

8. Григорьев Д. П. Позиции онтогении минералов.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1978, ч. 107, вып. 4, с. 407—415.
9. Григорьев Д. П. Онтогения минералов и физико-химические закономерности рудообразования.— В кн.: Геохимия гидротермального рудообразования. М.: Наука, 1979, с. 25—27.
10. Жабин А. Г., Юшкин Н. П., Асхабов А. М. Процессы экспериментального кристаллообразования и генетическая минералогия.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1979, ч. 108, вып. 2, с. 250—253.
11. Черепанов В. А., Шафрановский И. И., Рундквист Д. В. Веха в развитии минералогической науки.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1977, вып. 3, с. 367—369.
12. Эшкин В. Ю. Школа по онтогении минералов.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1978, ч. 107, вып. 4, с. 496—497.
13. Юшкин Н. П. Теория и методы минералогии.— Л.: Наука, 1977.—291 с.
14. Юшкин Н. П., Жабин А. Г. Перспективные направления генетической минералогии.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1978, ч. 107, вып. 5, с. 506—518.

Институт геологии Коми филиала АН СССР,  
Сыктывкар

Поступила в редакцию  
9.VII. 1979 г.

## ONTOGENY OF MINERALS: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

*M. P. Yushkin*

### Summary

The elaboration of teaching on mineral ontogeny is one of the most striking achievements of Soviet mineralogy. Professor D. P. Grigor'ev, the new scientific school founder, defined it as a teaching on genesis of mineral individuals and aggregates, embracing the whole complex of their historical phenomena beginning from their origin and up to the end of existence. Studies in mineral individuals provide some material for taxonomic and mineralogenetic constructions, for creating idealized crystallochemical, physical, chemical and other models. All peculiarities of minerals are determined by their genesis. Each mineral individual passes through a series of inevitably successive stages: generation, growth, variation and destruction. Besides creating fundamental theoretical ideas, the ontogeny of minerals has greatly contributed to the mineralogical science methods, which allows the peculiarities of mineral origin and development to be high-reliably decoded. The new teaching has had a favourable influence on some other geological sciences.

УДК 549.0

## Имандрит — новый минерал семейства ловозерита \*

А. П. Хомяков, Н. М. Черницова, С. М. Сандомирская, Г. Л. Васильева

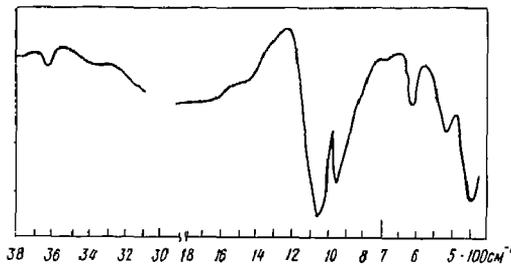
В пегматойдных породах района р. Вуоннемиок Хибинского щелочного массива в 1976 г. А. П. Хомяковым встречено несколько мелких выделений желтоватого минерала, аналогичного по дебаеграмме Ti- и Zr-силикатам семейства ловозерита. Однако спектральный анализ, выполненный с помощью лазерного микроанализатора Г. Л. Васильевой, вместо Ti и Zr обнаружил в этом минерале значительные количества Ca и Fe, а последующие исследования подтвердили, что он является новым природным соединением состава  $\text{Na}_{12}\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2$ , изотипным казаковиту  $\text{Na}_6\text{MnTi}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  [8], цирциналиту  $\text{Na}_6\text{CaZr}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  [1] и кошвиту  $\text{Na}_6\text{CaTi}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  [2]. Название имандрит (imandrite) дано минералу по о. Имандра, омывающему Хибинский массив с его запад-

\* Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 29 ноября 1978 г., утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 26 июня 1979 г.

ной стороны. Одна из разновидностей имандрита кратко описана ранее под условным названием «минерал № 7» [6].

Изученный минерал образует неограниченные зерна размером 1—3 мм. Он имеет медово-желтую окраску, стеклянный блеск. Прозрачный или просвечивает. Спайность не выражена. Твердость около 4. Плотность, измеренная микрометодом,  $2,93 \pm 0,05$ , вычисленная с учетом рентгеновских данных— $2,92 \text{ г/см}^3$ . Оптически двусный, положительный,  $2V=72^\circ$ ,  $n_p=1,605$ ,  $n_m=1,608$ ,  $n_g=1,612 (\pm 0,002)$ , дисперсия  $r < v$ . Среднее значение светопреломления, вычисленное по формуле Гладстона, исходя из предположений о нахождении железа в минерале в двух- и трехвалентном состояниях, составляет соответственно 1,589 и 1,612.

