

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,* Н. В. ЧУКАНОВ,** А. Е. ЗАДОВ,***
К. А. РОЗЕНБЕРГ,* Р. К. РАСЦВЕТАЕВА ****

**АЛСАХАРОВИТ-Zn — NaSrKZn(Ti,Nb)₄[Si₄O₁₂]₂(O,OH)₄ · 7H₂O —
НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ ЛАБУНЦОВИТА
ИЗ ЛОВОЗЕРСКОГО МАССИВА, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ¹**

I. V. PEKOV, N. V. CHUKANOV, A. E. ZADOV, K. A. ROZENBERG, R. K. RASTSVETAEVA.
ALSAKHAROVITE-Zn, NaSrKZn(Ti,Nb)₄[Si₄O₁₂]₂(O,OH)₄ · 7H₂O, A NEW MINERAL
OF THE LABUNTISOVITE GROUP FROM LOVOZERO MASSIF, KOLA PENINSULA

* Московский университет, геологический факультет, 119899, Москва, Воробьевы горы
** Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., п. Черноголовка
*** НПО «Регенератор», 127018, Москва, ул. Складочная, 6, к. 302
**** Институт кристаллографии РАН, 117333, Москва, Ленинский пр., 59

Alsakharovite-Zn, a new mineral of the labuntsovite group, was found in cavities of eudialyte-aegirine-feldspar pegmatite at Lepkhe-Nelm Mt, Lovozero alkaline massif (Kola peninsula, Russia). It is a hydrothermal mineral associated with lamprophyllite, natrolite, halloysite, rancieite, kuzmenkoite-Zn, tsepinite-Na, vinogradovite, etc. It occurs as coarse flattened-prismatic crystals up to 8 × 2 × 0.5 mm in size. Translucent to transparent; white, pale brown, colorless. Streak white, luster vitreous. Brittle, cleavage not observed, fracture uneven. Mohs' hardness ~5. D_{meas} 2.90, D_{calc} 2.93 g/cm³. Optically biaxial (+), α 1.680, β 1.687, γ 1.785, $2V$ (meas) 25 (10)°. Chemical composition (electron probe, H₂O by TGA), wt. %: Na₂O 2.04, K₂O 2.43, CaO 1.48, SrO 4.49, BaO 3.65, MgO 0.04, MnO 0.11, FeO 0.22, ZnO 5.02, Al₂O₃ 0.15, SiO₂ 39.23, TiO₂ 18.89, Nb₂O₅ 12.57, H₂O 11.1; Total 101.42. The empirical formula calculated on (Si,Al)₈O₂₄(O,OH)₈ is: (Na_{0.68}Ca_{0.32})Σ 1.00(Sr_{0.53}Na_{0.12})Σ 0.65(K_{0.63}Ba_{0.29})Σ 0.92(Zn_{0.75}Fe_{0.04}Mn_{0.02}Mg_{0.01})Σ 0.82(Ti_{2.88}Nb_{1.15})Σ 4.03(Si_{7.96}Al_{0.04})Σ 8O₂₄[O_{2.58}(OH)_{1.42}]Σ 4 · 6.80H₂O. Simplified formula — NaSrKZn(Ti,Nb)₄[Si₄O₁₂]₂(O,OH)₄ · 7H₂O ($Z = 2$). Crystal structure was studied, $R = 0.058$. Monoclinic, Cm . Observed microtwinning on planes (001) and ($\bar{4}01$). Unit cell dimensions: $a = 14.495$ (10), $b = 13.945$ (10), $c = 7.838$ (8) Å, $\beta = 117.75$ (7)°, $V = 1402$ (3) Å³. Representative of the gutkovaite structural type. Newly for labuntsovite-group minerals, cation site A2 was found; mainly occupied by Sr. The strongest lines of X-ray powder pattern (d , Å — I [hkl]) are: 6.96—7[020, 001]; 3.22—80[402, 421, 400]; 3.11—90[041, 022, 240]; 2.60—35[151, 241, 202], 2.50—40[441, 403], 1.74—30[080, 004], 1.70—40[463, 444, 461, 442]. IR spectrum is given. Alsakharovite-Zn is named in the memory of Russian geologist Aleksey S. Sakharov (1910—1996) who studied Lovozero massif, with consideration of Zn prevailing in D-site. Type specimen is deposited in Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow.

