

Лабунцовиты: новые данные о систематике и минеральных видах

Р.К.Расцветаева

Институт кристаллографии имени А.В.Шубникова Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» РАН (Москва, Россия)

В 2023 г. исполняется 130 лет со дня рождения советского минералога Е.Е.Костылевой-Лабунцовой. В ее честь назван минерал костылевит, а в честь обоих супругов Лабунцовых — минерал лабунцовит. Данная статья по кристаллохимии лабунцовита посвящается этой дате. Сейчас группу лабунцовита составляют 30 минеральных видов, которые характеризуются вариациями химического состава, структурных типов, симметрии, катионной упорядоченности и физических свойств.

Ключевые слова: лабунцовит, структура, классификация и номенклатура, генезис, физические свойства.

В следующем году исполняется 130 лет со дня рождения известного советского минералога Екатерины Евтихиевны Костылевой-Лабунцовой (1893–1974). В ее честь назван минерал **костылевит**, а в честь обоих супругов Лабунцовых* — минерал **лабунцовит**.



Рамиза Кераровна Расцветаева, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института кристаллографии имени А.В.Шубникова РАН, со-автор открытий более 85 минералов. Область научных интересов — структурная минералогия, кристаллохимия, рентгеноструктурный анализ. Постоянный автор «Природы». e-mail: rast.crys@gmail.com; rascrystal.ru

Немного истории

Лабунцовит в начале XX в. обнаружил Лабунцов на Кольском п-ове, в северо-западной части Хибинского массива [1]. Хотя первооткрыватель описал его как «титаноэल्पидит», впоследствии Е.И.Семенов и Т.А.Бурова, опубликовавшие результаты исследований минерала в 1955 г. [2], назвали его лабунцовитом. В том же 1955 г. был впервые описан минерал ненадкевичит, схожий по рентгенограмме с лабунцовитом, но отличающийся от него преобладанием Nb над Ti [3]. Родство между этими минералами показал Семенов в статье, которую можно считать первой обобщающей работой,

посвященной группе лабунцовита [4]. И на этом этапе заканчивается «доструктурный» период исследования лабунцовита.

Первые данные о кристаллической структуре лабунцовита и ненадкевичита получили в начале 1970-х годов [5–7]. Было установлено, что основу каркаса смешанного типа в них составляют цепочки из (Ti,Nb)-октаэдров, которые соединяются четырехчленными Si—O-кольцами. Такой каркас оказался уникальным, и до сегодняшнего дня он известен только у представителей группы лабунцовита.

С середины 1990-х годов начинается современный период изучения минералов данной группы. Ранее считавшиеся очень редкими, сегодня лабунцовиты обнаружены уже в 15 щелочных массивах

* Александр Николаевич Лабунцов (1884–1963) — крупнейший русский минералог, один из первооткрывателей Хибинских апатитовых месторождений, открыл и описал новые минералы: памирит (1928) и ферсманит (1929).

мира, где иногда образуют крупные скопления, выступая в роли главных концентраторов Nb, Ti, Ba и Zn в гидротермальных парагенезисах. Минералы группы образуются в процессе гидротермальной переработки щелочных пород — и чаще всего щелочных и ультращелочных пегматитов. Множество новых находок совершено, главным образом, в щелочных массивах Карело-Кольского региона: Хибинском, Ловозерском, Вуориярви и Ковдоре. Массовое применение электронно-зондового метода определения катионного состава дало обширный материал для размышлений. Широко варьирующий многокомпонентный химический состав этих минералов и разнообразие их структурных типов неоднократно служили источником серьезных заблуждений и путаницы. Стало ясно, что кристаллохимия и минералогия лабунцовитов и ненадкевичитов значительно сложнее, чем это представлялось ранее, и возникла необходимость в новых структурных исследованиях, к которым были привлечены специалисты-кристаллохимики, в том числе и автор этого очерка.

Химические и структурные различия между образцами оказались настолько велики, что стало целесообразным выделить целый ряд самостоятельных минеральных видов. Для них была разработана и утверждена Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (КНМНК ММА) соответствующая номенклатура [8], а структурные и минералогические данные собраны в нашей монографии [9]. О лабунцовитах я писала и в «Природе»*. Но на этом исследовании минералов группы не прекратились, и спустя 20 лет после выхода упоминаемой монографии появились новые данные по их химическому составу, кристаллическим структурам и распространённости.

В последние годы лабунцовиты вызывают интерес и с позиций их применения в химической технологии и индустрии, так как наличие в структуре системы каналов разного диаметра обуславливает цеолитоподобные свойства этих минералов. Они перспективны как ионообменники, сорбенты радионуклидов (таких как ^{90}Sr) из водных растворов и катализаторы химических реакций с участием органических соединений. Например, природный кузьменкоит-Mn катализирует полимеризацию алифатического углеводорода и его трансформацию в ароматические углеводороды [10].

На протяжении последних десятилетий предпринимались попытки синтеза мезо- и микропори-

стых материалов на основе данного структурного типа [11, 12]. Однако по количеству и разнообразию строения синтетические соединения значительно уступают уже известным природным, что делает последние уникальными объектами для изучения многообразия их кристаллических структур.

Какие они, эти лабунцовиты?

Минералы группы лабунцовита чаще всего образуют хорошо ограненные кристаллы призматической формы до 2 мм в длину, прозрачные и полупрозрачные, коричневато-желтые, розовато-желтые, оранжевые и розовые. Они встречаются на Кольском п-ове (в Хибинском и Ловозерском массивах), на Южном Урале, в Восточной Сибири, Гренландии, Канаде, Намибии, Норвегии и США.

Общая кристаллохимическая формула лабунцовитов $A_2B_2C_2DM_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O},\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ описывается буквами, где $A = \text{Na}, (\text{Ca}), \square$ (вакансия); $B = \text{K}, \text{Na}, (\text{H}_3\text{O}), \square$; $C = \text{K}, \text{Ba}, (\text{H}_3\text{O}), \square$; $D = \text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn}, \square$; $M = \text{Ti}, \text{Nb}, (\text{Fe}^{3+})$; $n \approx 8$ [8].

По симметрии минералы группы разделяются на ромбические (пространственная группа $Pbam$ и $P2_12_12$) (рис.1) и моноклинные (пространственная группа $C2/m, I2/m$ и Cm) (рис.2).



Рис. 1. Ромбический ненадкевичит.

* См.: Расцветаева Р.К. Страна Лабунцовития (Минералогическая сказка). Природа. 2002; 4: 40–42.

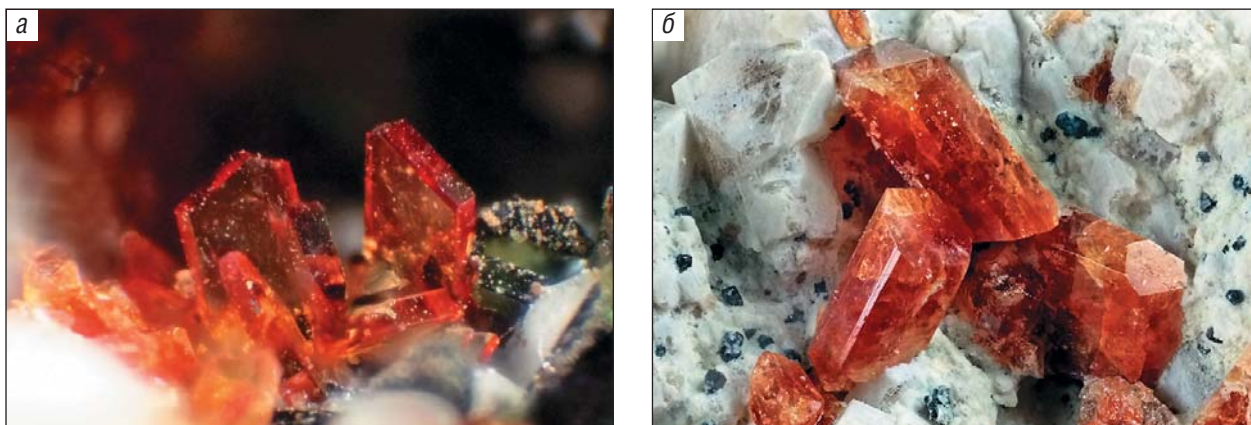


Рис.2. Моноклинные лабунцовиты Mn (а) и Mg (б).

В структуре ромбических представителей содержатся только две однотипные внекаркасные позиции, заполненные преимущественно Na (иногда с примесью Ca). Общая формула этих минералов $A_6(Nb,Ti)_4(O,OH)_4[Si_4O_{12}]_2 \cdot nH_2O$, где $n \approx 8$, значительно проще, а вариации химического состава в них сводятся в основном к изоморфным замещениям $Ti \leftrightarrow Nb$ и $OH \leftrightarrow O$. Подобие цеолитоподобных каркасов проявляется в соизмеримости параметров элементарных ячеек даже для тех представителей, которые различаются по симметрии. Для ромбических минералов параметры $a \approx 7$, $b \approx 14$ и $c \approx 7$ Å.

Моноклинные лабунцовиты по размеру элементарной ячейки подразделяются на минералы с параметром $c \approx 7$ Å и пространственной группой $C2/m$ или Cm и минералы с большой ячейкой (удвоенный параметр $c \approx 15$ Å) и пространственной группой $C2/m$ или $I2/m$.

Уникальный каркас

Главное структурное отличие минералов группы лабунцовита от классических цеолитов в том, что в формировании их каркаса наряду с кремнием участвует не Al (как у обычных цеолитов), а октаэдрически координированные атомы, в первую очередь — Ti и Nb. Основу смешанного каркаса лабунцовитов образуют вытянутые вдоль направления a цепочки вершинносвязанных (Ti,Nb)-октаэдров и соединяющие их четырехчленные кольца из Si-тетраэдров $[Si_4O_{12}]$ (рис.3).

В структурах ромбических членов октаэдрические цепочки зигзагообразно изогнуты в плоскости (001) и почти прямые в плоскости (010), в то время как в структурах моноклинных лабунцовитов они не только зигзагообразно изогнуты в плоскости (010), но и сильно искривлены в плоскости (001), поскольку октаэдры в цепочках повернуты относи-

тельно друг друга (рис.4). Более того, в моноклинных минералах волнообразно изогнутые октаэдрические цепочки в местах их сближения иногда соединяются дополнительным октаэдром (позиция D), занятым двухвалентными катионами: Mn, Fe, Mg, Zn, Ca и до 60 ат.% — вакансиями. Связь между (Ti,Nb) O_6 -октаэдрами и SiO $_4$ -тетраэдрами осуществляется через общие вершины, а с дополнительными D -октаэдрами — через общие ребра (рис.5).

Пределы устойчивости каркаса и механизм его деформации мы установили в результате рентгеноструктурного исследования лабунцовита под высоким давлением в камере с алмазной наковальней [13]. Образец лабунцовита-Fe с параметрами ячейки $a = 14.2584(4)$, $b = 13.7541(6)$, $c = 7.7770(2)$ Å, $\beta = 116.893(3)^\circ$, $V=1360.22(9)$ Å 3

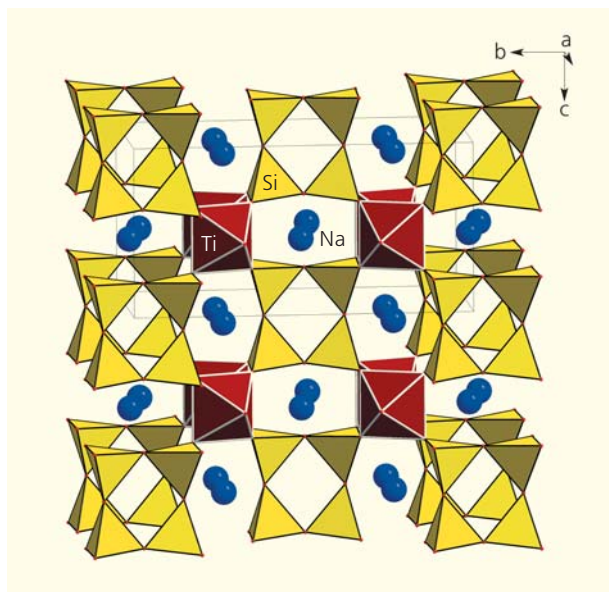


Рис.3. Объединение цепочек (Ti,Nb)-октаэдров четырехчленными кольцами кремнекислородных тетраэдров.

