

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.64(470.21)

© Д.чл. И. В. ПЕКОВ,* Н. В. ЧУКАНОВ,** Н. Н. КОНОНКОВА,*** д.чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ,****
д. чл. Д. Ю. ПУЩАРОВСКИЙ,* С. А. ВИНОГРАДОВА*

ФЕРРОНОРДИТ-(Ce) $\text{Na}_3\text{SrFeSi}_6\text{O}_{17}$ И МАНГАНОНОРДИТ-(Ce) $\text{Na}_3\text{SrMnSi}_6\text{O}_{17}$ — НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ИЗ ЛОВОЗЕРСКОГО МАССИВА, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ¹

I. V. PEKOV, N. V. CHUKANOV, N. N. KONONKOVA, D. I. BELAKOVSKY, D. YU. PUSHCHAROVSKY,
S. A. VINOGRADOVA. FERRONORDITE-(CE) $\text{Na}_3\text{SRFESI}_6\text{O}_{17}$ AND MANGANONORDITE-(CE)
 $\text{Na}_3\text{SRMNSI}_6\text{O}_{17}$ — THE NEW MINERALS FROM LOVOZERO MASSIF, KOLA PENINSULA

* Московский университет, геологический факультет, 119899, Москва, Воробьевы горы

** Институт химической физики РАН в Черноголовке, 142432, Московская обл., п. Черноголовка

*** Институт геохимии и аналитической химии РАН, 117975, Москва, ул. Косыгина, 19

**** Минералогический музей РАН, 117901, Москва, Ленинский пр., 18, корп. 2

Ferronordite-(Ce) $\text{Na}_3\text{SrCeFeSi}_6\text{O}_{17}$ and manganonordite-(Ce) $\text{Na}_3\text{SrCeMnSi}_6\text{O}_{17}$, both new minerals, are Fe^{2+} - and Mn^{2+} -dominant analogues of nordite-(Ce) $\text{Na}_3\text{SrCeZnSi}_6\text{O}_{17}$. They have been found in several places of Lovozero alkaline massif within nests and veinlets of pegmatoid ussingite-bearing rocks at the northern slope of Karnasurt Mount and in Karnasurt Mine. Physical properties of both minerals are similar. They form rosette-like aggregates, up to 5—10 mm in diameter, consisting of tabular crystals. Their main form is $a\{100\}$. Transparent colourless or pale-brownish. Streak white. Luster vitreous. Brittle. Cleavage is perfect by (100). Mohs' hardness 5.0—5.5; micro-indentation hardness 740—790. Measured density 3.46 and 3.43; its values calculated by the Gladstone-Dale relationship 3.47 and 3.40; calculated by X-ray data density is 3.57 g/cm³ for both minerals. The paper contains all the needed data on optical properties, chemical composition and structural features of the minerals. Together with nordite-(La) and nordite-(Ce), ferronordite-(Ce) and manganonordite-(Ce) form the nordite mineral family. The type specimens of both minerals are housed in the collection of Fersman Mineralogical Museum of Russian Academy of Sciences, in Moscow.

При изучении представительной коллекции, включающей образцы «нордита» из большинства уже известных и нескольких новых проявлений, были отмечены существенные колебания в содержаниях двухвалентных катионов, занимающих в структуре нордита самостоятельную тетраэдрическую позицию, — цинка, железа, марганца и магния. Как показали проведенные исследования, эти четыре компонента образуют здесь систему с широким непрерывным изоморфизмом. Поскольку собственно нордит характеризуется преобладанием цинка в данной позиции, то его Fe^{2+} - и Mn^{2+} -доминантные структурные аналоги представляют собой, согласно принятой для твердых растворов в минералах номенклатуре (Nickel, 1992), новые минеральные виды. По особенностям состава, учитывая и цериевый максимум в позиции редкоземельных элементов, им даны названия ферронордит-(Ce) и манганонордит-(Ce). Вместе с ранее описанными нордитом-(Ce) и нордитом-(La) их можно объединить в структурное семейство (группу) нордита с общей формулой $\text{Na}_3\text{Sr}(\text{REE})\text{M}^{2+}\text{Si}_6\text{O}_{17}$, где видообразующие катионы таковы: $\text{M}^{2+} = \text{Zn, Fe, Mn}$, а $\text{REE}^{3+} = \text{Ce, La}$. Все четыре минерала обладают ромбической симметрией и пространственной группой *Rcca*.

Несмотря на редкость, нордит имеет сложную историю изучения. Впервые его описал В. И. Герасимовский в 1941 г. из верховьев р. Чингисуай в Ловозерском щелочном массиве, Кольский полуостров. Цинк при химическом анализе минерала по-

¹ Манганонордит-(Ce) (IMA 97-007) и ферронордит-(Ce) (IMA 97-008) одобрены КНМНМ ВМО 20 января 1997 г. и утверждены КНМНМ ММА 2 июня 1997 г.