Введение. Минералы группы лабунцовита в настоящее время интенсивно изучаются. Еще недавно считавшиеся очень редкими, сегодня они обнаружены уже во многих щелочных массивах мира, где подчас образуют крупные скопления и выступают в роли главных концентраторов Nb, Ti, Ba, Zn в гидротермальных парагенезисах. Разнообразие минеральных видов в этой группе обусловлено широким изоморфизмом, затрагивающим большинство катионных позиций, и связанными с этим значительными структурными вариациями (Chukanov e. a., 1999, 2002).

Члены группы лабунцовита характеризуются рядом особенностей, сближающих их с цеолитами: в структурах тех и других присутствуют широкие каналы, заполненные крупными катионами и молекулами воды. Вследствие этого лабунцовитоподобные минералы обладают сильными ионообменными свойствами (Пеков и др., 2002а), что обуславливает еще и практический интерес к их изучению. Начиная с 1990 годов внимание исследователей начали привлекать микропористые материалы нового типа, каркасы которых наряду с тетраэдрическими фрагментами содержат пяти- и шестикоординированные атомы Ti, Nb, Al, V, Ga и др. В 1996 г. появился первый обзор, содержащий ссылки на 43 оригинальные работы, посвященные этим фазам (Rocha e. a., 1996б). «Цеолиты» нового типа отличаются значительным струк-

¹ Рассмотрено и рекомендовано Комиссией по новым минералам и названиям минералов ВМО. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов ММА 4 апреля 2002 г.

турным разнообразием, что позволяет надеяться на расширение диапазона физических и химических свойств микропористых материалов.

Недавно были впервые синтезированы лабунцовитоподобные (Ti,Nb)-силикатные «цеолиты» (Rocha e. a., 1996a, б; Philippou, Anderson, 1996; Bortun e. a., 1999). В патенте А. Дайера с соавторами в качестве сорбентов радиоактивных Cs, Sr, Co упоминаются искусственный аналог ненадкевичита и водные Ti-силикаты ETS-10 и ETS-4 (Dyer e. a., 1999).

Однако в целом литературные данные по синтезу и ионообменным свойствам микропористых Ti- и Nb-силикатов довольно скудны. В большой мере это связано со значительными затратами материальных средств и времени для проведения подобного синтеза, отсутствием надежных методов прогноза структуры и свойств образующихся соединений, а также со сложностью изучения кристаллических структур продуктов, образующихся в виде тонких порошков, зачастую фазово-неоднородных. Большим подспорьем при планировании работ по синтезу водных Ti- и Nb-силикатов могут служить данные по структуре, свойствам и условиям образования природных щелочных водных силикатов с Ti и Nb, и особенно минералов группы лабунцовита, которые образуют хорошие кристаллы, пригодные для рентгеноструктурного анализа. На сегодняшний день природные лабунцовитоподобные фазы характеризуются несопоставимо более широким спектром структурных типов и разнообразием составов по сравнению с синтетическими и представляют собой замечательный «полигон» для разносторонних исследований, в том числе и технологических.

Новый минерал группы лабунцовита обнаружен в Ловозерском щелочном массиве на Кольском полуострове. Он обратил на себя внимание высокими содержаниями Sr и Zn, что послужило основанием для проведения детального исследования, показавшего его индивидуальность. Этот минерал получил название **алсахаровит-Zn** в память о выдающемся геологе Алексее Сергеевиче Сахарове (1910—1996), посвятившем многие годы изучению строения и петрологии Ловозерского массива, поискам и разведке связанных с ним уникальных редкометалльных месторождений (Буссен, Сахаров, 1967, 1972). Суффикс-уточнитель Zn показывает, в соответствии с принятыми для группы лабунцовита правилами номенклатуры (Chukanov e. a., 2002), преобладание цинка в D-позиции структуры. Алсахаровит-Zn — третий после органоваита-Zn $K_2Zn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ (Пеков и др., 2002б) и кузьменкоита-Zn $K_2Zn(Ti,Nb)_4(Si_4O_{12})_2(OH,O)_4 \cdot 6-8H_2O$ (Чуканов и др., 2002) цинковый минерал группы лабунцовита и одновременно первый ее член, в котором водообразующая роль принадлежит стронцию.