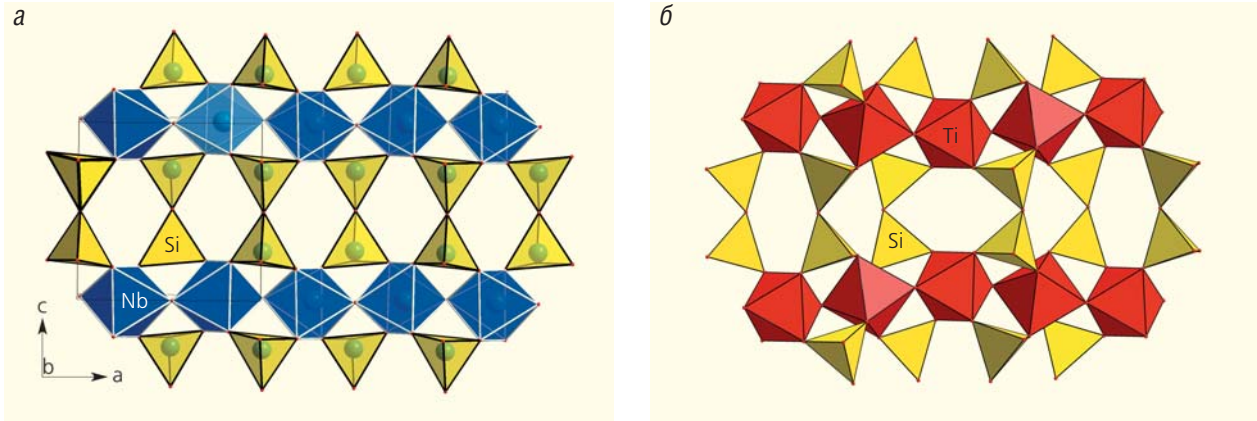


Рис.4. Каркас в ромбических (а) и моноклинных (б) представителях группы лабунцовита.

снимался при давлении до 22.5 ГПа. Параметры ячейки с увеличением давления уменьшались и при 22.53 ГПа принимали значения: $a = 13.3417$, $b = 13.0162$, $c = 7.0497$ Å, $\beta = 115.6806^\circ$, $V = 1103.313$ Å³, а плотность увеличивалась с 3.0578 до 3.6315 г/см³. Колонки из Ti-октаэдров сохраняли устойчивость, несмотря на то что их искривленность увеличивалась (углы $M2-M1-M2$ уменьшались от 170.0 до 165.1°). При этом кремнекислородные кольца сильно искажались и переставали быть плоскими. Так, было установлено, что топология гетерополиэдрического каркаса лабунцовита стабильна и сохраняется во всем диапазоне давлений без фазового перехода, а положение внутрикаркасных катионов при деформации каркаса не изменяется (рис.6).

Термическая стабильность каркаса лабунцовитового типа изучалась в температурном интервале 25–375°C на двух образцах [14]. При нагревании минералов до температуры 275°C наблюдалось термическое расширение кристаллов, при котором объем элементарной ячейки линейно возрастал с ростом температуры. Термическое расширение сопровождалось увеличением угла β элементарной ячейки и происходило в основном в плоскости моноклинности, тогда как в направлении [010] (вдоль оси b располагаются цеолитные каналы) отмечалось лишь незначительное расширение. При дальнейшем нагревании в диапазоне температур 275–375°C вследствие дегидратации наблюдалось сжатие каркаса (в основном за счет параметра b). В обоих случаях каркас проявлял высокую степень эластичности и сохранял свою целостность при нагревании, в том числе на стадии дегидратации.

Как отмечалось выше, отрицательно заряженный смешанный каркас $[(Nb,Ti)_4(O,OH)_4(Si_4O_{12})_2]$ в лабунцовитах уникален и неизвестен в других минералах. Недавно в массиве кальциевых карбонатитов Чуктукон на Сибирской платформе от-

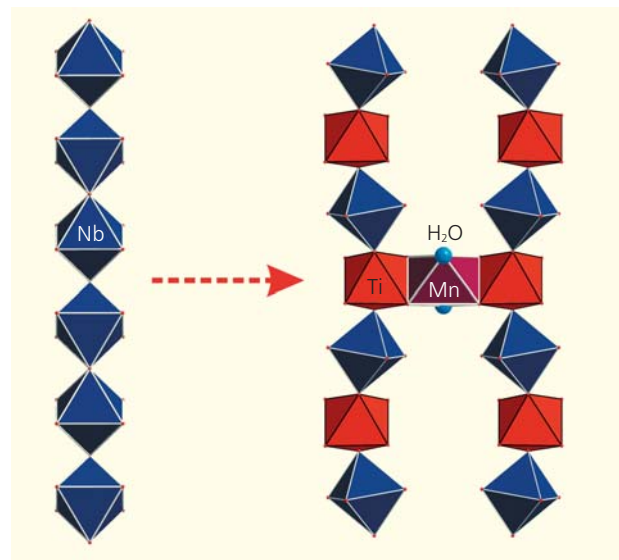


Рис.5. Трансформация цепочек Nb-октаэдров при переходе от ромбической структуры к моноклинной в результате объединения соседних цепочек дополнительным октаэдром.

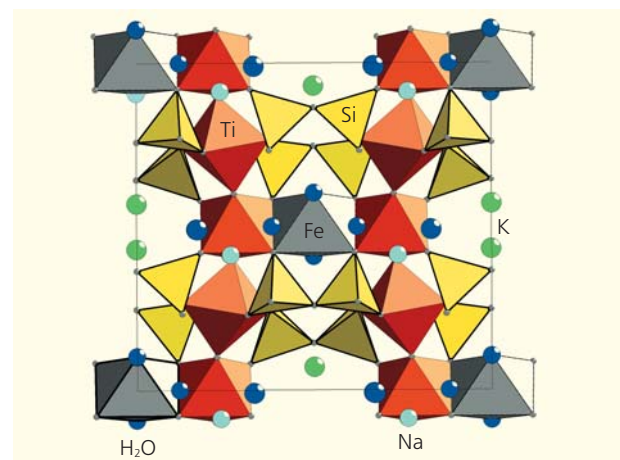


Рис.6. Структура лабунцовита-Fe при давлении 22.5 ГПа.

крыт новый K–Nb-кольцевой силикат риппит $K_2(Nb_{1.93}Ti_{0.05}Zr_{0.02})[Si_4O_{12}]O(O_{0.93}F_{0.07})$ [15], который образовался на стадии гидротермального изменения карбонатитов. Несмотря на химическое сходство с лабунцовитом, структурно они различны и прежде всего по способу объединения колонок вершинносвязанных октаэдров Nb. В структуре риппита колонки не параллельны друг другу, а располагаются в шахматном порядке, объединяющие же их четырехчленные кольца кремнекислородных тетраэдров не перпендикулярны колонкам, а параллельны. В результате тетрагональный риппит с пространственной группой $P4bm$ и параметрами ячейки $a = 8.73885(16)$, $c = 8.1277(2)$ Å относится к иному структурному типу.

Цеолитные полости

В микропористой структуре лабунцовитов содержатся три типа каналов. Два из них идут вдоль $[100]$ между октаэдрическими колонками и четырехчленными кольцами (см. рис.3). Они имеют в сечении овальную форму и относительно малые размеры ($\approx 3 \times 5$ Å). Более широкие ($\approx 4.5 \times 7$ Å) каналы третьего типа простираются перпендикулярно узким каналам и в сечении имеют округлую форму 8-членного кольца (рис.7).

Различия в конфигурации каркасов ромбических и моноклинных ламбуцовитов влияют на характер заполнения цеолитоподобных полостей в каналах. В структуре ромбических членов содержатся полости относительно малого размера, в которых Na преобладает над другими катионами, а возможность вхождения более крупных катионов (K^+ , Ba^{2+} и др.) ограничена. В моноклинных ламбуцовитах присутствуют крупные полости разной

формы и размеров. Они заполняются, наряду с Na, ионами K и Ba, которые распределяются по трем крупнокатионным позициям A, B, C (см. рис.7), и при отсутствии стерических препятствий они могут вовлекаться в процессы ионного обмена.

В структуре ромбических минералов «сшивающие» D -октаэдры отсутствуют, а позиции A заполнены преимущественно Na, причем статистически, так как они связаны осью симметрии второго порядка и сближены на недопустимо короткое расстояние $A-A = 2.5$ Å. В ацентричных структурах заселяется только одна из двух A-позиций, другая же вакантна. Иногда они заселяются обе, но разными компонентами, что приводит к понижению симметрии до Cm .

Позиция B обычно занята K. В низкокальциевых ($K < 4$) лабунцовитах он находится именно в этой позиции. Позиция B может расщепляться на подпозиции с частичной заселенностью. Характерная особенность структуры катионо-неупорядоченных моноклинных представителей этой группы — большое число преимущественно вакантных внекаркасных позиций на близких расстояниях друг от друга.

Позиция D заселяется небольшими двухвалентными катионами: Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg, Zn, а также более крупными Ca, Na или Sr. Катионы образуют октаэдр, в котором молекулы воды находятся в его вершинах и, таким образом, занимают позицию C. Позиции C и D сближены (расстояние $C-D = 2.1$ Å) и не могут заселяться катионами одновременно. От размера катиона в ключевой D-позиции зависит форма цепочки (или степень ее выпрямления), что находит отражение в изменении a -параметра вдоль оси цепочки и в меньшей степени параметра b .

Позиция D в структурах некоторых моноклинных членов преимущественно вакантна. Необыч-

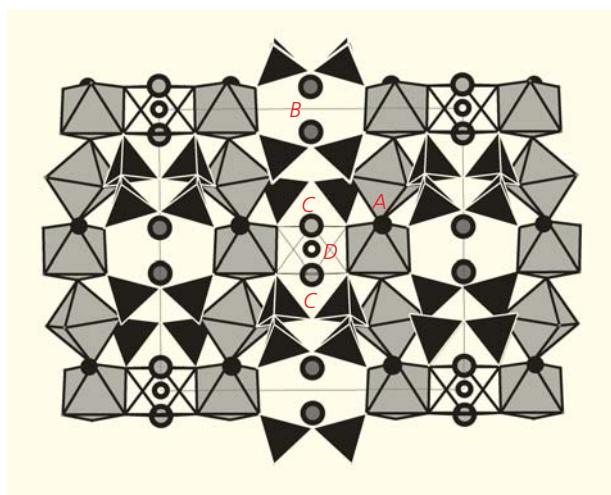
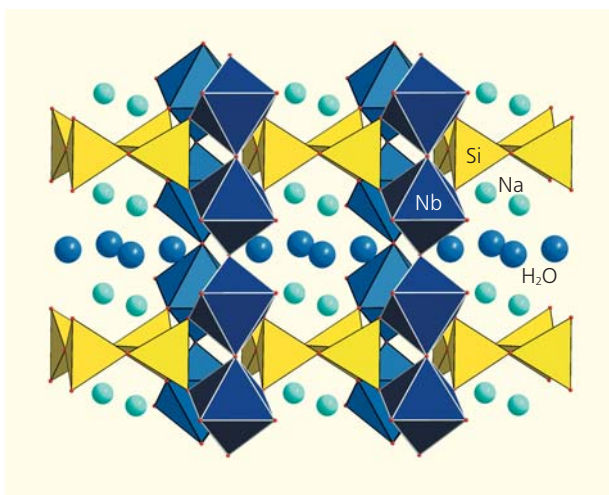


Рис.7. Широкие каналы в каркасе лабунцовитов и позиции, обозначенные буквами A, B, C и D.