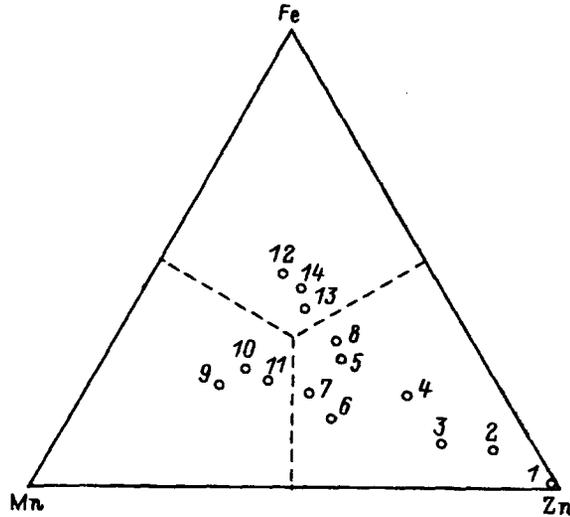


Рис. 1. Соотношения главных M^{2+} -катионов (Zn—Mn—Fe) в минералах семейства нордита (по усредненным электронно-зондовым анализам, наши данные).

1, 3, 5, 8 — нордит-(Ce); 2, 4 — нордит-(La); 9—11 — манганонордит-(Ce); 12—14 — ферронордит-(Ce). Местонахождения: 1 — Дара-Пиоз, Таджикистан; 2, 3 — Эвеслогчорр, Хибинны; 4 — Кукисвумчорр, Хибинны; 5, 8, 11, 14 — различные усингитовые жилы, рудник Карнасурт, Ловозеро; 7 — пегматитовая залежь «Юбилейная», г. Карнасурт, Ловозеро; 9, 10 — Второй Восточный ручей, г. Карнасурт (9 — голотип манганонордита-(Ce)); 12, 13 — долина р. Чинглулуй, Ловозеро; 12 — голотип ферронордита-(Ce).

Fig. 1. Correlation between the main cations (Zn—Mn—Fe) in the M^{2+} -tetrahedra within the nordite family minerals (by the average values of the authors' electron probe (analysis) data).

началу был пропущен, и оригинальная формула нордита была дана в таком виде: $2(\text{Na}_2\text{O}) \cdot 3(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Mn}, \text{Mg})\text{O} \cdot 0.7\text{TR}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$ (Герасимовский, 1941). Расчет соотношений REE из данных В. И. Герасимовского (1941) дает $\text{La}_{42.8}\text{Ce}_{40.3}\text{Nd}_{9.0}\text{Pr}_{7.9}$. Позже преобладание La над Ce в первоначальном нордите было подтверждено независимым определением (Герасимовский, Туранская, 1957). В 1958 г., а затем подробнее в 1961 г. Е. И. Семенов описал находку нордита в долине р. Мотчисуай в том же Ловозерском массиве. В этом минерале в отличие от оригинального был установлен цериевый максимум REE: $\text{Ce}_{55}\text{La}_{34}\text{Nd}_{7.1}\text{Pr}_{4.1}$ (Семенов, Баринский, 1958), а также определен цинк — 3.90 мас.% ZnO, что в атомных количествах оказалось выше содержания Mn, Mg или Fe. В свете этого была проведена ревизия голотипа нордита из долины р. Чинглулуй, показавшая, что и он является Zn-доминантным минералом, содержащим 4.22 % ZnO (Семенов, 1961). В 1966 г. на основании этих работ А. А. Левинсон выделил как самостоятельные минеральные виды нордит-(La) — минерал В. И. Герасимовского, р. Чинглулуй, и нордит-(Ce) — минерал Е. И. Семенова, р. Мотчисуай (Levinson, 1966).

Кристаллическая структура нордита-(Ce) расшифрована в 1968 г. на образце Е. И. Семенова из долины р. Мотчисуай. Минерал оказался представителем нового структурного типа, и для него была выведена следующая кристаллохимическая формула: $\text{Na}_2(\text{Na}, \text{Mn})(\text{Sr}, \text{Ca})\text{TR}\{(\text{Zn}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})[\text{Si}_6\text{O}_{17}]\}$ (Соловьева и др., 1968; Vakakin e. a., 1970). Немного позже, с учетом нового анализа нордита-(Ce) с г. Карнасурт в том же массиве, была предложена упрощенная формула этого минерала, которой мы, с полным основанием, придерживаемся и сегодня — $\text{Na}_3\text{CeSrZnSi}_6\text{O}_7$ (Хомяков и др., 1973). Недавно нордит-(La) был описан на г. Кукисвумчорр в соседнем Хибинском щелочном массиве (Хомяков, 1990; Яковенчук и др., 1991). Уточнение его кристаллической структуры не подтвердило вхождения Mn^{2+} в позицию Na^+ . По результатам этой работы для нордита предложена такая формула: $\text{Na}_3\text{SrTR}\{M^{2+}[\text{Si}_6\text{O}_{17}]\}$, где $M^{2+} = \text{Zn}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}$ (Соколова и др., 1992).

Таким образом, согласно опубликованным корректным анализам и результатам кристаллохимических работ, нордит-(Ce) и нордит-(La) являются цинк-доминантными минералами с идеализированными формулами для конечных членов $\text{Na}_3\text{SrCeZn} \cdot \text{Si}_6\text{O}_{17}$ и $\text{Na}_3\text{SrLaZnSi}_6\text{O}_{17}$ соответственно.

