

УДК 549.657(470.21)

ЦЕПИНИТ-Sr* – (Sr,Ba,K)(Ti,Nb)₂(Si₄O₁₂)(OH,O)₂·3H₂O – НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ ЛАБУНЦОВИТА

И.В. Пеков

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва, mineral@geol.msu.ru

Н.В. Чуканов

Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, chukanov@icp.ac.ru

А.Е. Задов

НПО «Регенератор», Москва

К.А. Розенберг

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва,

Р.К. Расцветаева

Институт кристаллографии РАН, Москва

Цепинит-Sr, новый минерал из группы лабунцовита (подгруппа вуориярвита), аналог цепинита-Na, цепинита-K и цепинита-Ca с преобладанием Sr среди внекаркасных катионов, установлен в составе гидротермального парагенезиса в полостях нефелин-сиенитового пегматита на г. Эвеслогчорр в Хибинском щелочном массиве, Кольский п-ов, Россия. Ассоциирует с микроклином, альбитом, натролитом, анальцитом, эгирином, эвдиалитом, лейфитом, вуориярвитом-K, цепинитом-Ca, кузьменкоитом-Zn, парацепинитом-Ba, таканелитом и др. Образует грубопризматические кристаллы до 0.2x0.4x2 мм и корочки до 4x5 мм. Полупрозрачный, бесцветный или белый, черта белая, блеск стеклянный. Хрупкий, без спайности, излом неровный. Твердость по Моосу около 5. Измеренная плотность 2.67(2), вычисленная – 2.63 г/см³. Оптически двусный, положительный; $n_p = 1.649(2)$, $n_m = 1.651(2)$, $n_g = 1.770(4)$, $2V_{изм} = 20(5)^\circ$; $2V_{ввч} = 16^\circ$. Химический состав (электронно-зондовые данные, H₂O по ТГА), мас. %: Na₂O 0.61, K₂O 1.30, CaO 0.92, SrO 5.12, BaO 4.27, MgO 0.01, MnO 0.05, FeO 0.08, ZnO 0.26, Al₂O₃ 0.18, SiO₂ 41.89, TiO₂ 18.49, Nb₂O₅ 16.07, H₂O 11.14, сумма 100.39. Эмпирическая формула, рассчитанная на (Si,Al)₄O₁₂(O,OH)₂ : (Sr_{0.28}Ba_{0.16}K_{0.16}Na_{0.11}Ca_{0.09}Zn_{0.02})_{0.82}(Ti_{1.32}Nb_{0.69}Fe_{0.01})_{2.02}(Si_{3.98}Al_{0.02})₄O₁₂[(OH)_{1.89}O_{0.11}]₂·2.59H₂O. Идеализированная формула: (Sr,Ba,K)(Ti,Nb)₂(Si₄O₁₂)(OH,O)₂·3H₂O (Z=4). Моноклинный, пр. гр. *Cm*. Параметры элементарной ячейки (по монокристалльным данным): $a = 14.490(3)$, $b = 14.23(1)$, $c = 7.881(3)\text{Å}$, $\beta = 117.28(2)^\circ$, $V = 1444(1)\text{Å}^3$. Главные линии порошкограммы $d, \text{Å} - I(hkl)$: 7.10 – 90(020, 001); 6.45 – 50(200, 20 – 1); 5.01 – 40(021); 3.230 – 100(42 – 1, 400, 40 – 2); 3.135 – 80(022, 041, 24 – 1); 2.510 – 80(44 – 1, 401, 40 – 3, 042), 1.728 – 50(461, 46 – 3, 081, 442, 44 – 4), 1.570 – 45(84 – 1, 820, 84 – 3, 190, 82 – 4). Дан ИК-спектр. Эталонный образец передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва.