Последняя величина практически совпадает со средним экспериментальным значением (1,608), что указывает на более высокую вероятность трехвалентного состояния данного элемента.

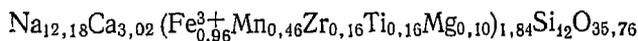


ИК-спектр имандрита. Спектрофотометр UR-10.

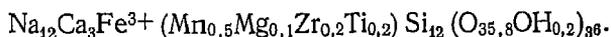
Имандрит устойчив в естественных условиях. Это сближает его с коашвитом, но существенно отличает от казаковита и цирсиалита, легко изменяющихся на воздухе [7]. В 10%-ной HCl он медленно разлагается с сохранением кремнекислородного каркаса. Нагревание минерала до  $1000^\circ\text{C}$  приводит к незначительной потере веса (0,3%) и не сопровождается изменением оптических свойств и дифракционной картины. Потеря веса при термической обработке обусловлена присутствием небольших количеств  $\text{H}_2\text{O}$  или OH, что подтверждается наличием в ИК-спектре имандрита слабых полос поглощения в области  $1600$  и  $3600 \text{ см}^{-1}$  (см. рисунок).

Рентгенографическое исследование имандрита выполнено Н. М. Черницовой. Расчет рентгенограммы порошка приведен в табл. 1. Монокристалльными методами (камера РК ОП, автоматический дифрактометр «Нониус») установлено, что имандрит принадлежит к ромбической сингонии, пространственная группа  $R\bar{3}m$  или  $Pnn2$ ,  $a=7,426 \pm 0,004 \text{ \AA}$ ,  $b=10,546 \pm 0,001 \text{ \AA}$ ,  $c=10,331 \pm 0,001 \text{ \AA}$ ,  $V=809,04 \text{ \AA}^3$   $Z=1$ . По параметрам элементарной ячейки он соответствует синтетическим силикатам  $\text{Na}_6\text{Mn}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  [3] и  $\text{Na}_6\text{Cd}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  [5] и тесно связан с коашвитом (табл. 2). Тесное родство между имандритом и коашвитом устанавливается также при визуальном сравнении их дебаграмм.

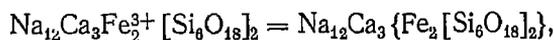
Результаты количественного рентгеноспектрального анализа, выполненного С. М. Сандомирской на микроанализаторе «Камебак» (табл. 3), приводят при  $\text{Si}=12$  ( $Z=1$ ) к эмпирической формуле



или (в соответствии с предложением И. Д. Борнеман-Старынкевич)



Идеализированную формулу имандрита можно представить в виде



соответствующем общей формуле минералов семейства ловозерита



Имандрит, представляющий собой минералогическую редкость, установлен в керне буровых скважин, вскрывающих пегматондные породы среди рихсчорритов всячего бока апатитовых залежей Хибинских месторождений. Пегматоиды слагаются адуляром,

Таблица 1. Результаты расчета рентгенограммы порошка имандрита

<i>I</i>	<i>d</i> <sub>эксп</sub>	<i>d</i> <sub>выч</sub>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> <sub>эксп</sub>	<i>d</i> <sub>выч</sub>	<i>hkl</i>
10	6,08	6,07	110	6	1,608	1,606	235
10	5,28	5,27	020	7	1,568	1,569	315
15	4,29	4,30	120	50	1,520	1,519	325
30	3,97	3,97	121	20	1,501	1,502	441
50	3,73	3,71	200	4	1,485	1,482	433
60	3,33	3,33	031	7	1,463	1,462	171; 017
24	3,29	3,31; 3,27	122; 013	10	1,419	1,420	172; 361
4	3,19	3,18	130	9	1,384	1,384	271
10	3,02	3,02	202	10	1,373	1,372	255
13	2,92	2,91	221	7	1,364	1,364	503; 354
20	2,69	2,69	123	10	1,324	1,323	363; 532
100	2,63	2,64	040	24	1,312	1,312; 1,313	336; 156
24	2,59	2,58	004	13	1,296	1,294; 1,298	540; 180
9	2,48	2,48	231	7	1,281	1,282	174
13	2,35	2,35	042; 311	6	1,210	1,211; 1,212	543; 218
4	2,29	2,29	232	13	1,177	1,176; 1,178	525; 365
7	2,24	2,24	142; 320	6	1,162	1,162	471
9	2,16	2,15	240	6	1,138	1,138; 1,139	318; 446
20	2,12	2,12	204	7	1,122	1,120; 1,121	176; 640
15	2,07	2,07	051	7	1,111	1,111	291
7	1,999	1,991	151	6	1,101	1,102	383; 366
7	1,971	1,974	313	6	1,094	1,095	642
70	1,853	1,857	400	6	1,077	1,078	563
10	1,812	1,816	234	6	1,063	1,063; 1,064	293; 634
17	1,784	1,781	035	4	1,037	1,037; 1,038	186; 392
9	1,768	1,762	314	3	1,016	1,016	635; 730
7	1,725	1,724; 1,722	412; 006	10	0,9956	0,9956; 0,9955	723 2. 10. 2
13	1,707	1,708	225	6	0,9856	0,9859	580
9	1,661	1,664	062	5	0,9767	0,9763	0. 10. 4
17	1,624	1,624	162	5	0,9500	0,9504	287