Условия нахождения. Пегматитовое тело, где найден алсахаровит-Zn, расположено на северном склоне горы Лепхе-Нельм в центральной части Ловозерского массива. Оно было открыто Е. И. Семеновым в 1949 г. и описано под № 45. Этот пегматит неправильной формы, имеющий площадь выхода 18×10 м, залегает в нозеановых, нефелиновых и содалитовых пойкилитовых сиенитах. Краевые части пегматита преимущественно сложены калиевым полевым шпатом с эгирином, нефелином и эвдиалитом, промежуточная зона — ортоклаз-эгириновая с эвдиалитом, магнезиоарфведсонитом, лампрофиллитом, лоренценитом; ядро практически полностью состоит из гидротермальных минералов, в основном галлуазита, натролита и водных оксидов Mn (Семенов, 1972).

Гидротермальная минерализация интенсивно проявлена как в ядре, так и в промежуточной зоне пегматита, изобилующей полостями. К продуктам гидротермальных стадий относятся поздний фторапатит, карбонатапатит, минералы лития (тайниолит, полилитионит, нептунит), циркония (катаплетит, кальционилерит), бария (баритолампрофиллит, гармотом), редкоземельных элементов [тундрит-(Ce)]. Особенно широким разнообразием отличаются поздние титановые силикаты. Кроме упоминавшихся нептунита, тундрита и баритолампрофиллита здесь развиты лампрофиллит 2-й генерации, куплетскит, виноградовит, Nb-содержащий титанит и минералы группы лабунцовита. Среди последних преобладает цепинит-Na, встречается кузьменкоит-Zn, обнаружены и новые фазы. Из собственных минералов ниобия отмечен только

пирохлор в ничтожных количествах: очевидно: Nb практически полностью рассеялся на гидротермальной стадии в виде примеси в обильных минералах Ti. Так, тундрит-(Ce) и виноградовит из этого пегматита содержат до 4% Nb₂O₅, поздний титанит — до 9%, члены группы лабунцовита — до 15%.

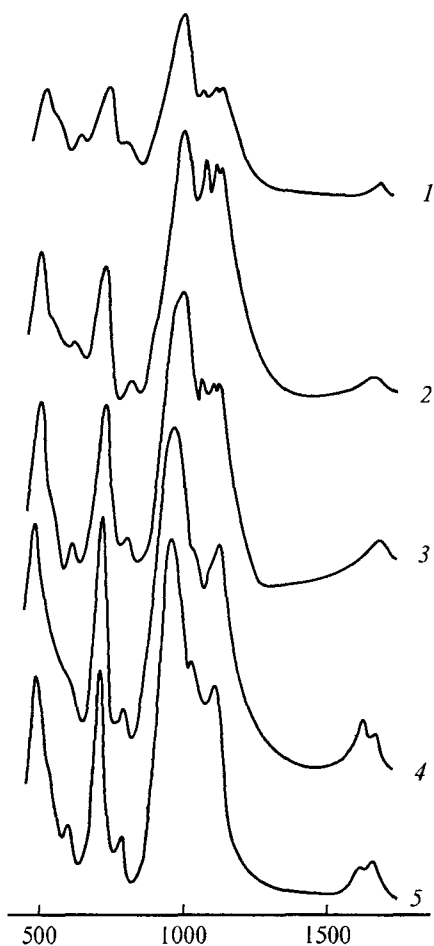
Источником вещества для формирования поздних минералов в значительной мере послужили ранние: здесь имели место коррозия эвдиалита и раннего лампрофиллита, растворение сфалерита, натролизация нефелина, интенсивное замещение лоренценита поздними Ti-силикатами, полная псевдоморфизация серандита рансьеитом и другими оксидами Mn. Локальное обогащение минералообразующей среды одновременно Ti, Zn и Sr, очевидно, и привело к появлению алсахаровита-Zn.