В статье 3 таблицы, 1 рисунок и список литературы из 12 названий

Минералы группы лабунцовита являются наиболее детально исследованными на сегодняшний день природными цеолитоподобными титано- и ниобосиликатами. В последнее десятилетие они изучались наиболее активно, результатом чего явилось не только открытие более чем 20 новых минеральных видов в этой группе и установление широкого распространения ее членов в дифференциатах щелочных комплексов, но и выявление ряда важных закономерностей, касающихся кристаллохимии, свойств и генезиса микропористых силикатов с гетерополиэдрическими (смешанными) каркасами в целом. Нами разработана номенклатура группы лабунцовита, утвержденная Комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМНМ) ММА (Chukanov *et al.*, 2002), а чуть позже данные по этим минералам были обобщены в специальной монографии (Чуканов и др., 2003а). Члены группы лабунцовита характе-

ризуются широкими вариациями конфигурации каркаса, симметрии, катионной упорядоченности и химического состава: каждый из 11 катионов, кроме Si (Ti, Nb, Mn, Fe, Mg, Zn, Na, K, Ba, Sr, Ca), может как практически отсутствовать в составе минерала, так и играть видообразующую роль, доминируя в соответствующей структурной позиции. По своему разнообразию и совершенству кристаллов представители данной группы значительно превосходят большинство синтетических титано- и ниобосиликатов, поэтому изучение структур и свойств этих минералов представляет сегодня большой практический интерес. С другой стороны, особенности кристаллохимии членов группы лабунцовита являются важными типоморфными признаками, отражающими условия минералообразования в щелочных пегматитах и гидротермалитах. В основе всех лабунцовитоподобных структур лежит уникальный каркас гетерополиэдр-

* Утвержден КНМНМ ММА 3 мая 2004 г.

Таблица 1. Сравнительная характеристика минералов подгруппы вуориярвита

Минерал	Вуориярвит-К	Цепинит-Na	Цепинит-К	Цепинит-Са	Цепинит-Sr
Формула	(K,Na) ₂ (Nb,Ti) ₂ (Si ₄ O ₁₂)(OH) ₂ •4H ₂ O	(Na,H ₃ O,K) ₂ (Ti,Nb) ₂ (Si ₄ O ₁₂)(OH,OH) ₂ •3H ₂ O	(K,Ba,Na) ₂ (Ti,Nb) ₂ (Si ₄ O ₁₂)(OH,OH) ₂ •3H ₂ O	(Ca,K,Na) _{2-x} (Ti,Nb) ₂ (Si ₄ O ₁₂)(OH,OH) ₂ •4H ₂ O	(Sr,Ba,K)(Ti,Nb) ₂ (Si ₄ O ₁₂)(OH,OH) ₂ •3H ₂ O
Симметрия	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная
Пр. группа	<i>Cm</i>	<i>Cm</i>	<i>Cm</i>	<i>C2/m</i>	<i>Cm</i>
<i>a</i> , Å	14.629	14.604	14.327	14.484	14.49
<i>b</i> , Å	14.164	14.274	13.802	14.191	14.216
<i>c</i> , Å	7.859	7.933	7.783	7.907	7.88
β°	117.9	117.40	116.95	117.26	117.1
<i>V</i> , Å ³	1446	1468	1372	1445	1445
<i>Z</i>	4	4	4	4	4
<i>D</i> _{изм.} , г/см ³	2.95	2.74	2.88	2.73	2.67
<i>n</i> _p	1.649	1.655-1.658	1.689	1.666	1.649
<i>n</i> _m	1.655	1.661-1.668	1.700	1.676	1.652
<i>n</i> _g	1.759	1.770	1.7752	1.780	1.770
2 <i>V</i>	+20°	+20–30°	+35°	+30°	+20°
Источник	Субботин и др., 1998	Шлюкова и др., 2001	Чуканов и др., 2003b	Pekov <i>et al.</i> , 2003	настоящая работа

рического типа, образованный бесконечными цепочками *M*-октаэдров, занятых атомами Ti и Nb, которые скреплены между собой в двух других направлениях кольцами [Si₄O₁₂]; некоторые моноклинные представители группы содержат еще и дополнительные *D*-октаэдры, заселенные атомами Mn, Fe, Zn, Mg, реже Ca. Связи между Si-тетраэдрами и *M*-октаэдрами осуществляются через общие *O*-вершины, *M*-октаэдры соединяются между собой через общие (O,OH)-вершины, а с *D*-октаэдрами — через общие *O*-ребра. Каркас содержит цеолитные каналы, в которых располагаются крупные щелочные и щелочноземельные катионы и молекулы воды, причем для внекаркасных позиций (A, B и C) характерно наличие вакансий. Эти особенности сближают члены группы лабунцовита с «истинными», т.е. алюмосиликатными цеолитами, как и набор внекаркасных катионов, одинаковый для обеих групп: Na, K, Ca, Sr и Ba.