но положение Sr. Его позиция также может трактоваться как октаэдрическая. Однако, по сравнению с обычными «сшивающими» катионами, Sr смещен из центра квадрата, который образуют атомы кислорода *M*-октаэдров цепочек.

Позиция С (при вакантности позиции *D*) в минералах группы лабунцовита заполнена атомами Ва и К. Иногда она содержит в основном катионы Са и Na (с общей заселенностью 23%), которые статистически чередуются с *D*-катионами. В минералах с пространственной группой *I2/m* удвоение параметра *c* может быть связано с упорядочением катионов и вакансий в позиции *D* и, соответственно, упорядочением молекул воды и катионов в позиции *C*.

Роль Са и Sr двоякая. Они могут входить как в позицию *D* и участвовать в формировании квазикаркаса, так и заполнять полости как типичные внекаркасные катионы (при координационных числах > 6). Средняя длина связи Са—О (2.53 Å) значительно выше средних длин связей в *D*-октаэдрах (около 2.1 Å). По-видимому, нужна специфичная геохимическая обстановка для кристаллизации лабунцовитов с Са и особенно с Na в позиции *D*. Например, высокая насыщенность гидротермальных растворов следующими парами катионов: Na+Са, Са+К или Na+К. Низкотемпературные гидротермальные растворы в щелочных комплексах Сент-Илер (Канада) и Илимаусак (Гренландия) в большей степени насыщены Na и Са или обеднены Mg, Mn, Fe и Zn по сравнению с гидротермалитами Кольского п-ова (Ловозеро, Хибины и Ковдор), что послужило причиной наблюдаемых различий в кристаллохимии значительной части найденных там минералов группы лабунцовита.

Внекаркасные катионы в позициях *A–D* могут быть вовлечены в ионообменные процессы. Был изучен катионный обмен для монокристалльных зерен семи лабунцовитов в водных растворах: NaCl, Na₂CO₃, K₂CO₃, CaCl₂, SrCl₂, BaCl₂, CsCl [16]. Ромбические фазы, а также некоторые моноклинные с максимальной упорядоченностью внекаркасных катионов и высокой степенью заселенности позиций не проявляют катионообменных свойств в мягких условиях. У минералов с относительно невысокой степенью заселенности катионных позиций в цеолитных полостях и малоупорядоченным размещением в них катионов катионообменные свойства проявляются в заметной степени.

Таким образом, заполнение позиций *A, B, C, D, M*, симметрия и параметры элементарной ячейки у минералов группы лабунцовита различны. В связи с этим выделяется большое количество структурных типов и минеральных видов, которые легли в основу систематики и номенклатуры этой группы.

Систематика и номенклатура

Группа лабунцовита и номенклатура входящих в нее минералов были утверждены решением КНМНК ММА 5 июня 2000 г. [8]. В принятой номенклатуре, кроме общих требований ко всем минералам (в соответствии с рекомендациями КНМНК), сформулированы дополнительные требования конкретно для минералов группы лабунцовита. Согласно принятому определению, к таким минералам относятся кристаллические вещества, основу структуры которых составляют цепочки вершинно-связанных октаэдров (Ti,Nb)(O,OH)₆, соединенных кольцами [Si₄O₁₂] в каркас, содержащий открытые полости или каналы с молекулами воды и внекаркасными катионами. При этом минералы с преобладанием в октаэдрических цепочках разных катионов (Ti и Nb) рассматриваются как разные минеральные виды. Если в Ti-доминантных разновидностях катионная позиция заселена более чем на 50%, то катион, преобладающий в ней, рассматривается как видообразующий и учитывается в названии минерала. В названиях минералов с удвоенным параметром *c* элементарной ячейки используется приставка «пара».

На сегодняшний день минеральные виды группы лабунцовита, утвержденные КНМНК ММА, образуют девять подгрупп. Они представлены в табл.1 в соответствии с их классификацией и номенклатурой.

Подгруппа ненадкевичита

В эту подгруппу входят два изоструктурных минерала — Nb-**ненадкевичит** (Na_{3.76}K_{0.24}Ca_{0.11}Mn_{0.03})[Nb_{2.76}Ti_{1.18}][O_{2.8}(OH)_{1.2}][Si₈O₂₄]·8H₂O [7] и изученный нами его титановый аналог — **коробицынит** Na_{4.4}[Ti_{2.80}Nb_{1.2}][O_{2.4}(OH)_{1.6}][Si₈O₂₄]·7.4H₂O [9] (рис.8).

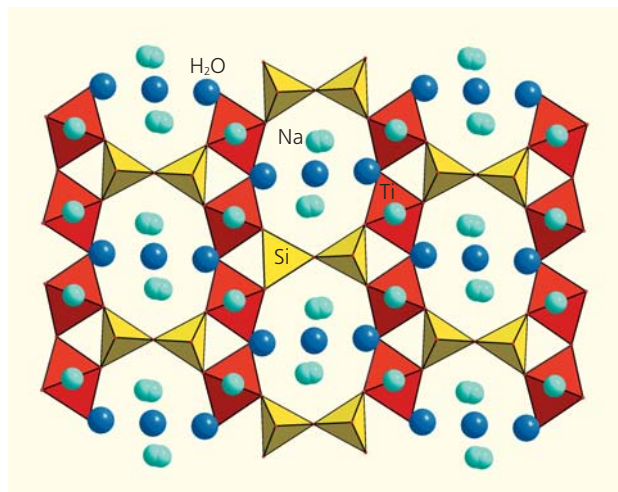


Рис.8. Структура коробицынита.

Таблица 1

Характеристики минералов группы лабунцовита

Минерал	Позиции и состав					Пространственная группа	Подгруппа группы лабунцовита
	A	B	C	D	M		
	Доминирующий катион						
Коробицынит		Na		–	Ti	<i>Pbam</i>	ненадкевичит
Ненадкевичит		Na		–	Nb	<i>Pbam</i>	
Цепинит-Na		Na		□	Ti	<i>Cm</i>	вуориярвит
Цепинит-K		K		□	Ti	<i>Cm</i>	
Цепинит-Ca		Ca		□	Ti	<i>Cm</i>	
Цепинит-Sr		Sr		□	Ti	<i>Cm</i>	
Вуориярвит-K		K		□	Nb	<i>Cm</i>	
Парацепинит-Na		Na		□	Ti	<i>C2/m</i>	парацепинит
Парацепинит-Ba		Ba		□	Ti	<i>C2/m</i>	
Леммлейнит-K	Na	K	K	□	Ti	<i>C2/m</i>	леммлейнит
Леммлейнит-Ba	Na	K	Ba	□	Ti	<i>C2/m</i>	
Лабунцовит-Mg	Na	K	□	Mg	Ti	<i>C2/m</i>	лабунцовит
Лабунцовит-Mn	Na	K	□	Mn	Ti	<i>C2/m</i>	
Лабунцовит-Fe	Na	K	□	Fe	Ti	<i>C2/m</i>	
Паралабунцовит-Mg	Na	K	□	Mg	Ti	<i>I2/m</i>	паралабунцовит
Кузьменкоит-Mn	□	K	□	Mn	Ti	<i>Cm</i>	
Кузьменкоит-Zn	□	K	□	Zn	Ti	<i>Cm</i>	кузьменкоит
Лепхенельмит-Zn	□	Ba	□	Zn	Ti	<i>Cm</i>	
Буроваит-Ca	Na	K	□	Ca	Ti	<i>C2/m</i>	
Карупмёллерит-Ca	□	Na	□	Ca	Nb	<i>C2/m</i>	
Гьердингенит-Na	□	K	□	Na	Nb	<i>C2/m</i>	
Гьердингенит-Ca	□	K	□	Ca	Nb	<i>C2/m</i>	
Гьердингенит-Mn	□	K	□	Mn	Nb	<i>C2/m</i>	
Гьердингенит-Fe	□	K	□	Fe	Nb	<i>C2/m</i>	
Органоваит-Mn	□	K	□	Mn	Nb	<i>C2/m</i>	органоваит
Органоваит-Zn	□	K	□	Zn	Nb	<i>C2/m</i>	
Паракузьменкоит-Fe	□	K	□	Fe	Ti	<i>C2/m</i>	
Гутковаит-Mn	Ca + □	K	□	Mn	Ti	<i>Cm</i>	гутковаит
Алсахаровит-Zn	Na + Sr	K	□	Zn	Ti	<i>Cm</i>	
Нескевараит-Fe	Na + K	K	□	Fe	Ti	<i>Cm</i>	

Примечание: состав позиций указан по преобладающим катионам или вакансиям (□).

Оба найдены в гидротермальных зонах пегматитовых тел (соответственно на горах Карнасурт и Аллуайв) в Ловозерском щелочном массиве. Ненадкевичит назван в честь русского минералога и геохимика К.А.Ненадкевича, а коробицынит — в честь известного минералога и коллекционера минералов М.Ф.Коробицына. Минералы характеризуются пространственной группой *Pbam* с близкими параметрами ромбических ячеек: $a = 7.408$, $b = 14.198$, $c = 7.148$ Å и $a = 7.350$, $b = 14.153$, $c = 7.124$ Å соответственно.

Третий ромбический член этой группы — **коробицынит-Са** $(Ca, \square)_4(Na, \square)_4(Ti, Nb)_4(Si_4O_{12})_2O_4 \cdot 8H_2O$. Он найден близ г.Виндхук (Намибия) в фонолитовом массиве Арис, в составе поздней гидротермальной ассоциации, включающей натролит, эги-

рин, манганонептунит и лабунцовит-Mn. Мы установили, что в ромбических членах группы возможно упорядочение Na и Ca с доминированием кальция в одной из внекаркасных позиций, что приводит к возникновению потенциально нового минерального вида (коробицынита-Са), который относится к подгруппе ненадкевичита [17]. Но коробицынит-Са не прошел апробацию в КНМНК ММА из-за недостаточного количества материала (изучены лишь его химический состав и кристаллическая структура). В отличие от других членов подгруппы, он характеризуется высоким содержанием Са. Параметры его ромбической ячейки соответствуют коробицынитовой: $a = 7.354(1)$, $b = 14.169(1)$, $c = 7.115(1)$ Å, но симметрия минерала понижена от *Pbam* до *P2₁2₁2*. Атомы Са заняли узкие каналы

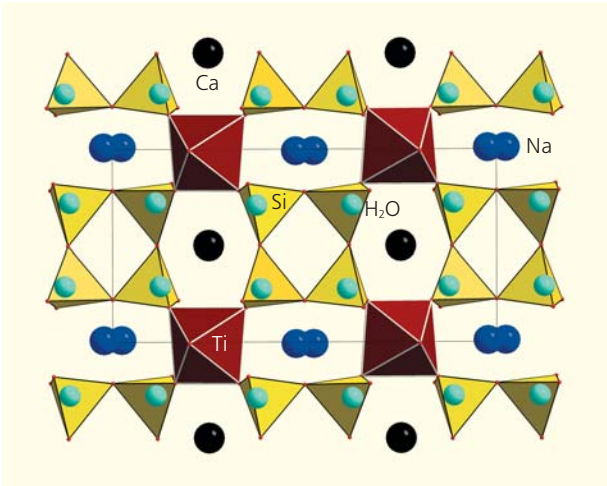
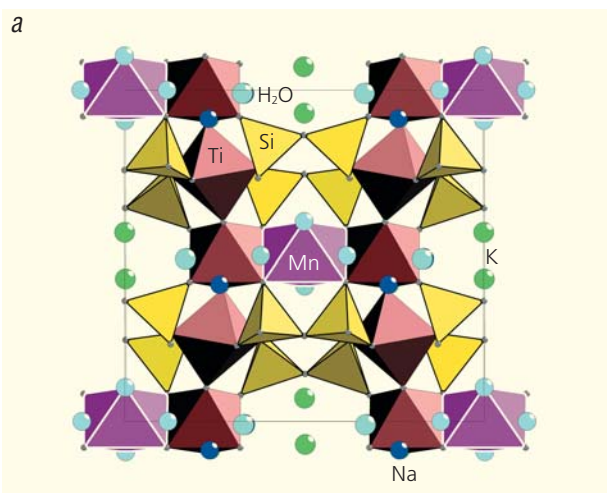


Рис.9. Упорядочение Ca и Na в структуре корундита-Са.