Новый минерал приурочен к промежуточной зоне пегматита, где его кристаллы нарастают на стенки каверн в гнездах, сложенных корродированным ранним лампрофиллитом (наиболее вероятный источник Sr и, возможно, Ti) и эвдиалитом. В непосредственной близости практически всегда обнаруживаются полости выщелачивания сфалерита (несомненный источник Zn), часто содержащие реликты этого сульфида. С алсахаровитом-Zn тесно ассоциируют кузьменкоит-Zn, цепинит-Na, галлуазит, рансьеит, натролит и более ранние калиевый полевой шпат и эгирин.

Морфология и физические свойства. Новый минерал образует грубые уплощенно-призматические, досковидные кристаллы, достигающие 8 × 2 × 0.5 мм. Они покрыты продольной штриховкой, обычно расщеплены, часто собраны в сноповидные, радиально-лучистые или хаотические агрегаты. Скопления, которые формирует алсахаровит-Zn вместе с макроскопически неотличимыми от него цепинитом-Na и кузьменкоитом-Zn, достигают в поперечнике 1.5 см, причем каждый из этих трех минералов хорошо индивидуализирован: под электронным микроскопом между ними наблюдаются четкие фазовые границы.

Алсахаровит-Zn — полупрозрачный до прозрачного, белый или светло-коричневый, иногда бесцветный. Блеск стеклянный, черта белая. Очень крупный, твердость по Моосу около 5. Спайность не наблюдалась, излом неровный. Плотность, измеренная методом уравнивания зерна в тяжелых жидкостях, составляет 2.90, вычисленная плотность — 2.93 г/см³. Минерал оптически двусосный, положительный; $N_p = 1.680(1)$, $N_m = 1.687(2)$, $N_g = 1.787(5)$, $2V_{изм} = 25(10)^\circ$; $2V_{выч} = 31^\circ$. Под микроскопом бесцветный, не плеохроит. Дисперсия оптических осей не проявлена. Оптическая ориентировка: $Y = b$.

ИК-спектр алсахаровита-Zn, обладая многими общими чертами со спектрами моноклинных членов группы лабунцовита с заполненной D-позицией, тем не менее вполне индивидуален (см. рисунок). Наиболее близок он к спектру гутковаита-Mn (см. ниже), при этом существенно отличаясь от спектров родственных минералов подгруппы кузьменкоита.



ИК-спектры алсахаровита-Zn (1), гутковаита-Mn (2), нескеварайта-Fe (3), кузьменкоита-Mn (4) и кузьменкоита-Zn (5).

IR spectra of alsakharovite-Zn (1), gutkovaite-Mn (2), neskevaraitite-Fe (3), kuzmenkoite-Mn (4), and kuzmenkoite-Zn (5).

Таблица 1

Химический состав алсахаровита-Zn
Chemical composition of alsakharovite-Zn

Компонент	Среднее по 8 точкам, мас. %	Пределы содержаний, мас. %	Формульные коэффициенты, для (Si+Al) = 8
Na ₂ O	2.04	1.74—2.39	0.80
K ₂ O	2.43	2.13—2.71	0.63
CaO	1.48	1.02—1.77	0.32
SrO	4.49	4.07—5.32	0.53
BaO	3.65	1.76—4.98	0.29
MgO	0.04	0.00—0.18	0.01
MnO	0.11	0.00—0.31	0.02
FeO	0.22	0.09—0.35	0.04
ZnO	5.02	3.67—6.05	0.75
Al ₂ O ₃	0.15	0.09—0.26	0.04
SiO ₂	39.23	38.19—40.47	7.96
TiO ₂	18.89	17.17—19.84	2.88
Nb ₂ O ₅	12.57	11.07—14.08	1.15
H ₂ O	11.1*		
Сумма	101.42		

Примечание. Содержания REE, Zr, Ta, F — ниже пределов обнаружения электронно-зондовым методом; * — содержание воды определено термogravиметрически.