Группа лабунцовита объединяет ромбические и моноклинные минералы с общей формулой A₄B₄C_{4-2x}[D_x(H₂O)_{2x}][M₈(O,OH)₈][Si₄O₁₂]₄•4-12H₂O, где *x* = 0–2. Известно восемь структурных типов лабунцовитоподобных минералов, различающихся топологией каркаса, симметрией и размерами ячейки; соответственно, в группе лабунцовита выделяются восемь подгрупп. Среди моноклинных членов группы наиболее разупорядоченными и «рыхлыми» структурами характеризуются члены подгруппы вуориярвита. В них вакантны «сшивающие» *D*-октаэдры, а атомы Ti и Nb сильно смещены из центров *M*-октаэдров в сто-

рону одной из мостиковых вершин. Характерной особенностью членов подгруппы вуориярвита, отличающей их от большинства других представителей группы лабунцовита, является большое количество внекаркасных позиций катионов и молекул воды, многие из которых сближены до расстояний, исключающих их одновременное заполнение, в результате чего в большинстве из них преобладают вакансии. По этой причине в подгруппе вуориярвита при выделении минеральных видов принято, как и в цеолитах, объединять все внекаркасные позиции (без разделения на A, B и C) и определять в качестве видообразующего тот внекаркасный катион, который преобладает над каждым из остальных. Этот катион выносится в суффикс-уточнитель. В подгруппе вуориярвита до настоящего времени были известны один ниобиевый член — вуориярвит-К, и три титановых — цепинит-Na, цепинит-К и цепинит-Са (Chukanov *et al.*, 2002; Чуканов и др., 2003a).

В настоящей работе описывается новый титановый представитель подгруппы вуориярвита, член серии цепинита, в котором среди внекаркасных катионов доминирует стронций (табл. 1). В соответствии с принятой номенклатурой, он получил название **цепинит-Sr**. Новый минерал и его название утверждены КНМНМ ММА 3 мая 2004 г. Эталонный образец передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН в Москве (регистрационный номер 3169/1).

Условия нахождения и общая характеристика. Голотип цепинита-Sr происходит из пегматита, обнаженного в правом борту Аст-

рофиллитового ручья, прорезающего южный склон горы Эвеслогчорр в юго-восточной части Хибинского щелочного массива, Кольский полуостров, Россия. Эта пегматитовая линза, мощностью до 1 м, залегает в гнейсовидных нефелиновых сиенитах. Как и большинство пегматитов, связанных с нефелиновыми сиенитами Хибин, данное тело сложено главным образом микроклином и эгирином с подчиненными количествами нефелина, альбита и эвдиалита; обычны астрофиллит, лоренцит, эпидидимит, манганнептунит, беловит-(Ce). В пегматите, особенно в его кавернозном ядре, широко развита низкотемпературная гидротермальная минерализация. Целые участки сложены друзовым альбитом поздней генерации, натролитом, анальцимом. Эвдиалит интенсивно замещается катаплеитом, а обильный Mn-пектолит (или серандит?) нацело превращен в буро-черные агрегаты таканелита. В полостях кристаллизуются лейфит, торит, виноградит, анкилит-(Ce), барит, выделяются твердые битуминозные вещества. Характерной особенностью этого пегматита является разнообразие позднегидротермальных минералов группы лабунцовита, представленных членами структурных типов с низкой упорядоченностью внекаркасных катионов — вуориярвита, парацепинита и кузьменкоита. Здесь впервые за пределами Ловозерского массива обнаружен цинковый представитель группы — кузьменкоит-Zn (Пеков и др., 2004), найдены цепинит-Na, цепинит-K, цепинит-Sr, парацепинит-Ba. Однако, наиболее распространен вуориярвит-K, который, главным образом, слагает мелкозернистые псевдоморфозы по прекрасно ограниченному пластинчатому кристаллу вуоннемита (до 1 см в поперечнике) в ядре пегматита, а также дает самостоятельные кристаллы на поверхности этих псевдоморфоз и в полостях близ них. Не вызывает сомнения, что вуоннемит выступил здесь источником Nb и Ti для вуориярвита-K. Остальные члены группы лабунцовита, визуально не отличимые здесь друг от друга и от вуориярвита-K, в основном кристаллизуются позже него, на поверхности псевдоморфоз по вуоннемиту или же в полостях на альбите, микроклине, натролите.