первого типа между двумя трансляционно идентичными колонками октаэдров (рис.9). Их полиэдры представляют собой восьмивершинники со средним расстоянием 2.67 Å, в отличие от корундита, где Na находится в 9-вершиннике с минимальным расстоянием 2.22 Å. Са-аналог корундита занимает промежуточное положение между ненадквечитом и корундитом по составу октаэдров в колонках: отношение Ti/Nb = 0.43 в ненадквечите, 2.33 в корундите и 1.2 в корундите-Са.

Учитывая, что на поздних стадиях эволюции щелочных комплексов нередко наблюдается максимум активности кальция, можно предположить, что корундит-Са мог образоваться путем трансформации корундита в результате частичного ионного обмена Na на Ca, а также (в меньшей степени) — на К.



Подгруппы лабунцовита и паралабунцовита

К подгруппе лабунцовита относятся три минерала с преобладанием Ti в позиции *M*. В позиции *D* находится Mn, Fe или Mg, что отражено в их названиях: лабунцовит-Мn, лабунцовит-Fe и лабунцовит-Мg. Структурный тип паралабунцовита отличается от структурного типа лабунцовита только удвоением параметра *c* в результате упорядочения катионов и молекул воды в позициях *C* и упорядочения катионов и вакансий в позиции *D*.

Лабунцовит-Мn $\text{Na}_4\text{K}_4\text{Mn}_2\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O},\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ найден на горе Куфтньюн (Ловозерский массив) и изучен Н.И.Органовой [9] (рис.10, *a*). **Лабунцовит-Fe** $\text{Na}_4\text{K}_4\text{Fe}_2\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O},\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (гора Кукисвумчорр, Хибинский массив) и **лабунцовит-Мg** $\text{Na}_4\text{K}_4\text{Mg}_2\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{O},\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Ковдорский массив) обнаружены А.П.Хомяковым [9]. Впоследствии они встречались в гидротермальных зонах многих щелочных пегматитов и карбонатов. Все три минерала изоструктурны, и параметры их моноклинных ячеек лишь в незначительной степени зависят от химического состава: $a = 14.29$, $b = 13.85$, $c = 7.78$ Å, $\beta = 116.8^\circ$; $a = 14.25$, $b = 13.79$, $c = 7.78$ Å, $\beta = 116.8^\circ$; $a = 14.29$, $b = 13.75$, $c = 7.79$ Å, $\beta = 117.0^\circ$ соответственно для лабунцовита-Fe, лабунцовита-Мn и лабунцовита-Мg.

Потенциально новый минерал **лабунцовит-□** $\text{Na}_2\text{K}_2(\square,\text{Ba})_2(\square,\text{Mn})\text{Ti}_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{OH},\text{O})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ также относится к этой подгруппе, но в его структуре обе позиции (*C* и *D*) преимущественно вакантны. Структура минерала изучена нами на образце, найденном в долине Гакмана на горе Юкспор (Хибинский щелочной массив) [18]. Параметры ячейки: $a = 14.298(7)$, $b = 13.816(7)$, $c = 7.792(3)$ Å, $\beta = 116.85(5)^\circ$. В структуре лабунцовита-□ (рис.10, *b*) позиция *D* на 47% занята Mn+Fe, а позиция *C* —

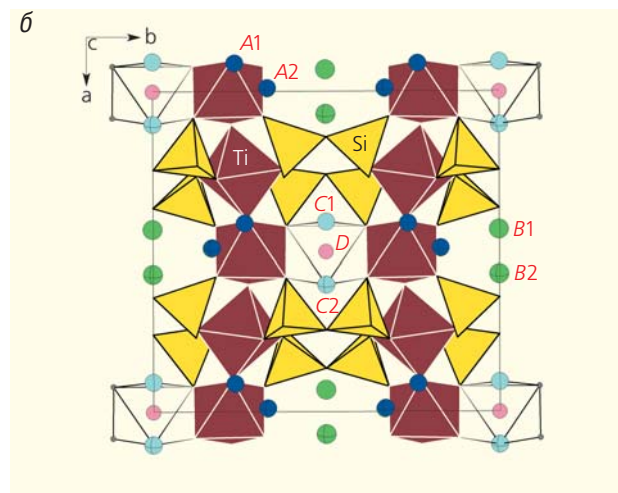


Рис.10. Кристаллическая структура лабунцовита-Мn (а) и лабунцовита-□ (б).

смешанная. Она на 37% заселена Ва и на 47% молекулами воды, координирующими Mn.

Паралабунцовит-Mg первоначально был найден Х.Милтоном в низкотемпературной ассоциации минералов из щелочно-карбонатной формации Грин Ривер (штат Вайоминг, США) и описан как моноклинный лабунцовитовый минерал с удвоенной ячейкой и пространственной группой $I2/m$ [9]. Его кристаллическую структуру изучили позже на образце из пород Хибинского массива [19]. Параметры ячейки паралабунцовита-Mg: $a = 14.278(1)$, $b = 13.778(1)$, $c = 15.592(2)$ Å, $\beta = 116.76(1)^\circ$.

Параметры элементарных ячеек двух других потенциально новых минералов — **паралабунцовита-□** из щелочной формации Турий Мыс (на берегу Белого моря, Кольский п-ов) и **паралабунцовита-Fe** $\text{Na}_2\text{K}_2(\text{Fe},\text{Mg})(\text{Ti},\text{Nb})_4(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2(\text{O},\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (гидротермального минерала из карбонатитов массива Вуориярви в Карелии) — следующие: $a = 14.24$, $b = 13.77$, $c = 15.57$ Å, $\beta = 116.8^\circ$; $a = 14.429(2)$, $b = 13.894(2)$, $c = 15.660(2)$ Å, $\beta = 117.37(1)^\circ$ соответственно [20].

Подгруппа леммлейнита

В отличие от подгруппы лабунцовита, минералы леммлейнитового типа *D*-вакантны и, соответственно, *C*-заполнены. Леммлейнит назван в честь советского минералога и кристаллографа Г.Г.Леммлейна. В подгруппах лабунцовита и леммлейнита существуют минералы с промежуточными вариантами заполнения позиций *C* и *D*, и отнесение их к лабунцовитам или леммлейнитам зависит от преобладания катионов в *D*- или *C*-позиции.

Среди минералов со структурой лабунцовита особое место занимает изученный нами **леммлей-**

нит-К $\text{Na}_2\text{K}_2\text{K}_2(\text{Ti},\text{Nb})_4(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2(\text{O},\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [9]. Этот предельно калиевый член изоморфного семейства не содержит двухвалентных катионов в позиции *D* (рис.11,*a*). Мы предположили, что кристаллизация леммлейнита-К с горы Коашва (Хибинский щелочной массив) начиналась как ромбического минерала при относительно высокой температуре, а в процессе последующей трансформации, в результате понижения температуры и при отсутствии таких элементов, как Mg, Mn, Fe и Zn, его симметрия понизилась до моноклинной.

В структуре леммлейнита-К *B*-позиция для К — основная, а избыточное его количество входит также в позицию *C*, конкурируя там с Ва и молекулами воды. Леммлейнит-К и близкие к нему высококалиевые минералы со структурой лабунцовита и преобладанием К над Ва в позиции *C* характеризуются повышенным содержанием Nb.

Леммлейнит-Ва $\text{Na}_4\text{K}_4\text{Ba}_2\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4\text{O}_4(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (гора Кукисвумчорр) [21] с содержанием Ва более двух атомов на формулу характеризуется высокой степенью упорядочения Na, К и Ва в позициях *A*, *B* и *C* соответственно, при доминировании Ва в последней (рис.11,*б*). Параметры ячейки леммлейнита-К и леммлейнита-Ва равны соответственно: $a = 14.33$, $b = 13.83$, $c = 7.79$ Å, $\beta = 117.1^\circ$ и $a = 14.22$, $b = 13.75$, $c = 7.77$ Å, $\beta = 116.7^\circ$.

Подгруппы вуориярвита и парацепинита

Среди моноклинных членов группы лабунцовита наиболее разупорядоченными и «рыхлыми» структурами характеризуются минералы подгруппы вуориярвита. По составу *M*-катионов в октаэдрах цепочек различаются собственно вуориярвиты (Nb-доминантные) и цепиниты (Ti-доминантные).

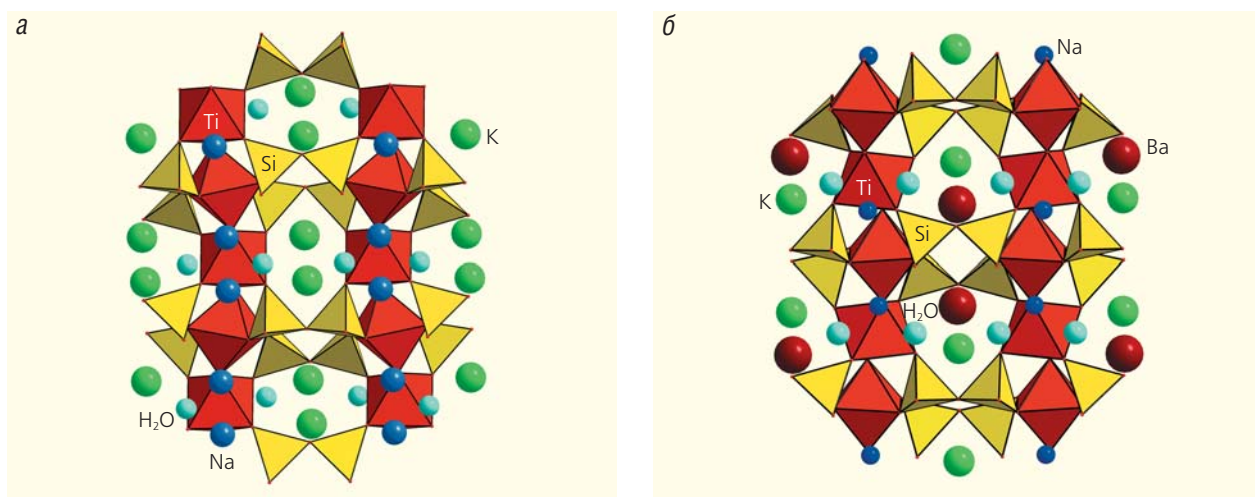


Рис.11. Кристаллическая структура леммлейнита-К (а) и леммлейнита-Ва (б).

Экспериментально установлено, что члены подгруппы вуориярвита обладают наиболее сильно выраженными (среди всех лабунцовитов) катионообменными свойствами, поскольку они обеднены *D*-катионами, которые перекрывают часть цеолитных каналов (рис.12).

Вуориярвит назван по месту находки в Кандалакшском р-не Мурманской обл., в массиве Вуориярви (в окрестностях оз.Вуориярви, что в переводе с финского означает «Горное озеро»). Среди вуориярвитов только вуориярвит-К, описанный мною как обогащенный К ненадквечит [9], а позже изученный В.В.Субботиным [9], утвержден в качестве самостоятельного минерального вида. Некоторые особенности строения каркаса **вуориярвита-К** $(K,Na)_{12-x}Nb_8(Si_4O_{12})_4O_8 \cdot nH_2O$ ($x = 0-6$, $n = 12-16$) из гидротермально измененных карбонатитов сближают вуориярвит с ромбическими минералами: ненадквечитом и коробицынитом. К числу этих особенностей относятся отсутствие дополнительных сшивающих (Mn,Fe,Mg,Zn)-октаэдров. С другой стороны, вуориярвит характеризуется взаимными разворотами соседних (Nb,Ti)-октаэдров вокруг оси цепочки (подобно тому, как это происходит в структуре лабунцовита). В результате образуются крупные полости, которые могут заполняться ионами К, Ва и оксония. В итоге установлено большое количество внекаркасных позиций. Многие из них сближены до расстояний, которые исключают их одновременное заполнение, а в большинстве внекаркасных позиций преобладают вакансии.