Наши данные, помимо новых находок минералов семейства нордита (несколько уссингитовых тел в Ловозерском массиве; г. Эвеслогчорр в Хибинах; щелочные пегматиты массива Дара-Пиоз в Таджикистане), значительно расширяют представления об изоморфизме в M^{2+} -тетраэдрах (рис. 1). Особенно интересен в этой связи чисто цинковый (9.9—10.5 мас.% ZnO) нордит-(Ce) состава $\text{Na}_{3.02}(\text{Sr}_{0.87}\text{Ca}_{0.14})_{1.01}\text{Zn}_{1.01}(\text{Ce}_{0.49}\text{Nd}_{0.23}\text{La}_{0.16}\text{Pr}_{0.05}\text{Gd}_{0.04})_{0.97}\text{Si}_{6.01}\text{O}_{17}$, встреченный в ридмерджеритовой зоне пегматитов на Дара-Пиозе. Рис. 1 демонстрирует непрерывность рядов — от этого цинкового конечного члена до Mn- и Fe-доминантных новых минералов, установленных в Ловозере. Стоит отметить и то, что минералы семейства нордита, несмотря на сложность состава, обладают очень устойчивой стехиометрией (данные почти 100 наших электронно-зондовых анализов): коэффициенты в формуле $\text{Na}_3\text{Sr}(\text{REE})\text{M}^{2+}\text{Si}_6\text{O}_{17}$ отклоняются от целых чисел крайне незначительно. Видимо, здесь играет свою роль «жесткость» (по Ю. А. Пятенко) структуры нордита: полиэдры крупных катионов соединены между собой по ребрам (Bakakin e. a., 1970), что препятствует значительному изменению их размеров и благоприятствует высокой катионной упорядоченности.

ФЕРРОНОРДИТ-(Ce) И МАНГАНОНОРДИТ-(Ce)

Условия нахождения и морфология. Ферронордит-(Ce) и манганонордит-(Ce), как и собственно нордит, характерны для ультраапатитовых образований. Встречены новые минералы в нескольких местах Ловозерского массива, только в составе уссингитового парагенезиса.

Ферронордит-(Ce) обнаружен в участках развития ультращелочной минерализации в пойкилитовых содалитовых сиенитах (науяитах) долины р. Чингласуай, а также в уссингитовом прожилке, секущем породы расслоенного комплекса уритов—фойяитов—луавритов на г. Карнасурт. Материал из долины р. Чингласуай представлен двумя старыми образцами из коллекции известного минералога В. И. Степанова, хранящейся ныне в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве. Эти образцы записаны в коллекции как «нордит» под № 4725 и 4742. Обр. № 4725 (из сборов Е. М. Еськовой) является голотипом ферронордита-(Ce) — на нем выполнены все основные исследования и он наиболее богат железом (рис. 1, точка 12). В обоих штуфах минерал представлен таблитчатыми и досковидными кристаллами размером до $8 \times 5 \times 1$ мм, собранными в веерообразные или розетковидные сростки диаметром до 1 см. Они находятся в мелких полостях пегматоидного науяита, в котором развиты в существенном количестве эгирин, уссингит, ломоносовит (частично измененный в мурманит), эвдиалит и наиболее поздний гизингерит. Образцы с г. Карнасурт собраны летом 1995 г. в отвалах с глубоких горизонтов действующего рудника и представляют собой фрагменты маломощного (2—5 см) уссингитового прожилка в фойяите. Ферронордит-(Ce) в виде сферолитов и розеток диаметром до 4—5 мм, сложенных пластинчатыми кристаллами, врастает в уссингит. Его сопровождает типичный для таких жил комплекс минералов: эгирин, содалит, вуоннемит, натисит, серандит, минералы ряда стенструпин-(Ce)—торостенструпин, казаковит и высококобальтовый аналог леллингита.

Манганонордит-(Ce) является характерным минералом центральной (уссингитовой) зоны крупного линзовидного пегматита в науяитах, обнажающегося в правом борту Второго Восточного ручья на северном склоне г. Карнасурт и описанного Е. И. Семеновым (1972) под № 60. Отсюда происходит голотипный образец минерала. Манганонордит-(Ce) дает вросшие в массивный уссингит сферолиты и розетки до 2—2.5 см в диаметре, которые состоят из таблитчатых до тонкопластинчатых кристаллов, достигающих в размере $1 \times 1 \times 0.2$ см. С ними в ядре пегматита ассоциируют

микроклин, эгирин, содалит, стенструпин-(Ce), умбозерит, мурманит (по ломоносовиту), чкаловит, измененный серандит, сфалерит, галенит, леллингит, тетранатролит, последовательно развивающиеся за счет вуоннемита эпистолит и герасимовскит. Также манганонордит-(Ce) установлен в усингитовых прожилках, секущих породы комплекса уртитов—фойяитов—луявритов и вскрытых подземными выработками на горах Карнасурт и Кедыкверпах. Веера и розетки его таблитчатых кристаллов, достигающих 3—5 мм, встречаются в зальбандах прожилков вместе с натролитом, содалитом, вуоннемитом, стенструпином-(Ce), натиситом, фосинаитом-(Ce), манганнептунитом, виллиомитом. Для осевой части этих прожилков характерны гнезда водорастворимых карбонатов, фосфатов, силикатов натрия.