Наибольшие различия наблюдаются в области валентных колебаний Si—O—Si (1000—1100 см⁻¹), которая может быть рекомендована для выявления принадлежности к подгруппе кузьменкоита, а также в области деформационных колебаний молекул воды (1550—1700 см⁻¹). Волновые числа полос в ИК-спектре алсахаровита-Zn следующие (см⁻¹; подчеркнуты наиболее сильные полосы, пл — плечо): 3360, 1635, 1090, 1071, 1022, 949, 765 пл, 689, 598, 500 пл, 467.

Химический состав минерала дан в табл. 1. Содержания катионов определены электронно-зондовым методом, количество воды — по потере массы при прокаливании (навеска 44.0 мг). Эмпирическая формула, рассчитанная на (Si,Al)₈O₂₄(O,OH)₈, такова: (Na_{0.68}Ca_{0.32})_{Σ 1.00}(Sr_{0.53}Na_{0.12})_{Σ 0.65}(K_{0.63}Ba_{0.29})_{Σ 0.92}(Zn_{0.75}Fe_{0.04}Mn_{0.02}Mg_{0.01})_{Σ 0.82}(Ti_{2.88}Nb_{1.15})_{Σ 4.03}(Si_{7.96}Al_{0.04})_{Σ 8}O₂₄[O_{2.58}(OH)_{1.42}]_{Σ 4} · 6.80H₂O. Количество OH-групп вычислено исходя из условия баланса зарядов. Группировка катионов произведена в соответствии с результатами структурного анализа — см. ниже. Идеализированная формула алсахаровита-Zn (Z = 2): NaSrKZn(Ti,Nb)₄[Si₈O₁₂]₂(O,OH)₄ · 7H₂O.

Кристаллохимические особенности. Кристаллическая структура алсахаровита-Zn решена на монокристалле; R_{анн} = 0.058 (Розенберг и др., 2002). Новый минерал моноклинный, пространственная группа *Cm*. Его дебаеграмма (табл. 2) близка к рентгенограммам порошка других моноклинных членов группы лабунцовита с заполненной *D*-позицией. Уточненные по порошковым данным параметры элементарной ячейки: *a* = 14.495 (10), *b* = 13.945 (10), *c* = 7.838 (8) Å, β = 117.75 (7)°, *V* = 1402 (3) Å³. Изученный кристалл оказался микросдвойникованным по плоскостям (001) и (-401). Такое же двойникование, вызывающее появление ромбической псевдосимметрии с учетверением параметра *c*, было ранее установлено и у других членов группы лабунцовита — вуориярвита-К, цепинита-Na и гутковаита-Mn (Rastsvetaeva e. a., 1994; Расцветаева и др., 2000, 2001).

Основой структуры алсахаровита-Zn, как и других моноклинных членов группы лабунцовита, является смешанный каркас из волнообразно изогнутых цепочек вершинносвязанных (Ti,Nb)-октаэдров *M*, вытянутых вдоль [010] и соединенных четы-