Цепинит-Sr — один из наиболее редких минералов пегматита. Он обнаружен в виде грубопризматических, обычно расщепленных кристаллов до 0.2x0.4x2 мм. Иногда они формируют корочки площадью до 4x5 мм и толщиной до 0.3 мм на поверхности вуориярвитовых псевдоморфоз по вуоннемиту. Кри-

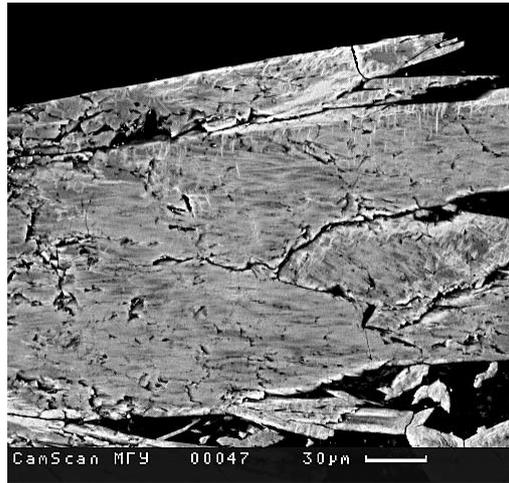


Рис. 1. Кристаллы цепинита-Sr с обогащенными барием (светлые участки) краевыми частями. Гора Эвеслогчорр, Хибин. Изображение в отраженных электронах

сталлы нового минерала вытянуты по [010]. Пояс их призмы образован в основном гранями пинакоидов {100} и {001}, головки не имеют четкого ограничения.

Цепинит-Sr обнаружен еще в двух пегматитовых телах в пределах Хибино-Ловозерского комплекса, отличающихся разнообразием членов группы лабунцовита (Чуканов и др., 2003а). На г. Хибинпахкчорр в Хибинах он образует зоны в белых короткопризматических кристаллах цепинита-Na, достигающих 1 мм (Шлюкова и др., 2001), которые эпитаксиально нарастают на оранжевые кристаллы лабунцовита в кавернах хибинит-пегматита. В полостях пегматита № 45, залегающего в пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитах на г. Лепхе-Нельм в Ловозерском массиве, цепинит-Sr дает светло-бежевые призматические кристаллы, длиной до 3 мм, нарастающие на лампрофиллит и эвдиалит.

Физические свойства. Цепинит-Sr с г. Эвеслогчорр бесцветный или белый, полупрозрачный до прозрачного, с белой чертой и стекляннным блеском. В ультрафиолетовых и катодных лучах не люминесцирует. Твердость по Моосу 5. Хрупкий, спайность не наблюдалась, излом неровный. Плотность, измеренная методом уравнивания зерен в тяжелых жидкостях, составляет 2.67(2), вычисленная — 2.63(1) г/см³. Новый минерал оптически двуосный, положительный; $n_p = 1.649(2)$, $n_m = 1.651(2)$, $n_g = 1.770(4)$; $2V_{изм.} = 20(5)^\circ$, $2V_{выч.} = 16^\circ$. Дисперсия оптических осей очень слабая, $r < v$. Под микроскопом цепинит-Sr бесцветный, не