Кристаллы ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce) — прямоугольные таблички или пластинки, уплощенные по (100). Пинакоид $a\{100\}$ — главная форма на кристаллах обоих минералов. Во внешних частях сферолитов видны грубо развитые грани призм $\{h0l\}$, а для кристаллов ферронордита-(Ce) из долины р. Чинглусуай отмечается также пинакоид $c\{001\}$ (рентгеновская установка).

Физические и оптические свойства. Ферронордит-(Ce) и манганонордит-(Ce) макроскопически и под микроскопом не отличимы друг от друга и от нордита. В свежем виде они прозрачны, бесцветны или обладают бледной коричневатой, кофейной окраской. Черта белая. Измененные разновидности обоих минералов, особенно манганонордита, окрашены в коричневый цвет, подчас очень темный, вероятно, за счет пленок оксидов марганца. Блеск сильный стеклянный, на изломе жирный. Минералы хрупкие, с совершенной спайностью по (100). Под микроскопом наблюдаются еще два направления спайности, отвечающие, видимо, одной из призм $\{h0l\}$. Излом неровный. Твердость обоих минералов по Моосу 5—5.5. Твердость, измеренная Д. К. Щербачевым (ВИМС, Москва) методом вдавливания при нагрузках от 5 до 100 г, оказалась для двух минералов различной. Если для ферронордита-(Ce) из долины р. Чинглусуай вариации значений твердости лежат в узком интервале 755—738 кг/мм² (среднее 749 кг/мм² при нагрузке 15 г), то для манганонордита-(Ce) со Второго Восточного ручья эта величина изменяется от 693 до 947 кг/мм² (777 кг/мм² при 15 г). Возможно, такие отличия объясняются разной ориентировкой зерен в полированных образцах. Плотность измерена микрообъемометрическим методом Василевского. Для ферронордита-(Ce) она составляет 3.46(3), для манганонордита-(Ce) 3.43(3) г/см³. Вычисленные по соотношению Гладстона—Дейла, эти значения равны 3.47 и 3.40 г/см³ соответственно. Рентгеновская плотность обоих минералов 3.57(1) г/см³.

Оптические свойства ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce) практически идентичны. Оба минерала двуосные, отрицательные, имеют следующие показатели преломления: $n_p = 1.623(3)$, $n_m = 1.636(2)$, $n_g = 1.642(2)$. Измеренное значение угла $2V_p$ для них составляет 60(10)°, вычисленное 68(4)°. Дисперсия оптических осей $r > v$, слабая. Под микроскопом оба минерала бесцветны. Оптическая ориентировка: $N_p = a$, $N_m = b$, $N_g = c$. Индекс сходимости состава и свойств (по Гладстону—Дейлу) составляет 0.003 для ферронордита-(Ce) и 0.008 для манганонордита-(Ce) — «superior» (Mandarino, 1981).

Химический состав минералов семейства нордита определен с помощью электронно-зондового микроанализатора Camebax SX-50. Условия анализа: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 20 нА, пучок зонда расфокусирован до площади 5×5 мкм с целью снижения улетучивания Na, использовалась программа коррекции PAP. Стандарты: альбит (Na,Al,Si), диопсид (Ca,Mg), андрацит (Fe), SrSO₄ (Sr), BaSO₄ (Ba), MnTiO₃ (Mn), ZnO (Zn), индивидуальные REEPO₄ (REE = Y,La,Ce,Pr,Nd,Sm). Статистическая подборка, включающая только для ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce) более 60 анализов, свидетельствует об их устойчивой стехиометрии, что косвенно подтверждает высокоупорядоченное распределение катионов Na, Sr, REE и $M^{2+} = Zn, Fe, Mn, Mg$ в структуре. Содержания примесей Ca, Ba, Al очень малы. Редкоземельные элементы в составе новых минералов представлены только легкими лантаноидами с цериевым максимумом, причем налицо заметный сдвиг в сторону лантана: соотношение Ce:La:Nd со-

Таблица 1

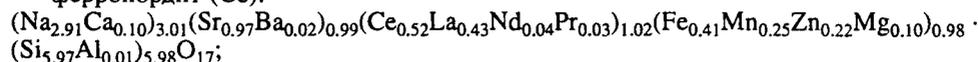
Химический состав ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce)
Chemical composition of ferrotordite-(Ce) and manganonordite-(Ce)