Таблица 2

Результаты расчета порошковой рентгенограммы алсахаровита-Zn

X-ray powder data of alsakharovite-Zn

$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$I_{выч}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl	$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$I_{выч}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl
100	6.96	76	6.973	020			3	1.827	64 $\bar{3}$
		100	6.937	001	5	1.83	5	1.825	60 $\bar{4}$
15	6.43	40	6.434	20 $\bar{1}$			2	1.819	601
		49	6.414	200	20	1.80	10	1.812	80 $\bar{2}$
5	4.13	8	4.088	310	30	1.74	11	1.743	080
10	3.87	15	3.905	20 $\bar{2}$			8	1.734	004
5	3.55	3	3.532	31 $\bar{2}$			4	1.705	46 $\bar{3}$
20	3.41	5	3.398	221	40	1.70	9	1.704	44 $\bar{4}$
		43	3.217	40 $\bar{2}$			5	1.703	461
80	3.21	35	3.215	42 $\bar{1}$			6	1.699	442
		40	3.207	400	5	1.68	5	1.663	66 $\bar{2}$
		57	3.115	041			1	1.662	66 $\bar{1}$
90	3.11	47	3.105	022			7	1.567	84 $\bar{3}$
		44	3.063	240	20	1.57	3	1.567	81 $\bar{4}$
10	2.92	25	2.945	112			9	1.565	84 $\bar{1}$
		14	2.914	420			2	1.533	48 $\bar{2}$
10	2.82	6	2.823	51 $\bar{1}$	20	1.53	2	1.531	480
20	2.73	7	2.716	51 $\bar{2}$			3	1.528	42 $\bar{5}$
		13	2.627	15 $\bar{1}$			2	1.524	423
35	2.60	14	2.597	241	10	1.448	5	1.460	84 $\bar{4}$
		17	2.588	202			4	1.457	840
40	2.50	30	2.512	44 $\bar{1}$			7	1.432	48 $\bar{3}$
		19	2.510	40 $\bar{3}$	5	1.427	6	1.430	481
10	2.45	24	2.459	042			9	1.429	44 $\bar{5}$
10	2.23	6	2.254	15 $\bar{2}$			7	1.426	443
10	2.13	2	2.145	60 $\bar{3}$			2	1.363	2.10. $\bar{1}$
		1	2.138	600	20	1.355	4	1.363	55 $\bar{5}$
10	1.92	7	1.927	043			3	1.352	95 $\bar{1}$
10	1.88	3	1.880	42 $\bar{4}$					
		2	1.874	422					

Примечание. Условия съемки — УРС-55, камера РКД-57.3, FeK-излучение. При выборе индексов hkl учитывались значения интенсивностей рефлексов теоретической порошкограммы, построенной на основе структурных данных.

рехчленными кольцами Si-тетраэдров. Между цепочками (Ti,Nb)-октаэдров находится самостоятельная октаэдрическая позиция D , занятая в новом минерале более чем на 80 %, преимущественно атомами Zn. Первоначальная попытка решить структуру в обычной для лабунцовита пространственной группе $C2/m$ не привела к успеху: полученная модель обнаруживала резкое расхождение с результатами химического анализа в части внекаркасных (щелочных и щелочноземельных) катионов. Понижение симметрии до Cm помогло решить задачу и показало, что алсахаровит-Zn изоструктурен гутковаиту-Mn $\text{CaK}_2\text{Mn}(\text{Ti,Nb})_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O,OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Пеков и др., 2002в) и недавно открытому нескеварайту-Fe $\text{NaK}(\text{K,H}_2\text{O})_2\text{Fe}(\text{Ti,Nb})_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O,OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Розенберг и др., в печати). Для структур типа лабунцовита $\text{Na}_2\text{K}_2\text{C}_2D^{2+}(\text{Ti,Nb})_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O,OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (где D — Mn, Fe, Mg; $n = 4-6$) и леммлейнитта $\text{Na}_2\text{K}_2\text{C}_2C(\text{Ti,Nb})_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O,OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (где C — K, Ba; $n = 4-5$) с пространственной группой $C2/m$ характерно наличие двух связанных центром инверсии позиций A , одинаково занятых атомами Na и в силу этого эквивалентных (Расцветаева и др., 1997). В структуре гутковаита-Mn одна из этих позиций, обозначенная как $A1$, селективно занята Ca, другая же — $A1'$ — полностью вакантна, что приводит

к исчезновению центра инверсии и соответственно к понижению симметрии до Cm (Расцветаева и др., 2001; Пеков и др., 2002в). В структуре алсахаровита-Zn позиция A1 оказалась заселенной преимущественно Na (весь примесный Ca также локализовался здесь), а позиция A1' — вакантной. Именно такая упорядоченность гутковаитового типа в первую очередь и обусловила симметрию Cm нового минерала.