Таблица 2. Химический состав цепинита-Sr

№ ан.	мас. %					
	1	2	3	4	5	6
Na ₂ O	0.61	0.55	0.69	0.77	2.22	1.26
K ₂ O	1.30	1.71	1.65	2.30	1.25	1.81
CaO	0.92	0.85	1.39	1.36	2.11	1.03
SrO	5.12	5.57	4.89	5.67	8.64	4.66
BaO	4.27	0.81	5.25	2.06	1.62	2.15
MgO	0.01	нпо	0.01	0.01	нпо	нпо
MnO	0.05	0.11	нпо	нпо	нпо	0.06
FeO	0.08	0.05	0.05	нпо	нпо	0.16
ZnO	0.26	нпо	0.56	0.95	нпо	0.64
Al ₂ O ₃	0.18	0.03	0.27	0.11	0.17	0.12
SiO ₂	41.89	45.46	42.28	43.15	43.24	43.74
TiO ₂	18.49	18.85	17.48	20.58	20.71	19.21
Nb ₂ O ₅	16.07	19.27	17.95	14.93	13.50	14.51
H ₂ O	11.14	не опр.				
Сумма	100.39	93.26	92.47	91.89	93.46	89.35
формульные коэффициенты, расчет на (Si + Al) = 4						
Na	0.11	0.09	0.13	0.14	0.40	0.22
K	0.16	0.19	0.20	0.27	0.15	0.21
Ca	0.09	0.08	0.14	0.13	0.21	0.10
Sr	0.28	0.28	0.27	0.30	0.46	0.25
Ba	0.16	0.03	0.19	0.07	0.06	0.08
Mn	—	0.01	—	—	—	—
Zn	0.02	—	0.04	0.06	—	0.04
ΣА	0.82	0.68	0.97	0.97	1.28	0.90
Fe	0.01	—	—	—	—	0.01
Ti	1.32	1.25	1.23	1.43	1.43	1.32
Nb	0.69	0.77	0.76	0.62	0.56	0.60
ΣМ	2.02	2.02	1.99	2.05	1.99	1.93
Al	0.02	—	0.03	0.01	0.02	0.01
Si	3.98	4.00	3.97	3.99	3.98	3.99

Примечание:

1-4 – г. Эвеслогчорр, Хибины (в т.ч. 1 – голотип); 5 – г. Хибинпахчорр, Хибины; 6 – г. Лепхе-Нельм, Ловозеро; нпо – ниже пределов обнаружения электронно-зондовым методом (содержания REE, Zr, Ta, F – нпо во всех анализах); не опр. – содержание воды не определялось. А – внекаркасные катионы: Na, K, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn; М-катионы – Ti, Nb, Fe

плеохроирует. Ориентировка: Y = b.

Индекс схожести состава и свойств, рассчитанный по уравнению Гладстона-Дейла (Mandarin, 1981), составляет 0.004 для значения измеренной плотности и –0.010 для вычисленной, т.е. превосходный (superior) в обоих случаях.

ИК-спектр нового минерала близок к спектрам других членов подгруппы вуориярвита. Полосы поглощения (см⁻¹; подчеркнуты частоты наиболее интенсивных полос; пл. – плечо, ш – широкая полоса): 3545, 3475, 3290ш, 1665, 1605, 1537, 1135пл, 1120, 949, 935пл, 760пл, 675, 610пл, 450. Низкочастотное положение полосы, соответствующей валент-

ным колебаниям (Ti,Nb) – O (675 см⁻¹) подтверждает, что D-октаэдр существенно вакантен (Чуканов и др., 2003а). Цепинит-Sr – единственный минерал группы лабунцовита, в ИК-спектре которого наблюдается более двух хорошо разрешенных полос в области деформационных колебаний молекул воды – это полосы при 1665, 1605 и 1537 см⁻¹. Нет сомнения, что данное явление связано с необычно большим количеством неэквивалентных позиций H₂O в цеолитных каналах (Розенберг и др., 2003).