Компонент	1		2	
	мас. %	формульный коэффициент	мас. %	формульный коэффициент
Na ₂ O	11.34	2.91	11.48	2.96
MgO	0.51	0.10	0.52	0.10
MnO	2.22	0.25	3.70	0.42
FeO	3.71	0.41	2.09	0.23
ZnO	2.28	0.22	2.45	0.24
CaO	0.73	0.10	0.33	0.05
SrO	12.64	0.97	13.24	1.02
BaO	0.31	0.02	0.38	0.02
Y ₂ O ₃	0.00	—	0.00	—
La ₂ O ₃	8.79	0.43	8.64	0.42
Ce ₂ O ₃	10.64	0.52	10.56	0.51
Pr ₂ O ₃	0.56	0.03	0.43	0.02
Nd ₂ O ₃	0.90	0.04	1.06	0.05
Sm ₂ O ₃	0.06	0.00	0.00	—
Al ₂ O ₃	0.09	0.01	0.01	0.00
SiO ₂	44.92	5.97	44.57	5.97
Сумма	99.70		99.46	

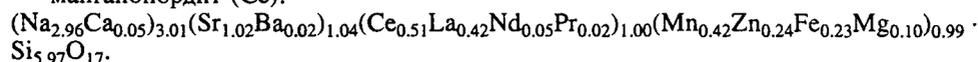
Примечание. 1 — ферронордит-(Ce), долина р. Чингисуай; 2 — манганонордит-(Ce), Второй Восточный ручей, г. Карнасурт. Формулы рассчитаны на O = 17.

ставляет (в голотипах) 1.21:1:0.09 для ферронордита-(Ce) и 1.21:1:0.12 для манганонордита-(Ce). Изоморфизм между тетраэдрическими M²⁺-катионами весьма широк (рис. 1), но в пределах каждого образца их соотношение, как правило, достаточно стабильно. В табл. 1 приведены средние составы для голотипов ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce). Эмпирические формулы, рассчитанные по этим данным на O₁₇, следующие:

ферронордит-(Ce):



манганонордит-(Ce):



Упрощенные формулы имеют вид: Na₃Sr(Ce,La)(Fe,Mn,Zn)Si₆O₁₇ — ферронордит-(Ce), и Na₃Sr(Ce,La)(Mn,Zn,Fe)Si₆O₁₇ — манганонордит-(Ce), или идеализированные для конечных членов изоморфной системы: Na₃SrCeFeSi₆O₁₇ и Na₃SrCeMnSi₆O₁₇ соответственно.

Стоит отметить также, что из ранее опубликованных рентгеноспектральных анализов небольшое преобладание марганца над другими M²⁺-катионами в нордите отмечено у В. Н. Яковенчука с соавторами (1991) для некоторых ловозерских образцов.

ИК-спектроскопия. Инфракрасные спектры минералов семейства нордита (рис. 2) получены с помощью спектрофотометра Spexord 75 IR, погрешность определения частот ± 1 см⁻¹. ИК-спектры нордита-(Ce), нордита-(La), манганонордита-(Ce) и ферронордита-(Ce) практически идентичны, что подтверждает изоструктурность этих минералов, а хорошая разрешенность спектральных полос говорит о высокой степени катионной упорядоченности. Частоты в максимумах большинства полос в ИК-спектрах Zn-, Mn- и Fe-доминантных членов семейства нордита очень близки (табл. 2), однако четко видно различие между этими минералами в области M²⁺—O-валентных колебаний (M²⁺ = Zn,Mn,Fe). Оно выражается в положении слабой полосы, осложняющей низкочастотное крыло интенсивной полосы с максимумом при 435 см⁻¹, и может служить диагностическим признаком. Для сравнения приведены частоты соответствующих колеба-

Рис. 2. ИК-спектры минералов семейства нордита (частоты приведены в табл. 2).

1 — чисто цинковый нордит-(Ce), Дара-Пиоз; 2 — ферронордит-(Ce), Чинглулуй; 3 — манганонордит-(Ce), Карнасурт; звездочкой (*) отмечена диагностическая полоса.

Fig. 2. IR spectra of the nordite family minerals (the frequencies are given in table 2).

ний $M^{2+}-O$, проявленных «в чистом виде» в ИК-спектрах изоструктурных между собой оксидов — ферришпинелидов:

- нордит-(Ce) 433 cm^{-1}
- ферронордит-(Ce) 429 cm^{-1}
- манганонордит-(Ce) 417 cm^{-1}
- франклинит $ZnFe_2O_4$ 430—435 cm^{-1}
- магнетит $FeFe_2O_4$ 430 cm^{-1}
- якобит $MnFe_2O_4$ 405—410 cm^{-1}

Для цинковых членов семейства нордита эта полоса практически не разрешена с «главной» интенсивной полосой при 435 cm^{-1} (рис. 2), в то время как в спектрах железистого и особенно марганцовистого минералов она выделяется четко. ИК-спектры всех членов семейства нордита однозначно свидетельствуют также об отсутствии в этих минералах таких компонентов, как H_2O , OH^- , H^+ , H_3O^+ .

Рентгеновские данные и кристаллическая структура. Параметры элементарной ячейки ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce) (табл. 3, 4) были получены путем анализа монокристалла с помощью автодифрактометра Syntex PI и затем уточнены методом порошка. Порошковые дифрактограммы обоих минералов приведены в табл. 3. Они весьма близки как между собой, так и к рентгенограммам цинковых членов семейства. Погасания на порошкограммах ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce) не противоречат пространственной группе $Pcca$, установленной ранее для нордита-(Ce) (Соловьева и др., 1968; Vakakin e. a., 1970) и нордита-(La) (Соколова и др., 1992).

