — микроклин USNM 143966, на Zr — синтетический ZrO<sub>2</sub>, на Sn — синтетический SnO<sub>2</sub>, на Cs — синтетический CsTb(PO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>. Проанализировано 6 зерен минерала. На волновых спектрометрах изучалось распределение основных компонентов зеравшанита, которое не выявило какой либо неоднородности или зональности. Расчет концентраций выполнен с использованием ZAF-коррекции. Результаты анализов приведены в табл. 2. К сожалению, из-за крайне малого количества нового минерала не удалось определить воду прямым методом, по этому количество воды в табл. 2 приведено по данным структурного изучения минерала. Химическая формула зеравшанита, рассчитанная на 18 атомов Si по результатам микрозондовых анализов:



Химическая формула минерала по результатам структурного изучения довольно близка к формуле, полученной при расчете химического анализа:



Упрощенная формула зеравшанита  $Cs_4Na_2Zr_3(Si_{18}O_{45})(H_2O)_2$ . Индекс схожести свойств  $(1-K_p/K_c) = 0.004$  (superior).

Зеравшанит не имеет аналогов ни среди минералов, ни среди неорганических соединений.

Препарат с зеравшанитом передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва).

### Благодарности

Авторы благодарят за помощь в проведении полевых работ на морене ледника Дара-и-Пиоз и в лабораторных исследованиях В.Ю. Карпенко, П.В. Хворова, за ценные советы В.Д. Дусматова, И.В. Пекова и Д.И. Белаковского.

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

### Литература

- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород. // В сб.: Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе. **1968**. С. 134-135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дараи-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореферат диссертации. М. **1971**. 18 с.
- Belakovskiy D.I. Die seltenen Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans. Lapis. **1991**. 16. № 12. 42—48
- Uvarova Y.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Pautov L.A., Agakhanov A.A. A novel  $[Si_{18}O_{45}]^{18-}$  sheet in the crystal structure of zeraвшanite,  $Cs_4Na_2Zr_3(Si_{18}O_{45})(H_2O)_2$  // Can. Miner. **2004** (V.42. P.125-134)