Химический состав нового минерала (табл. 2) изучен электронно-зондовым методом, содержание воды определено по потере массы при прокаливании. Эмпирическая формула голотипа, рассчитанная на (Si,Al)₄O₁₂(O,OH)₂, такова: (Sr_{0.28}Ba_{0.16}K_{0.16}Na_{0.11}Ca_{0.09}Zn_{0.02})_{0.82}(Ti_{1.32}Nb_{0.69}Fe_{0.01})_{2.02}(Si_{3.98}Al_{0.02})₄O₁₂[(OH)_{1.89}O_{0.11}]₂·2.59H₂O. O/OH – отношение вычислено по балансу зарядов. Идеализированная формула (Z = 4): (Sr,Ba,K)(Ti,Nb)₂(Si₄O₁₂)(OH,O)₂·3H₂O.

В минералах серии цепинита широко варьируют соотношения внекаркасных щелочных и щелочноземельных катионов. Из таблицы 2 видно, что цепинит-Sr представлен разновидностями, обогащенными Ba, Na или K. Вместе с тем, по Ti/Nb-отношению и низкому содержанию мелких двухвалентных катионов (Mn, Zn, Fe, Mg) образцы из разных мест достаточно близки друг к другу.

Обычны существенные колебания состава внекаркасных катионов и в пределах одного индивида. Так, на рисунке видно, что края кристаллов цепинита-Sr с г. Эвеслогчорр бывают существенно обогащены барием. Для многих ловозерских кристаллов характерно «пятнистое» внутреннее строение: в них незаконмерно распределены участки с Na>Sr и Sr>Na. В то же время, в образцах с г. Эвеслогчорр наблюдаются четкие фазовые границы между срастающимися индивидами цепинита-Sr и кузьменкоита-Zn, а также цепинита-Sr и вуориярвита-K. Последняя пара минералов особенно интересна, поскольку ее члены относятся к одному структурному типу. Возможно, закономерное распределение внекаркасных катионов между ниобиевым и титановыми членами группы связано с зарядовыми ограничениями, в соответствии с изоморфной схемой: Nb⁵⁺ + K + ↔ Ti⁴⁺ + A²⁺, где A²⁺ = Sr, Ba, Ca.

Цепинит-Sr – второй после алсахаровита-Zn NaSrKZn(Ti,Nb)₄[Si₄O₁₂]₂(O,OH)₄·7H₂O (Пеков и др., 2003) член группы лабунцовита, в котором стронций играет видообразующую роль. В цепините-Sr с г. Хибинпахчорр (ан. 5 в табл. 2) установлено самое высокое содержа-

Таблица 3. Результаты расчета порошковой рентгенограммы цепинита-Sr

$I_{\text{изм.}}$	$d_{\text{изм.}} \text{ \AA}$	$I_{\text{выч.}}$	$d_{\text{выч.}} \text{ \AA}$	hkl
90	7.10	100, 88	7.108, 7.015	020, 001
50	6.45	64, 73	6.450, 6.425	200, 20-1
40	5.01	72	4.993	021
5	4.78	6, 10	4.776, 4.766	220, 22-1
10	3.92	12, 10	3.937, 3.921	201, 20-2
100	3.230	45, 34, 33	3.228, 3.225, 3.213	42-1, 400, 40-2
80	3.135	47, 25, 26	3.145, 3.113, 3.110	022, 240, 24-1
3	3.015	2	3.021	311
20	2.945	11, 10	2.937, 2.927	420, 42-2
30	2.643	2, 6, 7, 6, 8	2.673, 2.638, 2.633, 2.621, 2.613	15-1, 241, 24-2, 202, 20-3
80	2.510	19, 11, 13, 37	2.537, 2.526, 2.514, 2.496	44-1, 401, 40-3, 042
5	2.156	4	2.150	600
5	2.091	1, 3	2.104, 2.093	511, 351
20	2.057	7, 4, 7, 2	2.059, 2.058, 2.052, 2.051	441, 620, 44-3, 62-3
10	1.961	8	1.963	062
15	1.813	12	1.811	80-2
10	1.781	13	1.777	080
10	1.755	1, 2, 7	1.755, 1.755, 1.754	82-2, 26-3, 004
50	1.728	7, 6, 3, 9, 10	1.728, 1.724, 1.723, 1.722, 1.717	461, 46-3, 081, 442, 44-4
5	1.675	1, 3	1.680, 1.678	66-1, 66-2
45	1.570	8, 3, 7, 1, 4	1.574, 1.572, 1.571, 1.568, 1.567	84-1, 820, 84-3, 190, 82-4
5	1.468	1, 3, 4	1.469, 1.468, 1.464	28-3, 840, 84-4
10	1.448	6, 6, 6, 1	1.453, 1.451, 1.445, 1.442	481, 48-3, 443, 10.0.-2