Итак, вуориярвит-К — наиболее неупорядоченный из структурно изученных минералов группы лабунцовита. Его неупорядоченность проявляется в отсутствии центра симметрии (см. рис.12). Параметры элементарной ячейки: $a = 14.692$, $b = 14.164$, $c = 7.859$ Å, $\beta = 117.87^\circ$.

К вуориярвиту-К структурно близок его Na,Ti-аналог — **цепинит-На** $(Na,H_3O,K,Sr,Ba)_2(Ti,Nb)_2[Si_4O_{12}](OH,O)_2 \cdot 3H_2O$ с горы Эвеслогчорр (Хибинский массив), описанный нами [9]. Минерал моноклинный. Он назван в честь российского минералога А.И.Цепина. Параметры его ячейки следующие: $a = 14.604(7)$, $b = 14.274(8)$, $c = 7.933(2)$ Å, $\beta = 117.40(3)^\circ$. Хотя цепинит-На в целом доминантно титановый минерал, заселенности двух октаэдрических позиций в его структуре различны: в одном независимом октаэдре преобладает Ti, а во втором — Nb. Другая особенность цепинита-На состоит в том, что в его структуре присутствуют восемь внекаркасных позиций, которые содержат крупные катионы (Na, K, Ba, Sr, Ca, H₃O). Таким образом, по симметрии, параметрам ячейки, катионному разупорядочению в заполнении внутри-

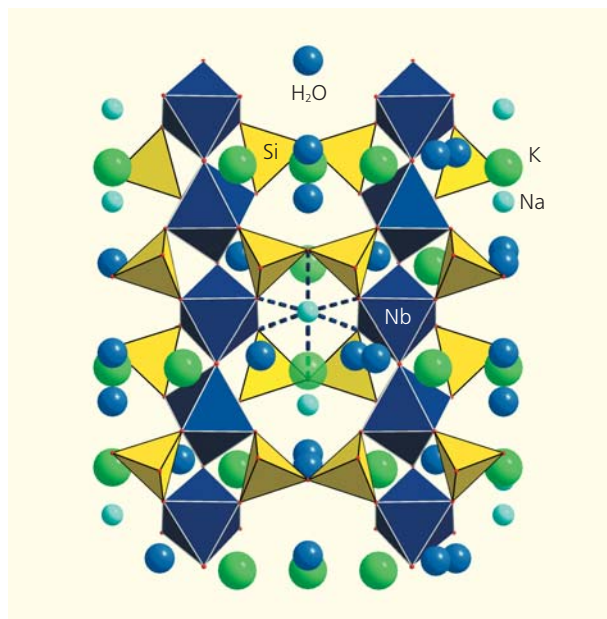


Рис.12. Структурный тип вуориярвита.

каркасных полостей и отсутствию существенных примесей *D*-катионов цепинит-На ближе всего к вуориярвиту-К и отличается от него главным образом замещением большей части атомов К на группы H₃O и, частично, Na на Sr.

К цепиниту-На близок нецентросимметричный **цепинит-К** $(K,Na,Ba)_4(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(OH,O)_4 \cdot 6H_2O$ с преобладанием вакансий в позиции *D*, обнаруженный в одном из пегматитов горы Карнасурт. От цепинита-На он отличается преобладанием К среди внекаркасных катионов [9]. Параметры его ячейки: $a = 14.3265(3)$, $b = 13.802(2)$, $c = 7.783(1)$ Å, $\beta = 116.949(3)^\circ$. Цепинит-К и лабунцовит-□, несмотря на очень близкий химический состав, отличаются по многим признакам: оптическим свойствам, морфологии кристаллов, рентгенограммам порошков. Эти минералы относятся к разным структурным типам, отличаясь по симметрии и упорядоченности внекаркасных компонентов и, таким образом, считаются полиморфами. Цепинит-К может в целом рассматриваться как К-доминантный аналог цепинита-На, но при этом он сочетает элементы различных структур лабунцовитов (подгрупп гутковаита, леммлейнита, кузьменкоита и вуориярвита), обладая комбинированным структурным типом.

Цепинит-Са с формулой $(Ca,K,Na,\square)_2(Ti,Nb)_2(Si_4O_{12})(OH,O)_2 \cdot 4H_2O$ впервые описан как Са-доминантный аналог цепинита-На и цепинита-К из гидротермально измененных пегматитовых пород горы Юкспор [22]. Минерал моноклинный (пространственная группа $C2/m$). Параметры его ячейки

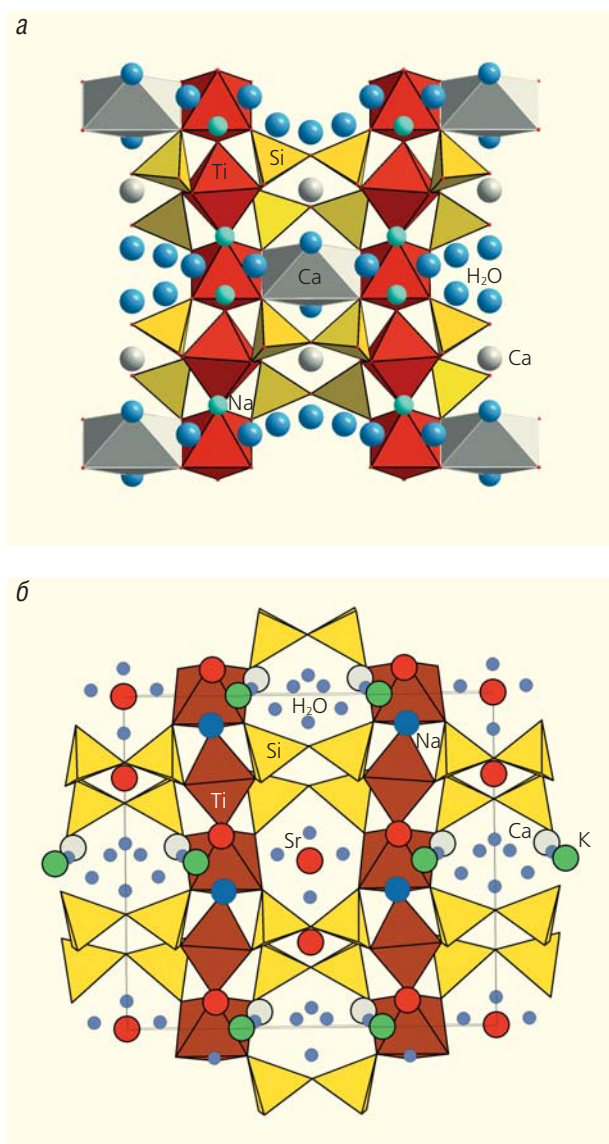
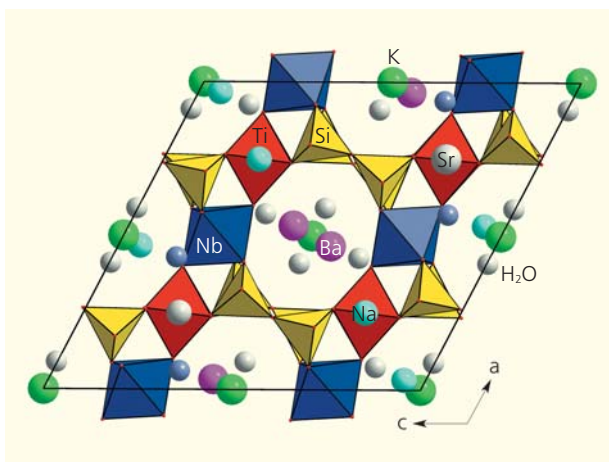


Рис.13. Структура цеппинита-Ca (а) и цеппинита-Sr (б).

Рис.14. Удвоенный *c*-параметр в структуре парацеппинита-Na.

ки: $a = 14.484(4)$, $b = 14.191(4)$, $c = 7.907(2)$ Å, $\beta = 117.26(2)^\circ$. В структуре цеппинита-Ca (рис.13,а) кальцием заселены следующие ключевые позиции: $B = [\text{Ca}_{0.52}\text{Sr}_{0.40}(\text{H}_2\text{O})_{2.6}\square_{0.48}]_{\Sigma 4}$; $C' = (\text{Ca}_{0.84}\square_{3.16})_{\Sigma 4}$; $D = (\text{Ca}_{0.85}\text{Mn}_{0.05}\text{Fe}_{0.01}\text{Zn}_{0.03}\square_{1.06})_{\Sigma 2}$.

Цеппинит-Sr ($\text{Sr}, \text{Ba}, \text{K}$)(Ti, Nb)₂(Si_4O_{12})(OH, O)₂·3H₂O — один из наиболее редких минералов группы лубанцовита. Он установлен в составе гидротермального парагенезиса в полостях нефелин-сиенитового пегматита на горе Эвслогчорр [23]. Характерная особенность этого пегматита состоит в разнообразии позднегидротермальных минералов группы лубанцовита, представленных членами структурных типов с низкой упорядоченностью внекаркасных катионов. В образце с горы Хибинпахкчорр (Хибинский щелочной массив) в минералах данной группы установлено самое высокое содержание Sr (8.6 мас.% SrO). Параметры элементарной ячейки цеппинита-Sr: $a = 14.490(3)$, $b = 14.23(1)$, $c = 7.881(3)$ Å, $\beta = 117.28(2)^\circ$. В каналах, параллельных координатным осям, находятся атомы Sr, K, Ca, Na, Ba и молекулы воды, которые статистически, с заселенностью менее 0.5, занимают 15 позиций, в каждой из них преобладают вакансии. Это самое большое (за редким исключением) количество внекаркасных позиций среди всех представителей группы лубанцовита (рис.13,б). Во всех этих позициях преобладают вакансии, а позиция *D* вакантна на 80%, что типично для представителей подгруппы вуориярвита. Множество расщепленных позиций и особенности распределения катионов в них приводят к понижению симметрии от $C2/m$ до Cm . Цеппинит-Sr может рассматриваться как наиболее катионо-разупорядоченный член подгруппы вуориярвита. От цеппинита-Na он отличается не только преобладанием Sr среди внекаркасных катионов, но и его распределением.

К подгруппе парацеппинита относятся два минерала с удвоенным *c*-параметром и пространственной группой $C2/m$, которые различаются распределением катионов по позициям. Эти гидротермальные минералы образуются в результате трансформационных процессов при охлаждении. Кристаллы **парацеппинита-Na** ($\text{Na}, \text{Sr}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Ba}$)₁₀(Ti, Nb)₁₆[Si_4O_{12}]₈·12H₂O с параметрами ячейки $a = 14.596(2)$, $b = 14.249(2)$, $c = 15.952(3)$ Å, $\beta = 117.270(3)^\circ$ [24] образуют эпитаксиальные сростки с кристаллами лубанцовита в пегматитовых породах горы Хибинпахкчорр (рис.14). **Парацеппинит-Ba** ($\text{Ba}, \text{Na}, \text{K}$)_{24-x}(Ti, Nb)₁₆[Si_4O_{12}]₈(OH, O)₁₆· $n\text{H}_2\text{O}$ ($x = 0-12$, $n = 24-32$) с горы Лепхе-Нельм (Ловозерский щелочной массив) [25] характеризуется следующими параметрами ячейки: $a = 14.55$, $b = 14.00$, $c = 15.70$ Å, $\beta = 117.6^\circ$.

Подгруппа кузьменкоита

В минералах подгруппы кузьменкоита позиция А вакантна из-за низкого содержания Na, что служит их главным отличием от лабунцовитов, где она преимущественно им заселена. Эта самая большая подгруппа характеризуется значительным химическим разнообразием. Она объединяет 10 минеральных видов, включая потенциально новый минерал лепхенельмит-Мп.