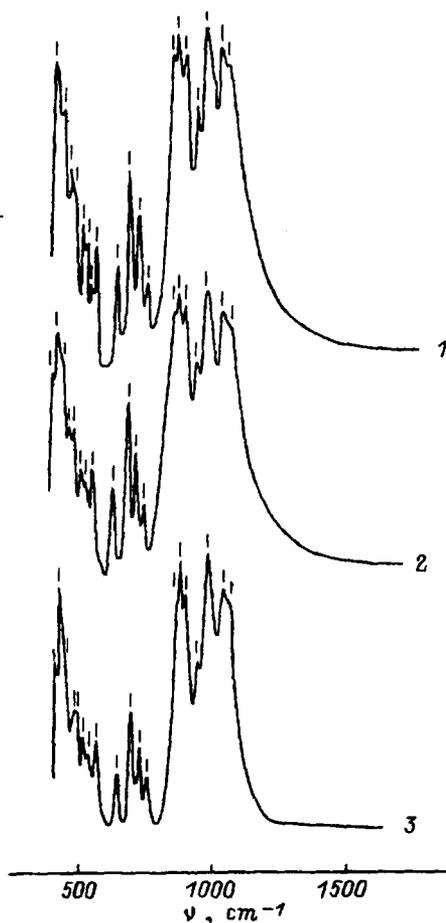


Таблица 2

Частоты (cm^{-1}) в максимумах полос ИК-спектров минералов семейства нордита
Frequencies (ν , cm^{-1}) of peaks in IR-spectra of nordite family minerals

1	2	3	1	2	3
1080	1085	1085	649	647	648
1057	1059	1061	569	566	564
1000	998	997	553	—	—
963	965	965	537	535	530
917	919	919	526	522	521
892	895	894	495	493	493
876	875	875	482	482	481
764	762	762	453	447	450
735	734	733	433	436	435
704	703	703	—	429*	417*

Примечание. 1 — предельно цинковый нордит-(Ce), Дара-Пиоз; 2 — ферронордит-(Ce), Чинглулуй; 3 — манганонордит-(Ce), Карнасурт. Положения полос отмечены на рис. 2. Звездочкой (*) отмечена диагностическая полоса. Наиболее интенсивные полосы выделены полужирным шрифтом.

M^{2+} -тетраэдрами, где $M^{2+} = Mn, Fe, Zn, Mg$. Тетраэдрические слои связаны между собой полиэдрами крупных катионов: Sr, REE (томсоновские кубы) и Na (октаэдры). Среднее расстояние $M^{2+}-O$ в тетраэдре, заселенном двухвалентными катионами, равно в структуре манганонордита-(Ce) 1.987(3) Å, что хорошо согласуется с расчетным значением 1.983 Å, полученным суммированием радиусов аниона O^{2-} и «усредненного» M^{2+} -катиона при допущении, что весь марганец представлен Mn^{2+} . Преобладание марганца в данной позиции в структуре манганонордита-(Ce) подтверждается увеличенными размерами M^{2+} -тетраэдра (ср. $M^{2+}-O = 1.987$ Å; ср. $O-O = 3.244$ Å) по сравнению с Zn-доминантным аналогом — нордитом-(Ce) (ср. $M^{2+}-O = 1.95$ Å; ср. $O-O = 3.18$ Å). Вхождения части Mn^{2+} в Na-полиэдр, отмеченного для нордита В. В. Бакакиным с соавторами (1970), в структуре манганонордита-(Ce) не наблюдается, равно как и в структуре нордита-(La) из Хибин (Соколова и др., 1992). Таким образом, Mn^{2+} занимает только тетраэдрические позиции совместно с Zn, Fe, Mg, что позволяет уверенно считать манганонордит-(Ce) новым минеральным видом, полностью изоструктурным нордиту-(Ce) и нордиту-(La). Структура ферронордита-(Ce) также оказалась идентичной. Среднее расстояние $M^{2+}-O$ здесь равно 1.980(3) Å, т. е. находится между значениями для нордита и манганонордита. Это коррелирует с соотношениями ионных радиусов Mn^{2+} (0.66 Å), Fe^{2+} (0.63 Å) и Zn^{2+} (0.60 Å) — даны для тетраэдрической координации, и четко подтверждает, что железо находится в двухвалентном состоянии.