Интересно обнаружение в структуре алсахаровита-Zn новой катионной позиции, расположенной вблизи A1, в том же цеолитном канале. Во всех ранее изученных моноклинных членах группы лабунцовита здесь находится (с небольшим смещением) молекула воды. Эта позиция, названная A2, заполнена в алсахаровите-Zn в основном Sr с примесью Na. В силу сближенности позиции A1 и A2 заселены статистически. A1-полиэдр по сравнению с обычным A-восьмивершинником Na в структурах лабунцовита и леммлейнита (Расцветаева и др., 1997) редуцирован в гутковаите-Mn и алсахаровите-Zn до семивершинника. Полиэдр A2 в структуре нового минерала тоже является семивершинником. Средние расстояния катион—кислород в полиэдрах A1 и A2 алсахаровита-Zn составляют 2.66 и 2.97 Å соответственно. Отметим, что позиция A2 оказалась заполненной катионами и в нескевараите-Fe, где в ней локализовался K.

В позициях B в гутковаите-Mn и алсахаровите-Zn находится K, но его количество неодинаково: в алсахаровите-Zn калия вдвое меньше, чем в гутковаите-Mn. Видимо, это связано с ограничениями по заряду: а в алсахаровите-Zn нацело заполнена позиция A1, и при этом мы видим значительное количество Sr^{2+} в позиции A2. Возникающий избыток положительного заряда в новом минерале (относительно гутковаита-Mn) компенсируется уменьшением количества калия: вместо «недостающего» атома K в B1-позиции структуры алсахаровита-Zn находится молекула воды, и схема изоморфизма в каналах A и B может быть записана следующим образом: гутковаит $[Ca□(H_2O)][KK] \leftrightarrow$ алсахаровит $[Na□Sr][(H_2O)K]$, где порядок перечисления позиций таков: [A1A1'A2][B1B2].

Позиции C, расположенные в непосредственной близости от D, в алсахаровите-Zn заселены преимущественно молекулами воды, поскольку вхождение в эти позиции катионов в значительном количестве возможно лишь при условии вакансионности D-октаэдра (Chukanov e. a., 1999), а он занят в описываемом минерале более чем на 80%. Однако и этот недостаток D-катионов в алсахаровите-Zn позволил войти в одну из двух C-позиций — C1 — небольшому количеству Ba.

Таким образом, исходя из результатов рентгеноструктурного анализа, развернутая кристаллохимическая формула алсахаровита-Zn имеет вид ($Z = 1$): $[(Na, Ca)_{2-x}(Sr, Na)_{2-x}] [(H_2O)_2(K, H_2O)_2] [Ba_{0.2}(H_2O)_{3.6}] \{ [Zn_{1.6}(Mn, Fe)_{0.2}] [Ti_{5.7}Nb_{2.3}(OH_{4.8}O_{3.2})(Si_4O_{12})_4] \cdot nH_2O$, где пятью квадратными скобками выделено содержимое позиций A, B, C, D и M соответственно; каркасная часть взята в фигурные скобки.

Алсахаровит-Zn демонстрирует уникальный случай разделения щелочных и щелочно-земельных катионов в пределах одной кристаллической постройки: (Na + Ca), Sr, K и Ba упорядочены по четырем кристаллографически неэквивалентным позициям — A1, A2, B2 и C1 соответственно. Аналогов этому замечательному, «сепаратору» в минеральном царстве найти не удалось. Такая особенность алсахаровита-Zn представляется важной и с точки зрения ионообменных свойств. Учитывая смешанный каркас, образованный Si-тетраэдрами, M(Ti, Nb)- и D(Zn)-октаэдрами, мы наблюдаем в новом минерале семь (!) типов независимых позиций, каждый из которых заселяется только определенными видами катионов.

Эталонный образец алсахаровита-Zn передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве, регистр. № 2797/1.

Работа выполнена при поддержке гранта ведущей научной школы № 00-15-98-497.