Кузьменкоит назван в честь советского геохимика М.В.Кузьменко. Смешанный каркас минерала аналогичен лабунцовитовому. Позиция D занята практически полностью. В результате позиция С заселена преимущественно молекулами воды.

Кузьменкоит-Мп с формулой $K_4[(H_2O)_4Mn_2] [(Ti,Nb)_8(O,OH)_8][Si_4O_{12}]_8 \cdot 8H_2O$ найден в гидротермально измененных мурманитовых луювритах гор Сэлсурт и Кедыкверпахк (Ловозерский щелочной массив). Минерал содержит менее 1% Na_2O . Позиция D кроме Mn (с его преобладанием) содержит изоморфные примеси Fe и Mg, а также вакансии [9]. В последнем случае в вершинах D-октаэдра возможно замещение H_2O на Ba и K. Параметры элементарной ячейки кузьменкоита-Мп близки к параметрам лабунцовита: $a = 14.369$, $b = 13.906$, $c = 7.812$ Å, $\beta = 117.09^\circ$, а пониженная симметрия обусловлена различиями в заполнении позиций, связанных псевдоосью второго порядка.

Кузьменкоит-Zn $K_2Zn(Ti,Nb)_4(Si_4O_{12})_2(OH,O)_4 \cdot 6-8H_2O$, аналог кузьменкоита-Мп с существенным преобладанием Zn над Mn, установлен в гидротермально переработанной зоне трех пегматитовых тел на горе Лепхе-Нельм и описан Н.В.Чукановым [9]. Минерал моноклинный с пространственной группой *Sm* и параметрами элементарной ячейки: $a = 14.40(1)$, $b = 13.851(4)$, $c = 7.781(9)$ Å, $\beta = 117.33(8)^\circ$. Источником цинка в нем послужил сфалерит ZnS , который разложился в постмагматических гидротермальных условиях.

Лепхенельмит-Zn с формулой $Ba_2Zn(Ti,Nb)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 7H_2O$ установлен в агапитовом пегматите на горе Лепхе-Нельм и назван по месту находки [26]. Он ассоциирует с другими лабунцовитами (кузьменкоитом-Zn, цепинитом-Na, парацепинитом-Ba и др.). Параметры элементарной ячейки этого минерала: $a = 14.381(3)$, $b = 13.889(3)$, $c = 7.793(2)$ Å, $\beta = 117.52(3)^\circ$. Он — четвертый цинковый представитель группы лабунцовита (после кузьменкоита-Zn), с которым образует изоморфный ряд. В то же время лепхенельмит-Zn — третий бариевый член подгруппы (после леммлейнита-Ba и парацепинита-Ba). Такое разнообразие видов свидетельствует о сильном сродстве лабунцовитоподобных структур к катионам Zn и Ba, а лепхе-

нельмит-Zn — первое природное соединение, в котором Ba и Zn одновременно становятся видообразующими компонентами. К формированию минерала со столь необычным для природных соединений сочетанием катионов привело локальное обогащение гидротермального раствора одновременно Ba и Zn, которые высвобождались при растворении содержащих их ранних минералов. Кроме того, важным условием представляется окислительная обстановка, которая не позволяет Zn, имеющему большое сродство к S^{2-} , принять сульфидную форму.

Внекаркасные катионы, среди которых доминирует Ba, и молекулы воды занимают в цеолитных полостях большое число позиций, нередко расщепленных и, как правило, сильно вакансионных. В структуре лепхенельмит-Zn обнаружены 10 (без учета расщеплений) А-позиций щелочноземельных и щелочных катионов и пять позиций молекул воды, которые находятся в вершинах D-октаэдра.

Подгруппе кузьменкоита принадлежит и **карупмёллерит-Са** $(Na,K,Ca)_4Ca_2(Nb,Ti)_8[Si_4O_{12}]_4(OH,O)_8 \cdot nH_2O$ из гидротермально измененного пегматита щелочного комплекса Илимаусак. Он назван в честь датского минеролога С.Каруп-Мёллера.

Содержание Са в собственно лабунцовитах не превышает 0.1 атома на элементарную ячейку. Вместе с тем, известны представители, в составе которых содержание Са существенно больше. В структуре карупмёллерита-Са [27] в D-октаэдрах, заполненных на 70% катионами Са и Mg, преобладает Са. Расстояния катион—кислород в этих октаэдрах больше (2.48–2.56 Å, при среднем 2.53 Å), чем средние расстояния D—O в леммлейните-Ba и кузьменкоите-Mn (2.16 и 2.17 Å соответственно). Особенности карупмёллерита-Са заключается и в заполнении С-позиции катионами Са и Na, а не Ba и K, как в большинстве остальных членов группы. Таким образом, Са в этой структуре играет двойную роль: как часть квазикаркаса в позиции D и как внекаркасный катион в позиции С.

В структуре карупмёллерита-Са при общем сходстве со структурой кузьменкоита-Мп отмечается значительный дефицит внекаркасных катионов (2.8 из теоретически возможных 12). Замещение Ti на более крупный Nb, а Mn — на Са и повышенное содержание H_2O приводят к некоторому увеличению параметров элементарной ячейки по сравнению с кузьменкоитом-Мп: $a = 14.641(1)$, $b = 14.214(1)$, $c = 7.9148(2)$ Å, $\beta = 117.36(1)^\circ$.

Помимо кузьменкоитов и карупмёллерита-Са, к этой подгруппе относятся их Nb-доминантные аналоги — члены гьердингенитовой системы твердых растворов, которые различаются доминирую-

щим катионом в *D*-позиции. Первые представители данной изоморфной серии — **гьердингенит-Fe** $K_4Fe_2Nb_8(Si_4O_{12})_4O_8 \cdot nH_2O$ и **гьердингенит-Mn** $K_4Mn_2Ti_8(Si_4O_{12})_4(OH)_8 \cdot nH_2O$ — открыты в минеральных ассоциациях гидротермального генезиса щелочных гранитов комплекса Гьердинген (Норвегия) и названы по месту находки [28]. В их структурах позиция *D* занята Fe и Mn соответственно.

Гьердингенит-Na $(K,Na)_2Na(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(OH,O)_4 \cdot 5H_2O$ и **гьердингенит-Sa** $K_2Ca(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ — аналоги гьердингенита-Fe и гьердингенита-Mn с доминированием Na и Ca в позиции *D* [29]. Они — продукты изменения гетерофиллосиликата вуоннемита $Na_{11}Nb_2Ti(Si_2O_7)_2(PO_4)_2O_3F$ под воздействием щелочных гидротермальных растворов. Гьердингенит-Na найден в щелочном массиве Сент-Илер в виде псевдоморфоз по кристаллам вуоннемита размером до 12 см в ассоциации с цеолитами. Гьердингенит-Sa обнаружен на горе Карнасурт также в виде псевдоморфоз по хорошо ограниченному кристаллам вуоннемита в ассоциации с натролитом, органовайтом-Mn и -Zn, бериллитом, эпидидимитом и йофортьеритом.

В структуре гьердингенита-Sa *D*-октаэдр заполнен на 65% главным образом Ca, а соседняя позиция *C* соответственно заселена меньше, чем на 50%. Позиция *A* вакантна, в то время как позиция *B* занята катионами $K_{0.46}Na_{0.21}□_{0.33}$. Гьердингенит-Sa — второй после карупмёллерита-Sa член группы лабунцовита с доминированием Ca в позиции *D*, что служит причиной больших параметров ячейки по сравнению с параметрами гьердингенита-Fe и гьердингенита-Mn и сравнимых с параметрами карупмёллерита-Sa: $a = 14.626(2)$, $b = 14.160(1)$, $c = 7.910(1)$ Å, $\beta = 117.43(2)^\circ$ и $a = 14.6365(6)$, $b = 14.2049(5)$, $c = 7.8919(4)$ Å, $\beta = 117.467(5)^\circ$ для гьердингенита-Na и гьердингенита-Sa.

Таким образом, оба минерала, гьердингенит-Na и гьердингенит-Sa, изоструктурны с гьердингенитами-Fe и Mn и демонстрируют двоякую роль катионов Na и Ca, в отличие от более крупных катионов K и Ba, которые занимают только внекаркасные позиции.

Буровайт-Sa $(Na,K,Sr,Ba)_5Ca_2(Ti,Nb)_8[Si_4O_{12}]_4(OH,O)_8 \cdot 12H_2O$ происходит из гидротермальной зоны эгирин-микроклинового пегматита горы Хибинпахчорр [30]. Он образует кристаллы размером 0.5–2 мм в ассоциации с некоторыми лабунцовитами (лабунцовитом-Mn, цепинитом-Na, параципинитом-Na), цеолитами (анальцимом, натролитом) и рядом других водных минералов гидротермального генезиса. Буровайт-Sa назван в честь химика-минералога Т.А.Буровой. Параметры его ячейки: $a = 14.529(3)$, $b = 14.203(3)$, $c = 7.899(1)$ Å,

$\beta = 117.37(1)^\circ$. Позиция *D* октаэдрически координирована и занята атомами Ca с заселенностью 65%. Буровайт-Sa изоструктурен с гьердингенитом-Sa и карупмёллеритом-Sa и отличается от последнего составом двух независимых октаэдров цепочек $[(Ti_{0.67}Nb_{0.33})]$ и $[(Ti_{0.77}Nb_{0.23})]$ и частичным заполнением позиции *A* атомами Na.

Подгруппа органовайта

Органовайт назван в честь советского кристаллографа Н.И.Органовой. К его структурному типу относятся минералы, кристаллизующиеся в пространственной группе *C2/m* с удвоенным, по сравнению с лабунцовитами, параметром *c*. В этих минералах позиция *D* заполнена малыми двухвалентными катионами Mn, Zn, Fe, позиция *A* у них вакантна, а в обеих позициях внекаркасных катионов присутствуют главным образом крупные катионы K и Ba. Удвоение параметра *c* в органовайтах имеет иную природу, чем в паралабунцовитах с пространственной группой *I2/m*. Оно обусловлено не только упорядоченностью *D*-катионов, но и тем, что в их структурах соседние октаэдрические слои трансляционно неэквивалентны. Эти особенности, а также конфигурация каркаса, сближают данную подгруппу с подгруппой кузьменкоита.

К подгруппе органовайта относятся изоструктурные Nb-доминантные минералы **органовайт-Mn** $K_2Mn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ [31] и **органовайт-Zn** $K_2Zn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ [32] и их Ti,Fe-аналог — **паракузьменкоит-Fe** $(K,Ba)_2Fe(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 7H_2O$ [33].

Органовайт-Mn и органовайт-Zn образуют непрерывный изоморфный ряд. Содержания других *D*-катионов (Mg и Fe) в этих минералах невысоки. Параметры их ячеек следующие: $a = 14.55$, $b = 14.00$, $c = 15.70$ Å, $\beta = 117.6^\circ$ и $a = 14.535$, $b = 13.93$, $c = 15.665$ Å, $\beta = 117.6^\circ$ соответственно.

Органовайт-Mn и органовайт-Zn найдены в гидротермально переработанной пегматоидной породе горы Карнасурт. Источником Mn и Zn для них послужили серандит $NaMn_2Si_3O_8OH$ и сфалерит ZnS, разложившиеся под воздействием щелочных гидротермальных растворов. Подобно гьердингениту-Na и гьердингениту-Sa, органовайт-Mn и органовайт-Zn образуют псевдоморфозы по кристаллам вуоннемита, реже они встречаются в виде самостоятельных мелких кристаллов.

Паракузьменкоит-Fe с формулой $(K,Ba)_2Fe(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 7H_2O$ из щелочного пегматита горы Кедыкверпахк характеризуется следующими параметрами элементарной ячейки: $a = 14.41$, $b = 13.88$, $c = 15.59$ Å, $\beta = 117.5^\circ$ [33]. Избыток (0.2

атома на формулу) *D*-катионов (Fe, Mn, Zn, Mg) в его составе может быть связан (как и в случае организованных) с вхождением во внекаркасную позицию части Zn или Mn в виде комплекса $[M(H_2O)_2]^{2+}$.