Минералы рассматриваемого семейства являются единственными представителями структурного типа нордита. В рамках структурной классификации силикатов (Либау,

Таблица 4

Сравнительная характеристика минералов семейства нордита
Comparative characteristics of the minerals of nordite family

Диагностические параметры минерала	1	2	3	4
	Нордит-(Ce)	Нордит-(La)	Манганонордит-(Ce)	Ферронордит-(Ce)
Формула	$Na_3SrCeZnSi_6O_{17}$	$Na_3SrLaZnSi_6O_{17}$	$Na_3SrCeMnSi_6O_{17}$	$Na_3SrCeFeSi_6O_{17}$
Симметрия	Ромб., <i>Pcca</i>	Ромб., <i>Pcca</i>	Ромб.	<i>Pcca</i>
Параметры элементарной ячейки				
<i>a</i> , Å	14.41(3)	14.410(3)	14.449(4)	14.460(2)
<i>b</i> , Å	5.16(1)	5.183(1)	5.187(2)	5.187(1)
<i>c</i> , Å	19.72(5)	19.791(7)	19.849(5)	19.848(7)
<i>V</i> , Å ³	1466(9)	1478(1)	1488(1.5)	1489(1)
<i>Z</i>	4	4	4	4
Главные линии рентгенограммы (Å)	4.18 3.31 2.95 2.87 2.58 2.42	4.210 3.319 2.959 2.871 2.592 2.436	4.215 3.326 2.965 2.875 2.597 2.443	4.216 3.325 2.964 2.879 2.595 2.444
Показатели преломления				
<i>n_p</i>	1.629	1.623	1.623	1.623
<i>n_m</i>	1.644	1.636	1.636	1.636
<i>n_g</i>	1.648	1.642	1.642	1.642
Диагностические полосы в ИК-спектре (см ⁻¹)	Нерасщепленная 433	Нерасщепленная 435	Дублет 435, 417	Дублет 436, 429

Примечание. 1 — Дара-Пиоз, Таджикистан; 2 — Кукисвумчорр, Хибин (параметры элементарной ячейки и рентгенограмма — по данным В. Н. Яковенчука с соавторами, 1991); 3 — Второй Восточный ручей, Карнасурт, Ловозеро; 4 — Чинглусуай, Ловозеро.

1988) нордит рассматривается как представитель метасиликатов с циклически разветвленными изолированными цепочками. Сюда же относится и недавно расшифрованная структура уранилсиликата хейвиита $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_6\text{O}_{15} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. При этом в лентах нордита четырехчленные (Si_2O) -кольца объединены диортогруппами Si_2O_7 , в хейвиите они связаны одиночными SiO_4 -тетраэдрами, а в структуре власовита $\text{Na}_2\text{ZrSi}_4\text{O}_{11}$ отмечен непосредственный контакт таких же колец, формирующих ленту $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$.

В заключение кратко остановимся на особенностях состава минералов семейства нордита из различных объектов. На рис. 1 четко видно, что наиболее богат цинком нордит-(Ce) из Дара-Пиоза, несколько меньше Zn содержат нордиты из Хибин, а образцы из Ловозера существенно обеднены этим элементом, вплоть до возникновения здесь Fe- и Mn-доминантных минералов. По мнению авторов, это может быть связано с различной активностью S^{2-} в пегматитообразующем процессе. Известно, что из трех элементов — Zn, Fe, Mn — цинк обладает наибольшим сродством к сере. Это подтверждается, в частности, широким развитием сфалерита в высокощелочных пегматитах при незначительном распространении сульфидов Fe и почти полном отсутствии сульфидов Mn. В пегматитах Дара-Пиоза сульфидов очень мало, но распространены Zn-силикаты (минералы группы осумилита, виллемит), что свидетельствует о низкой активности S^{2-} и объясняет нахождение здесь чисто цинкового нордита. В ультраагпаитовых пегматитах Хибин сфалерита несколько больше, т. е. активность S^{2-} выше, и мы встречаем здесь промежуточные по содержанию Zn нордиты (рис. 1). Помимо того, на г. Кукисвумчорр известен и другой высокощелочной Zn-силикат — кукисвумит. В усингитовых пегматитах Ловозера сфалерит (клеюфан) широко распространен, играя подчас роль второстепенного породообразующего минерала, что говорит о высокой активности сульфидной серы. Именно здесь и встречены наиболее низкоцинковые члены семейства нордита, включая ферронордит-(Ce) и манганонордит-(Ce). Как показывает анализ парагенезисов, активность S^{2-} , видимо, влияет и на состав силикатов другой группы, где существует широкий изоморфизм между Mn, Fe и Zn — группы гельвина.

Итак, семейство нордита на сегодняшний день объединяет четыре изоструктурных минерала: нордит-(La), нордит-(Ce), ферронордит-(Ce) и манганонордит-(Ce), сравнительная характеристика которых дана в табл. 4. Не исключено его пополнение в будущем, например, за счет существенно магнезиального члена и видов с другими максимумами лантаноидов.

Эталонные образцы ферронордита-(Ce) и манганонордита-(Ce) переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана в Москве.

Авторы благодарят А. В. Аракчееву, В. Г. Шлыкова и Д. К. Щербачева за помощь в выполнении исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 97-05-65127.