Примечание. Камера РКУ-114.6, FeK α -излучение, Мп-фильтр. Индексы hkl выбраны в соответствии со значениями $I_{\text{выч.}}$, полученными из структурных данных

ние стронция в минералах данной группы: 8,6 мас.% SrO. Отметим, что Sr, так же как и Ca, наиболее типичен для членов подгрупп вуориярвита и гутковаита, в качестве примеси обычен в минералах подгрупп парацепинита, органианаита и кузьменкоита и совершенно не характерен для обладающих более упорядоченным распределением внекаркасных катионов представителей подгрупп собственно лабунцовита, паралабунцовита и леммлейнита.

Рентгеновские данные и особенности кристаллической структуры. Рентгеновское исследование монокристалла цепинита-Sr, выполненное с помощью автодифрактометра ENRAF NONIUS, показало моноклинную симметрию (пространственная группа Cm) и параметры элементарной ячейки: $a = 14.490(3)$, $b = 14.23(1)$, $c = 7.881(3) \text{ \AA}$, $\beta = 117.28(2)^\circ$, $V = 1444(1) \text{ \AA}^3$ (Розенберг и др., 2003). Дебаеграмма нового минерала (табл. 3) близка к порошкограммам других членов серии цепинита. Вычисленные из нее параметры ячейки: $a = 14.49(2)$, $b = 14.216(6)$, $c = 7.88(1) \text{ \AA}$, $\beta = 117.1(1)^\circ$, $V = 1445(3) \text{ \AA}^3$. Кристаллическая структура цепинита-Sr,

решенная на монокристалле, охарактеризована в работе К.А.Розенберг с соавторами (2003). В ее основе лежит типичный для минералов группы лабунцовита смешанный каркас из цепочек вершинно связанных октаэдров (Ti,Nb)O₆ и соединяющих их четверных колец из SiO₄-тетраэдров. В каналах, параллельных координатным осям, находятся атомы Sr, K, Ca, Na, Ba и молекулы воды, которые входят в 15 позиций (вместо 7–8 в упорядоченных членах группы – лабунцовитах и леммлейнитах, и 12 – в цепините-Na и вуориярвите-K). 5 из этих 15 позиций содержат катионы, 7 – молекулы воды и 3 – катионы и молекулы воды совместно. Таким образом, цепинит-Sr – один из наиболее катионно-разупорядоченных членов группы лабунцовита. Во всех внекаркасных позициях в новом минерале преобладают вакансии. От цепинита-Na он отличается не только преобладанием Sr среди внекаркасных катионов, но и его распределением. Атомы стронция в цепините-Sr входят в три позиции, одна из которых в цепините-Na (Расцветаева и др., 2000) также заселена Sr, дру-

гая — Na, а третья вакантна.

Особенности генезиса. Экспериментально установлено, что члены подгруппы вуориярвита, особенно титановые — цепиниты, обладают самыми сильными среди всех лабунцовитоподобных минералов катионообменными свойствами (Пеков и др., 2002). Представляется, что это обусловлено сочетанием четырех особенностей: 1) низкой насыщенностью внекаркасными катионами; 2) максимально неупорядоченным размещением этих катионов; 3) отсутствием D-катионов, «перерезающих» часть цеолитных каналов; 4) большой концентрацией протяженных структурных нарушений, связанных с микродвойникованием (особенно в цепините-Na). Вполне вероятно, что относительная обогащенность минералов подгруппы вуориярвита Ca и Sr, высокая степень расщепленности позиций в цеолитных каналах и «пятнистое», незакономерное распределение в кристаллах участков с разным составом внекаркасных катионов как раз и являются результатами процессов природного ионного обмена, протекающих на позднегидротермальных стадиях. С этим же может быть связано насыщение краевых частей кристаллов барием (рис. 1). Не исключено, что возникновение цепинита-Sr, обогащенного нехарактерным для членов группы лабунцовита компонентом — стронцием и обладающего максимально неупорядоченным распределением «начинки» цеолитных полостей, возможно только ионообменным путем.