Подгруппа гутковаита

Гутковаит назван в честь советского минералога Н.Н.Гутковой. Его структурный тип по заполнению позиций *A*, *B* и *C* аналогичен структурному типу лабунцовита. Однако если для centrosymmetric структур минералов подгруппы лабунцовита и леммлейнита характерны две *A*-позиции, связанные осью симметрии второго порядка, то в структуре представителей данной подгруппы эти *A*-позиции не эквивалентны. Они либо заняты разными катионами, либо одна из них вакантна. Такая упорядоченность в заселении разнотипных *A*-позиций (в меньшей степени *C* и *B*), определяет понижение симметрии от $C2/m$ до Cm (см. табл.1). Кроме того, в структурах гутковаита и его аналогов наблюдается избирательное вхождение ионов Ва только в одну из позиций в вершинах *D*-октаэдра, которые заняты преимущественно молекулами H_2O . Это также одна из причин понижения симметрии.

Первым структурно изученным представителем подгруппы гутковаита стал **гутковаит-Mn** $CaK_2Mn(Ti,Nb)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 5H_2O$ — низконатриевый и одновременно Са-содержащий представитель группы лабунцовита [34], обнаруженный на горе Малый Маннепахк (Хибинский щелочной массив). Параметры его моноклинной ячейки: $a = 14.30(2)$, $b = 13.889(7)$, $c = 7.760(10)$ Å, $\beta = 117.51^\circ$. В структуре гутковаита-Mn реализуется принципиально иное, чем в других лабунцовитах, распределение внекаркасных катионов, в том числе Са.

К структурному типу гутковаита относятся также алсахаровит-Zn и нескевараит-Fe. **Алсахаровит-Zn** $NaSrKZn(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ — Zn-доминантный минерал с горы Лепхе-Нельм [35], названный в честь советского геолога А.С.Сахарова. Параметры элементарной ячейки минерала: $a = 14.491(6)$, $b = 13.911(6)$, $c = 7.822(4)$ Å, $\beta = 117.59(1)^\circ$ (рис.15). Алсахаровит-Zn обладает смешанным составом катионов и содержит в значительных количествах Na, Ca, K, Ba, Sr, которые с хорошей селективностью занимают собственные позиции. В позиции *A1* находится весь кальций и часть натрия, в позиции *A2* — весь стронций и остальная часть натрия. Позиция *B* заселена только калием, позиция *C1* — только барием, а позиция *C2* содержит молекулы воды. Таким образом, алсахаровит-Zn демонстрирует уникальный случай «структурной сепарации»

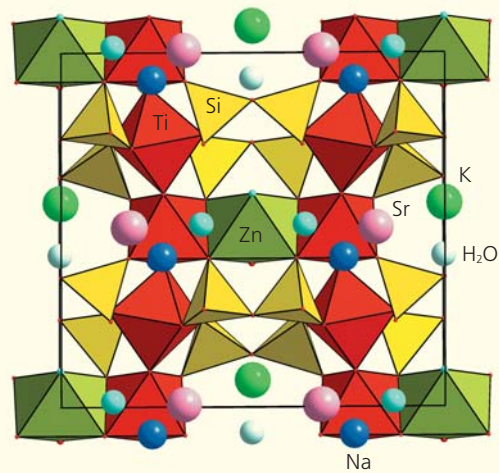


Рис.15. Кристаллическая структура алсахаровита-Zn.

химических элементов. Еще одна его особенность — почти полная заселенность позиции *D* средними по размеру катионами (с доминированием Zn). Нужно отметить, что в алсахаровите-Zn впервые для группы лабунцовита установлена видообразующая роль стронция, как и в цепините-Sr.

Нескевараит-Fe с формулой $K_3Na_2Fe^{2+}(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 5-6H_2O$ обнаружен в керне скважины на участке Нескевара в массиве Вуориярви и назван по месту находки. Его бледно-коричневые призматические кристаллы размером до 6 мм находятся в полостях гидротермально измененных карбонатитов. Параметры элементарной ячейки: $a = 14.450(6)$, $b = 13.910(6)$, $c = 7.836(4)$ Å, $\beta = 117.420(5)^\circ$. Состав минерала характеризуется преобладанием Fe в позиции *D*, а атомы Na, K и Ba упорядочились по внекаркасным позициям *A*, *B* и *C* [36].

Упорядоченность в заселении разнотипных *A*-, *B*- и *C*-позиций делает минералы подгруппы гутковаита (табл.2) наиболее эффективными «разделителями» щелочных и щелочноземельных катионов не только среди членов группы лабунцовита, но и, вероятно, среди природных соединений вообще, что может иметь важное практическое значение.

Вместо заключения

Выделение видов, особенно в таких сложных системах, как лабунцовитовая, часто вызывает вопросы. Минералогическая наука определяет минеральный вид как непрерывную изоморфную серию, а «разрезание серий» воспринимается как искусственный подход, противоречащий законам природы. Кроме того, многие исследователи счи-

Таблица 2

Распределение различных компонентов по позициям в минералах подгруппы гутковаита

Минерал	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D
Гутковаит-Mn	Ca _{1,2} □ _{0,8}	H ₂ O	K _{0,5}	K _{2,4}	K _{0,2}	Ba _{0,2}	(Mn,Fe) _{1,8}
Нескеварит-Fe	Na _{2,4}	K _{1,6}	K _{1,4}	K _{0,8}	Ba _{0,5}	K _{0,7}	Fe _{0,7} Mg _{0,4}
Алсахаровит-Zn	Na _{0,7} Ca _{0,7}	Sr _{0,7} Na _{0,3}	(H ₂ O) _{0,9}	K _{1,0}	Ba _{0,2}	(H ₂ O) _{1,8}	Zn _{1,6} (Mn,Fe) _{0,2}

тают, что без выяснения полей стабильности открытие минеральных видов не имеет право на существование.

То, что правила выделения минеральных видов несовершенны — это факт, который разделяет большинство ученых. Дискуссия на эту тему продолжается до сих пор. Но идеальной системы не бывает, так как всегда приходится соблюдать компромисс между физическим смыслом и простотой. Области разрыва смесимости известны только для очень немногих изоморфных рядов. Кроме того, область несмесимости зависит от условий кристаллизации (вплоть до ее исчезновения), так как далеко не все минералы кристаллизуются и находятся в термодинамически равновесных условиях. Например, цеолиты кристаллизуются при условиях, далеких от их термодинамической стабильности. Другой пример — мурманит, который не может кристаллизироваться непосредственно из расплава. Он образуется в результате выщелачивания фосфата натрия из ломоносовита. И аналогичная ситуация возникает со многими другими трансформационными минеральными видами.

А как быть с карбонатами MSO_3 — сидеритом, магнетитом, смитсонитом, отавитом, сферокобальтитом, гаспейтом, родохрозитом и кальцитом ($M = Fe, Mg, Zn, Cd, Co, Ni, Mn, Ca$)? Первые семь смесимы в любых соотношениях. Как называть подобные минералы? И надо ли учитывать тот факт, что кроме термодинамических, могут быть и геохимические критерии? Магнетит, сферокобальтит и родохрозит обычно кристаллизуются в разных формациях и в ассоциациях различного генезиса. С кальцитом непрерывная смесимость есть только у родохрозита, а в промежуточном члене этого ряда — кутнагорите $CaMn(CO_3)_2$, изоструктурном с доломитом $CaMg(CO_3)_2$, — Ca и Mn упорядочены. С чем объединять кутнагорит в единый минераль-

ный вид — с доломитом или с магнетитом (с обоими он образует непрерывные твердые растворы)? Таких примеров множество.

Серебро и золото смесимы в любых соотношениях. Как называть их промежуточные минералы? Это только самые простые примеры, но они уже иллюстрируют сложность проблемы выделения минеральных видов.

На выяснение полей стабильности не просто понадобится тратить годы. Для большинства минералов (сульфоселей, например) эта задача не будет решена никогда. А называть-то минералы надо уже сегодня. Поэтому и приходится вводить формальные правила для выделения минералов.

Кристаллохимия, термодинамика и геохимия дополняют друг друга. Термодинамические критерии важны (особенно в области петрологии и геохимии магматических пород), но ведь и кристаллохимические критерии не менее значимы. Именно они положены в основу современной систематики минералов. Это связано с тем, что задача определения кристаллической структуры решается, и она решена почти для всех известных минералов, в отличие от определения полей стабильности. Надо только понимать, что правила выделения минеральных видов сформулированы ради простоты и удобства наименования и, конечно, не идеальны. Попытки изменить эти правила предпринимались неоднократно. К примеру, А.С.Поваренных в середине 60-х годов прошлого века предложил свой вариант переименования всех минералов, но он оказался неудобным, а названия громоздкими и неинформативными.

Находки новых лабунцовитоподобных минералов продолжают, что открывает перспективу для дальнейшего минералогического и структурного изучения этой разнообразной и интересной, в том числе и в практическом отношении, группы. ■

Литература / References

1. Лабунцов А.Н. О титановом эльпидите из Хибинских тундр и его парагенезисе. ДАН СССР. Сер.А. 1926: 39–42. [Labuntsov A.N. About titanium elpidite from the Khibiny tundra and its paragenesis. DAN USSR. Ser.A. 1926: 39–42. (In Russ.).]
2. Семенов Е.И., Бурова Т.А. О новом минерале лабунцовите и о так называемом титаноэльпидите. ДАН СССР. 1955; 101(6): 1113–1116. [Semenov E.I., Burova T.A. On the new mineral labuntsovite and the so-called titanoeplidite. DAN USSR. 1955; 101(6): 1113–1116. (In Russ.).]