Условия съемки: камера РКУ-114; Си-излучение; Ni-фильтр; экспозиция—30 ч; интенсивности оценивались по шкале из марок почернения с шагом  $\sqrt[4]{2}$ ; внутренний стандарт—NaCl.

Таблица 2. Параметры элементарной ячейки щелочных силикатов, изотипных имандриту

Соединение	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>z</i>
Имандрит $\text{Na}_{12}\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2$	7,426	10,546	10,331	1
Кошвигит $\text{Na}_6\text{CaTi}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	7,36	20,95	10,19	4
$\text{Na}_6\text{Mn}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	7,45	10,40	10,40	2
$\text{Na}_6\text{Cd}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	7,45	10,40	10,40	2

щелочным амфиболом, волокнистым эгирином, эвдиалитом, псевдоморфозами цирсиалита по эвдиалиту, шербаковитом, ломоносовитом, лампрофиллитом, фенакситом, пектолитом, виллиомитом, джерфишеритом, тригональным молибденитом и др. Изученный минерал образует вокруг выделений эвдиалита и по трещинам в нем тонкие прерывистые каемки. Как и цирсиалит, имандрит, вероятно, является одним из продуктов изменения эвдиалита при взаимодействии последнего с высокощелочными остаточными

Таблица 3. Химический состав имандрита (микроанализатор «Камебакс»)

Компоненты, металл/окисел	Содержание металла/окисла, вес. %	Доверительный интервал по отношению к окислам*, %	Атомное количество катионов	Коэффициент при Si=12
Na/Na <sub>2</sub> O	19,78/26,66	0,34	0,8603	12,18
Ca/CaO	8,58/12,00	0,17	0,2140	3,02
Fe/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,82/5,47	0,16	0,0685	0,96
Mn/MnO	1,78/2,30	0,10	0,0324	0,46
Mg/MgO	0,15/0,26	0,03	0,0064	0,10
Si/SiO <sub>2</sub>	23,82/50,95	0,31	0,8479	[12,00]
Ti/TiO <sub>2</sub>	0,58/0,95	0,04	0,0119	0,16
Zr/ZrO <sub>2</sub>	1,06/1,43	0,05	0,0116	0,16
Сумма	59,57/100,02			

Аналитик С. М. Сандомирская.

Режим съемки: напряжение 15 кВ, ток 5 нА, диаметр зонда 5 мкм. Эталоны диопсид (Ca, Si, Mg), вуоннемит (Ti, Na), спессартин (Mn), олинит (Fe), металлический Zr, Ca, Si, Mg, Ti, Na, Mn, Fe анализировались по линии K<sub>α</sub>, Zr — по линии L<sub>α</sub>. Усреднение интенсивности рентгеновского излучения проводилось по 20 точкам пробоотбора с экспозицией 10 с. В связи с нестабильностью минерала под лучком электронов интенсивность рентгеновского излучения для каждой точки пробоотбора набиралась при сканировании образца под зондом по линии со скоростью ≈ 5 мкм/с. Статистическая обработка результатов измерений и пересчет относительной интенсивности в концентрацию проведены по программе «ПУМА» на ЭКВМ «Hewlett-Packard 9830A». Использовались массовые коэффициенты поглощения по Фрэзеру. Результаты статистической обработки однозначно характеризуют образец как однородный.

\* Для 95% доверительной вероятности.

силикатно-солевыми жидкостями [6]. Как и цирсиалит, имандрит, вероятно, является одним из продуктов изменения эвдиалита при взаимодействии последнего с высокощелочными остаточными силикатно-солевыми жидкостями [6].