Авторы благодарны Н.Н. Кононковой, А.Г. Турчковой и Г.К. Бекеновой за помощь в проведении исследований. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-БНТС Австрии № 03-05-20011 и гранта Ведущей научной школы РАН № 1087-2003-5.

Литература

- 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. //Тр. Всероссийского семинара «Щелочной магматизм Земли». М., 2002. С. 76.
- Пеков И.В., Чуканов Н.В., Загов А.Е., Розенберг К.А., Расцветова Р.К. Алсахаровит — $ZnNaSrKZn(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 7H_2O$ — новый минерал группы лабунцовита из Ловозерского массива, Кольский полуостров //ЗВМО. 2003. № 1. С. 52 — 58.
- Пеков И.В., Чуканов Н.В., Шилов Г.В., Кононкова Н.Н., Загов А.Е. Лепхенельмит-Zn — $Ba_2Zn(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 7H_2O$ — новый минерал группы лабунцовита и его кристаллическая структура //ЗВМО. 2004. № 1. С. 49 — 59.
- Расцветова Р.К., Органова Н.И., Рождественская И.В., Шлюкова З.В., Чуканов Н.В. Кристаллическая структура оксониевого минерала группы ненадкевичита-лабунцовита из Хибинского массива //Докл. РАН. 2000. Т. 371. С. 336 — 340.
- Розенберг К.А., Расцветова Р.К., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Верин А.И. Кристаллическая структура высокостронциевого цепинита //Докл. РАН. 2003. Т. 393. С. 784 — 787.
- Субботин В.В., Волошин А.В., Пахомовский Я.А., Бахчисарайцев А.Ю., Пуцаровский Д.Ю., Расцветова Р.К., Надежина Т.Н. Вуориярвит $(K,Na)_2(Nb,Ti)_2Si_4O_{12}(O,OH)_2 \cdot 4H_2O$ — новый минерал из карбонатитов массива Вуориярви (Кольский полуостров) //Докл. РАН. 1998. Т. 358. С. 517 — 519.
- Чуканов Н.В., Пеков И.В., Загов А.Е., Волошин А.В., Субботин В.В., Сорохтина Н.В., Расцветова Р.К., Кривовичев С.В. Минералы группы лабунцовита. М.: Наука, 2003а. 323 с.
- Чуканов Н.В., Пеков И.В., Загов А.Е., Розенберг К.А., Расцветова Р.К., Кривовичев С.В., Левицкая Л.А. Новые минералы цепинит-К и парацепинит-Ва и их соотношения с другими представителями группы лабунцовита //ЗВМО. 2003б. № 1. С. 38 — 51.
- Шлюкова З.В., Чуканов Н.В., Пеков И.В., Расцветова Р.К., Органова Н.И., Загов А.Е. Цепинит-Na $(Na,H_3O,K,Sr,Ba)_2(Ti,Nb)_2[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_2 \cdot 3H_2O$ — новый минерал группы лабунцовита //ЗВМО. 2001. № 3. С. 43 — 50.
- Chukanov N.V., Pekov I.V., Khomyakov A.P. Recommended nomenclature for labuntsovite-group minerals //Eur. J. Miner. 2002. Vol. 14. P. 165 — 173.
- Mandarino J. A. The Gladstone-Dale relationship: Part IV. The compatibility concept and its application //Can. Miner. 1981. Vol. 19. P. 441 — 450.
- Pekov I.V., Chukanov N.V., Ferraris G., Gula A., Pushcharovsky D.Yu., Zadov A.E. T s e p i n i t e - C a , $(Ca,K,Na)_2(Ti,Nb)_2[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_2 \cdot 4H_2O$, a new mineral of the labuntsovite group from the Khibiny alkaline massif, Kola Peninsula — Novel disordered sites in the vuoriyarvite-type structure //N. Jb. Miner. Mh. 2003. P. 461 — 480.