Список литературы

- Герасимовский В. И. Нордит — новый минерал Ловозерских тундр // Докл. АН СССР. 1941. Т. 32. № 7. С. 496—498.
- Герасимовский В. И., Туранская Н. В. Высокое содержание лантана и церия в минералах агпаитовых нефелиновых сиенитов Ловозерского массива (Кольский полуостров) // Геохимия. 1957. № 4. С. 334—336.
- Либав Ф. Структурная химия силикатов. М., 1988. 405 с.
- Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М., 1972. 307 с.
- Семенов Е. И. Новые данные о нордите // Тр. Минер. музея АН СССР. 1961. Вып. 11. С. 199—201.
- Семенов Е. И., Баринский Р. Л. Особенности состава редких земель в минералах // Геохимия. 1958. № 4. С. 314—333.
- Соколова Е. В., Кабалов Ю. К., Хомяков А. П. Изоморфизм в структуре хибинского нордита // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1992. № 2. С. 97—102.
- Соловьева Л. П., Борисов С. В., Белов Н. В. Кристаллическая структура нордита // Докл. АН СССР. 1968. Т. 183. № 2. С. 432—435.
- Хомяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М., 1990. 194 с.
- Хомяков А. П., Семенов Е. И., Еськова Е. М. и др. О химической формуле и парагенезисе нордита // Минералогические исследования. Вып. 3. М., 1973. С. 121—124.

Яковенчук В. Н., Бритвин С. Н., Леднев А. И. и др. Новые данные о нордите из Ловозерского и Хибинского массивов // Новые данные по минералогии редких элементов Кольского полуострова. Апатиты, 1991. С. 60—65.

Bakakin V. V., Belov N. V., Borisov S. V., Solovjeva L. P. The crystal structure of nordite and its relationship to mellilite and datolite-gadolinite // Amer. Miner. 1970. Vol. 55. N 7/8. P. 1167—1181.

Levinson A. A. A system of nomenclature for rare-earth minerals // Amer. Miner. 1966. Vol. 51. N 1/2. P. 152—158.

Mandarino J. A. The Gladstone-Dale relationship: IV. The compatibility concept and its application // Canad. Miner. 1981. Vol. 19. P. 441—450.

Nickel E. H. Nomenclature for mineral solid solutions // Amer. Miner. 1992. Vol. 77. N 5/6. P. 660—662.

Поступила в редакцию
15 сентября 1997 г.

УДК 549.4

ЗВМО, № 1, 1998 г.
Proc. RMS, N 1, 1988

© В. Н. АПОЛЛОНОВ

НЕПСКОЕИТ $Mg_4Cl(OH)_7 \cdot 6H_2O$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ НЕПСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ¹

V. N. APOLLONOV. NEPSKOEITE $Mg_4Cl(OH)_7 \cdot 6H_2O$ — A NEW MINERAL
FROM THE NEPSKOYE POTASH SALT DEPOSIT

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,
109017, Москва, Старомонетный пер., 35

The new mineral nepskoeite has been found in the Cambrian salt beds of Nepskoe deposit (Eastern Siberia). It forms radialcolumnar aggregates up to 0.5—1.5 mm in diameter. Transparent, or pale-yellowish; luster nacreous. Streak white. Mohs' hardness 1.5—2.0. Measured density 1.76(2), its calculated value — 1.756 g/cm³. The mineral is orthorhombic, *Pcmm*, *Pcm2₁* or *Pc2m*, with $a_0 = 11.215(9)$, $b_0 = 3.124(3)$ and $c_0 = 19.21(3)$. The ideal formula is $Mg_4Cl(OH)_7 \cdot 6H_2O$, $Z = 2$. X-ray powder diffraction data show the following strong lines (Cu K): 11.41(29)—(100); 9.78(46)—(101); 9.60(38)—(002); 4.25(200)—(203); 3.498(100)—(302); 2.395(17)—(310). The most intensive bands of IR spectrum: 3623, 3373, 1609, 1297, 733, 591 cm⁻¹. Origin of the mineral is related to hydrolysis of bischofite while the lithophication process. The mineral was named after the place of its finding.

Непское месторождение калийных солей в Восточной Сибири является крупнейшим в Азии (Яншин, Жарков, 1986). Месторождение отличается разнообразием акцессорных минералов, что не свойственно месторождениям калийных солей (Аполлонов, 1989, 1990). В рудах месторождения широко развиты разнообразные бораты (в том числе флюоборит), магнетит, пирротин, пирит, халькопирит, энаргит, апатит и др. Нами также был изучен основной сульфат магния — каминит (Аполлонов и др., 1990), ранее найденный лишь на дне Тихого океана в отложениях черного курильщика (Наумон, Kastner, 1986).

Ряд основных хлоридов магния был синтезирован в лабораторных условиях (Bianco, 1958). Природный основной хлорид магния коршуновскит состава $Mg_2Cl(OH)_3 \cdot nH_2O$ был описан в измененных доломитовых мраморах Коршуновского железорудного месторождения (Малинко и др., 1982).

Непскоеит был обнаружен нами в калиеносной пачке Непского месторождения в линзах серой мелкозернистой каменной соли на глубине 700—800 м. Эта своеобразная порода состоит на 10—30 % из мелких (до 0.1 мм) кристаллов ангидрита, сцементированных мелкозернистым галитом. В породе содержится до нескольких процентов тонкоигольчатого флюоборита и до 2 % тонкопластинчатого пирротина. Сферолиты неп-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества 7 июня 1995 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 3 июля 1997 г.