Список литературы

- Буссен И. В., Сахаров А. С. Геология Ловозерских тундр. Л.: Наука, 1967. 125 с.
- Буссен И. В., Сахаров А. С. Петрология Ловозерского щелочного массива. Л.: Наука, 1972. 296 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. // Труды Всероссийского семинара «Щелочной магматизм Земли». М.: 2002а. С. 76.
- Пеков И. В., Чуканов Н. В., Задов А. Е. и др. Органоваит-Zn, $K_2Zn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$, новый минерал из группы лабунцовита // ЗВМО. 2002б. № 1. С. 29—34.
- Пеков И. В., Чуканов Н. В., Расцветаяева Р. К. и др. Гутковант-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. 2002в. № 2. С. 51—57.
- Расцветаяева Р. К., Чуканов Н. В., Пеков И. В. Кристаллическая структура нового минерала — аналога лабунцовита с высокой упорядоченностью калия и бария // Докл. РАН. 1997. Т. 357. № 1. С. 64—67.
- Расцветаяева Р. К., Органова Н. И., Рождественская И. В. и др. Кристаллическая структура оксониевого минерала группы ненадкевичита-лабунцовита из Хибинского массива // Докл. РАН. 2000. Т. 371. № 3. С. 336—340.
- Расцветаяева Р. К., Пеков И. В., Некрасов Ю. В. Кристаллическая структура и микродвойникование высококальциевого аналога лабунцовита // Кристаллография. 2001. Т. 46. № 3. С. 415—417.
- Розенберг К. А., Расцветаяева Р. К., Пеков И. В., Чуканов Н. В. Кристаллическая структура и микродвойникование нового высокоцинкового представителя группы лабунцовита // Докл. РАН. 2002. Т. 383. № 5. С. 657—660.
- Розенберг К. А., Расцветаяева Р. К., Чуканов Н. В., Субботин В. В. Кристаллическая структура и микродвойникование нецентросимметричного высокониобиевого аналога лабунцовита-Fe // Докл. РАН (в печати).
- Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М.: Наука, 1972. 305 с.
- Чуканов Н. В., Пеков И. В., Задов А. Е. и др. Кузьменкоит-Zn, $K_2Zn(Ti,Nb)_4(Si_4O_{12})_2(OH,O)_4 \cdot 6-8H_2O$, новый минерал группы лабунцовита из Ловозерского массива, Кольский полуостров // ЗВМО. 2002. № 2. С. 45—50.
- Bortun A. I., Bortun L. N., Khainakov S. A. et al. Hydrothermal synthesis and ion exchange properties of the novel framework sodium and potassium niobium silicates // Solvent extraction and ion exchange. 1999. Vol. 17. N 3. P. 649—675.
- Chukanov N. V., Pekov I. V., Rastsvetaeva R. K., Nekrasov A. N. Labuntsovite: solid solutions and features of the crystal structure // Canad. Miner. 1999. Vol. 37. Pt 4. P. 901—910.
- Chukanov N. V., Pekov I. V., Khomyakov A. P. Recommended nomenclature for labuntsovite group minerals // Eur. J. Miner. 2002. Vol. 14. N 1. P. 165—173.
- Dyer A., Pillinger M., Newton J. A. et al. Mineral ion exchangers for removal of radionuclides from liquids and wastewaters. Patent WO 9958243 (GB). 13.05. 1999.
- Phillippou A., Anderson M. W. Structural investigation of ETS-4 // Zeolites. 1996. Vol. 16. N 2—3. P. 98—107.
- Rastsvetaeva R. K., Tamazyan R. A., Pushcharovsky D. Yu., Nadezhina T. N. Crystal structure and microtwinning of K-rich nenadkevichite // Eur. J. Miner. 1994. Vol. 6. P. 503—509.
- Rocha J., Brandao P., Lin Z. et al. Novel microporous titanium-niobium-silicates with the structure of nenadkevichite // Cem. Commun. 1996a. Vol. 5. P. 669—670.
- Rocha J., Brandao P., Lin Z. et al. Synthesis and Structural studies of microporous titanium-niobium-silicates with the structure of nenadkevichite // J. Phys. Chem. 1996b. Vol. 100. N 36. P. 14978—14983.

Поступила в редакцию
26 июня 2002 г.