Типичные образцы имандрита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Капустин Ю. Л., Пудовкина З. В., Быкова А. В. Цирсиалит — новый минерал. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1974, ч. 103, вып. 5, с. 551—558.
- Капустин Ю. Л., Пудовкина З. В., Быкова А. В., Любомилова Г. В. Коашвит — новый минерал. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1974, ч. 103, вып. 5, с. 559—566.
- Отрощенко Л. П., Симонов В. И., Белов Н. В. Кристаллическая структура натрий-марганцевого синтетического силиката Na<sub>5</sub>(Mn, Na)<sub>3</sub>Mn [Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>]. — Докл. АН СССР, 1973, 208, № 4, с. 845—848.
- Поваренных А. С., Меньшиков Ю. П. О казаковите из Хибин и ИК-спектрах некоторых титано- и цирконосиликатов. — Геол. журн., 1977, 37, № 2, с. 115—120.
- Симонов М. А., Егоров-Тисменко Ю. К., Белов Н. В. Кристаллическая структура NaCd-силиката Na<sub>2</sub>CdSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> = Na<sub>6</sub>Cd<sub>3</sub>[Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>]. — Докл. АН СССР, 1967, 175, № 1, с. 80—83.
- Хомяков А. П. Новое в минералогии группы ловозерита. — Докл. АН СССР, 1977, 237, № 1, с. 199—202.

7. Хомяков А. П., Капцов В. В., Щепочкина Н. И., Рудницкая Е. С., Крутецкая Л. М. Явление сверхбыстрого гидролиза ультращелочных титано- и цирконосиликатов. Экспериментальная проверка.— Докл. АН СССР, 1978, 243, № 4, с. 1028—1031.
8. Хомяков А. П., Семенов Е. И., Еськова Е. М., Воронков А. А. Қазақовит — новый минерал из группы ловозерита.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1974, ч. 103, вып. 3, с. 342—345.
9. Черницова Н. М., Пудовкина З. В., Воронков А. А., Капустин Ю. Л., Пятенко Ю. А. О новом кристаллохимическом семействе ловозерита.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1975, ч. 104, вып. 1, с. 18—27.

Институт минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов, Москва

Поступила в редакцию  
13.III 1979 г.

## IMANDRITE — A NEW MINERAL OF LOVOZERITE FAMILY

A. P. Khomyakov, N. M. Chernitsova, S. M. Sandomirskaya, G. L. Vasil'eva

### Summary

The results of electron microprobe analysis ( $\text{Na}_2\text{O}$  26.66,  $\text{CaO}$  12.00,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5.47,  $\text{MnO}$  2.30,  $\text{MgO}$  0.26,  $\text{SiO}_2$  50.95,  $\text{TiO}_2$  0.95,  $\text{ZrO}_2$  1.43%, sum total is 100.01%) correspond to idealized formula  $\text{Na}_{12}\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{3+}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ . The mineral is orthorhombic, space group is  $Pnnm$  or  $Pnn2$ ,  $a=7.426$ ,  $b=10.546$ ,  $c=10.331$  Å,  $Z=1$ . The strongest lines are 3.97 (30) (121), 3.73 (50) (200), 3.33 (60) (031), 2.63 (100) (040), 1.853 (70) (400), 1.520 (50) (325). The mineral occurs as unhedral grains up to 1-3 mm. Colour is honey-yellow. Transparent, luster vitreous. Hardness  $\sim 4$ . Density 2.93  $\text{g/cm}^3$ . Optically biaxial, positive,  $n_g=1.612$ ,  $n_m=1.608$ ,  $n_p=1.605$ ,  $2V=75^\circ$ . The mineral occurs in pegmatitic veinlets, composed by KFSP, soda amphibole, aegirine, eudialyte, pseudomorphs of zirconalite after eudialyte, pectolite, willyamite, etc. (Khibina alkaline intrusion). The name is connected with Lake Imandra. The type material is preserved in the Mineralogical Museum of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow.

УДК 549.35

## Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей

Н. Н. Мозгова

В последние десятилетия в химии твердого тела все большее внимание уделяется нестехиометрическим соединениям или соединениям переменного состава. К сожалению, в минералогии, где объектом исследований являются минералы — природные химические соединения, представления о нестехиометрии еще не получили должного развития [15]. Установлено, что нестехиометрические соединения обладают характерными признаками [5, 14]. В отличие от простых веществ химические соединения представлены двумя или несколькими элементами. С физико-химической точки зрения нестехиометрические соединения — это соединения, в которых составляющие элементы образуют неустойчивый твердый раствор. Область гомогенности может быть образована твердыми растворами замещения, вычитания и внедрения, что в кристаллоструктурном плане обеспечивается наличием смешанных позиций в структуре, внедрением преобладающего элемента в пустоты структуры или появлением дырок-дефектов в позициях одного из компонентов. Основной признак нестехиометрических соединений — их способность изменять область гомогенности при изменении физико-химических условий и распадаться на ряд упорядоченных фаз, каждая из которых характеризуется более узким интервалом составов. Соединения одного ряда имеют однотипный состав и строение, т. е. подобны друг другу и являются гомологами. Их состав и строение взаимозавис-