3. Кузьменко М.В., Казакова М.Е. Ненадкевичит — новый минерал. ДАН СССР. 1955; 100(6): 1159–1160. [Kuzmenko M.V., Kazakova M.E. Nenadkevichite — a new mineral. DAN USSR. 1955; 100(6): 1159–1160. (In Russ.).]
4. Семенов Е.И. Изоморфный ряд лабунцовит—ненадкевичит. Тр. ИМГРЭ. 1959; 2: 102–109. [Semenov E.I. Isomorphic row of labuntsovite—nenadkevichite. IMGRE Proceedings. 1959; 2: 102–109. (In Russ.).]
5. Органова Н.И., Шлюкова З.В., Рудницкая Е.С., Яковлевская Т.А. Структура и свойства минералов изоморфного ряда лабунцовит—ненадкевичит. Тез. докл. Минералогия и минералогическая кристаллография. Свердловск, 1971: 147. [Organova N.I., Shlyukova Z.V., Rudnitskaya E.S., Yakovlevskaya T.A. Structure and properties minerals of isomorphic labuntsovite—nenadkevichite row. Abstracts of the report. Mineralogy and mineralogical crystallography. Sverdlovsk, 1971: 147. (In Russ.).]
6. Головастиков Н.И. Кристаллическая структура щелочного титаносиликата — лабунцовита. Кристаллография. 1973; 18(5): 950–955. [Golovastikov N.I. Crystal structure of sodium titanosilicate — labuntsovite. Crystallography Reports. 1973; 18(5): 950–955. (In Russ.).]
7. Perrault G., Boucher C., Vicat J. et al. Nenadkevichite, $(\text{Na,K})_{2-x}(\text{Nb,Ti})_2(\text{O,OH})_4\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, a new four-fold silica tetrahedra ring structure. Amer. Miner. 1973; 58: 1102–1103.
8. Chukanov N.V., Pekov I.V., Khomyakov A.P. Recommended nomenclature for labuntsovite-group minerals. Eur. J. Mineral. 2002; 1(14): 165–173.
9. Чуканов Н.В., Пеков И.В., Задов А.Е. и др. Минералы группы лабунцовита. М., 2003. [Chukanov N.V., Pekov I.V., Zador A.E. et al. Minerals of the labuntsovite group. Moscow, 2003. (In Russ.).]
10. Golowin R., Holzheid A., Sönnichsen F.D., Chukanov N.V. Formation of solid bituminous matter in pegmatites: constraints from experimentally formed organic matter on microporous silicate minerals Chemie der Erde – Geochem. 2014; 74(3): 343–351.
11. 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. 1996; 100(36): 14978–14983.
12. Чуканов Н.В., Пеков И.В., Расцветаетаева Р.К. Кристаллохимия, свойства и получение микропористых материалов, содержащих переходные элементы. Успехи химии. 2004; 73(3): 227–246. [Chukanov N.V., Pekov I.V., Rastsvetaeva, R.K. Crystal chemistry, properties and production of microporous materials containing transition elements. Uspekhi Khimii. 2004; 73(3): 227–246. (In Russ.).]
13. Aksenov S.M., Bykova E.A., Rastsvetaeva R.K. et al. Microporous crystal structure of labuntsovite-Fe and high-pressure behavior up to 23 GPa. Acta Cryst. 2018; 74: 1–11.
14. Золотарев А.А., Кривовичев С.В. Высокотемпературная кристаллохимия леммлейнита-Ва. ЗРМО. 2005; 134: 101–105. [Zolotarev A.A., Krivovichev S.V. High-temperature crystal chemistry of lemmleinite-Ba. ZRMO. 2005; 134: 101–105. (In Russ.).]
15. Sharygin V.V., Doroshkevich A.G., Seryotkin Y.V. et al. Rippite, $\text{K}_2(\text{Nb,Ti})_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})\text{O}(\text{O,F})$, a new K—Nb-cyclosilicate from Chukhtukon carbonatite massif, Chadobets Upland., Krasnoyarsk territory, Russia. Minerals. 2020; 10(12): 1–28.
16. 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. Тр. Всерос. семинара «Щелочной магматизм Земли». М., 2002: 76. [Pekov I.V., Turchkova A.G., Kononkova N.N., Chukanov N.V. Study of cation exchange properties of labuntsovite-group minerals. I. Experiments in aqueous solutions under normal conditions. Proceedings Vseros. Seminar “Alkaline magmatism of the Earth”. Moscow, 2002: 76. (In Russ.).]
17. Расцветаетаева Р.К., Аксенов С.М., Чуканов Н.В. и др. Кристаллическая структура нового минерала группы лабунцовита — Ca,Na-упорядоченного аналога коробицынита. Докл. РАН! 2013; 452(5): 525–528. [Rastsvetaeva R.K., Aksenov S.M., Chukanov N.V. et al. Crystal structure of a new mineral of the labuntsovite group — Ca,Na-ordered korobitsynite analog. Dokl. RAS. 2013; 452(5): 525–528. (In Russ.).]
18. Розенберг К.А., Расцветаетаева Р.К., Пеков И.В., Чуканов Н.В. Структурные особенности нового катион-дефицитного представителя группы лабунцовита. Кристаллография. 2002; 47(2): 265–266. [Rozenberg K.A., Rastsvetaeva, R.K., Pekov I.V., Chukanov N.V. Structural features of a new cation-deficient member of the labuntsovite group. Crystallography Reports. 2002; 47(2): 265–266.].
19. Золотарев А.А., Кривовичев С.В., Яковенчук В.Н. и др. Высокая степень катионного упорядочения в структуре нового представителя группы лабунцовита. Докл. РАН! 2006; 410(1): 86–90. [Zolotarev A.A., Krivovichev S.V. Yakovenchuk V.N. et al. A high degree of cationic ordering in the structure of a new representative of the labuntsovite group. Dokl. RAS. 2006; 410(1): 86–90. (In Russ.).]
20. Chukanov N.V., Pekov I.V., Rastsvetaeva R.K., Nekrasov A.N. Labuntsovite: Solid Solutions and features of the crystal structure. Canad. Mineral. 1999; 37(4): 901–910.
21. Расцветаетаева Р.К., Чуканов Н.В., Пеков И.В. Кристаллическая структура нового минерала — аналога лабунцовита с высокой упорядоченностью калия и бария. Докл. РАН. 1997; 357(1): 64–67. [Rastsvetaeva, R.K., Chukanov N.V., Pekov I.V. Crystal structure of a new mineral — analog of labuntsovite with high potassium and barium ordering. Dokl. RAS. 1997; 357(1): 64–67. (In Russ.).]
22. Pekov I.V., Chukanov N.V., Ferraris G. et al. Tsepinite-Ca, $(\text{Ca,K,Na},\square)_2(\text{Ti,Nb})_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})(\text{OH},\text{O})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, a new mineral of the labuntsovite group from the Khibiny massif, Kola Peninsula — Novel disordered sites in the vuoriyarvite subgroup structure. N. Jb. Miner. Mh. 2003; 10: 461.
23. Розенберг К.А., Расцветаетаева Р.К., Пеков И.В. и др. Кристаллическая структура высокостронциевого цепинита. Докл. РАН! 2003; 393(6): 784–787. [Rozenberg K.A., Rastsvetaeva R.K.; Pekov I.V. et al. Crystal structure of high strontium tsepinite. Dokl. RAS! 2003; 393(6): 784–787. (In Russ.).]

24. *Органова Н.И., Кривовичев С.В., Шлюкова З.В. и др.* Структура парацепинита-Na и ее место среди минералов группы лабунцовита. Кристаллография. 2004; 49(6): 1042. [*Organova N.I., Krivovichev S.V., Shlyukova Z.V. et al.* Structure paratsepinite-Na and its place among labuntsovite-group minerals. Crystallography Reports. 2004; 49(6): 1042. (In Russ.).]
25. *Чуканов Н. В., Псков И. В., Задов А. Е. и др.* Минералы группы лабунцовита. М., 2003. [*Chukanov, N.V Pekov, I.V., Zador A.E. et al.* Minerals of the labuntsovite group. Moscow, 2003. (In Russ.).]
26. *Пеков И.В., Чуканов Н.В., Шилов Г.В. и др.* 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: 49–59. [*Pekov I.V., Chukanov N.V., Shilov G.V. et al.* Lepkhenelmit-Zn – $Ba_2Zn(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 7H_2O$ – a new mineral of the labuntsovite group and its crystal structure. ZVMO. 2004; 1: 49–59. (In Russ.).]
27. *Ямнова Н.А., Пеков И.В., Кабалов Ю.К. et al.* Crystal structure of the new Ca,Nb-representative of the labuntsovite group. Dokl. RAS! 2000; 375: 487–490.
28. *Raade G., Chukanov N.V., Kolitsch U. et al.* Gjerdingenite-Mn from Norway – a new mineral species in the labuntsovite group: descriptive data and crystal structure. Eur. J. Mineral. 2004; 16: 979–987.
29. *Pekov I.V., Chukanov N.V., Yamnova N.A. et al.* Gjerdingenite-Na and gjerdingenite-Ca, two new mineral species of the labuntsovite group. The Canad. Miner. 2007; 45: 529–539.
30. *Азарова Ю.В., Шлюкова З.В., Золотарев А.А., Органова Н.И.* Буровайт-Са, $(Na,K)_4Ca_2(Ti,Nb)_8[Si_4O_{12}]_4(OH,O)_8 \cdot 12H_2O$ – новый минерал группы лабунцовита и его место в процессах низкотемпературного минералообразования в пегматитах Хибинского массива (Кольский полуостров, Россия). ЗВМО. 2009; 138(2): 40–52. [*Azarova Yu.V., Shlyukova Z.V., Zolotarev A.A., Organova N.I.* Burovaite-Ca, $(Na,K)_4Ca_2(Ti,Nb)_8[Si_4O_{12}]_4(OH,O)_8 \cdot 12H_2O$ is a new mineral of the labuntsovite group and its place in the processes of low-temperature mineral formation in pegmatites of the Khibiny massif (Kola Peninsula, Russia). ZVMO. 2009; 138(2): 40–52. (In Russ.).]
31. *Чуканов Н.В., Пеков И.В., Задов А.Е. и др.* Органовайт-Мн $K_2Mn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ – новый минерал группы лабунцовита из Ловозерского массива, Кольский полуостров. ЗВМО; 2001; 130(2): 46–53. [*Chukanov N.V., Pekov I.V., Zador A.E. et al.* Organovaite-Mn $K_2Mn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ – the new mineral of the labuntsovite group from the Lovozero massif, Kola Peninsula. ZVMO. 2001; 130(2): 46–53. (In Russ.).]
32. *Пеков И.В., Чуканов Н.В., Задов А.Е. и др.* Органовайт-Зн, $K_2Zn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ – новый минерал из группы лабунцовита. ЗВМО. 2002; 131(1): 28–33. [*Pekov I.V., Chukanov N.V., Zador A.E. et al.* Organovaite-Zn, $K_2Zn(Nb,Ti)_4(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ – the new mineral of the labuntsovite group. ZVMO. 2002; 131(1): 28–33. (In Russ.).]
33. *Чуканов Н.В., Пеков И.В., Расцветева Р.К. и др.* Леммлейнит-Ва $Na_2K_2Ba_{1-x}Ti_x[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 5H_2O$ – новый минерал группы лабунцовита. ЗВМО. 2001; 130(3): 36–43. [*Chukanov N.V., Pekov I.V., Rastsvetaeva R.K. et al.* Lemleinite-Ba $Na_2K_2Ba_{1-x}Ti_x[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 5H_2O$ – the new mineral of the labuntsovite group. ZVMO. 2001; 130(3): 36–43. (In Russ.).]
34. *Расцветева Р.К., Пеков И.В., Некрасов Ю.В.* Кристаллическая структура и микродвойникование высококальциевого аналога лабунцовита. Кристаллография. 2001; 46(3): 415–417. [*Rastsvetaeva R.K., Pekov I.V., Nekrasov Yu.V.* Crystal structure and microtwinning of highcalcium labuntsovite analog. Crystallography Reports. 2001; 46(3): 415–417. (In Russ.).]
35. *Пеков И.В., Чуканов Н.В., Задов А.Е. и др.* Алсахаровит-Зн – $NaSrKZn(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ – новый минерал группы лабунцовита из Ловозерского массива, Кольский полуостров. ЗВМО. 2003; 1: 52–58. [*Pekov I.V., Chukanov N.V., Zador A.E. et al.* Alsakharovite-Zn – $NaSrKZn(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_4 \cdot 6H_2O$ – a new mineral of the labuntsovite group from the Lovozero massif, Kola Peninsula. ZVMO. 2003; 1: 52–58. (In Russ.).]
36. *Розенберг К.А., Расцветева Р.К., Чуканов Н.В., Субботин В.В.* Кристаллическая структура и микродвойникование нецентросимметричного высокониобиевого аналога лабунцовита-Fe. Кристаллография. 2002; 47(3): 453–456. [*Rozenberg K.A., Rastsvetaeva R.K., Chukanov N.V., Subbotin V.V.* Crystal structure and microtwinning of acentric high niobium labuntsovite-Fe analog. Crystallography Reports. 2002; 47(3): 453–456. (In Russ.).]

Labuntsovites: New Data on Taxonomy and Mineral Species

R.K.Rastsvetaeva

Shubnikov Institute of Crystallography, Federal Scientific Research Centre "Crystallography and Photonics", RAS (Moscow, Russia)

Next year marks the 130th anniversary of the birth of the Soviet mineralogist E.E.Kostyleva-Labuntsova. The mineral kostylevite is named in her honor, and the mineral labuntsovite is named after the both spouses Labuntsov. This article on the labuntsovite crystalchemistry is dedicated to this date. Currently, the labuntsovite group contains 30 mineral species, which are characterized by variations in chemical composition, structural types, symmetry, cationic orderliness, and physical properties.

Keywords: labuntsovite, structure, classification and nomenclature, genesis, physical properties.