

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.6

© Почетный член А. П. ХОМЯКОВ,* д. чл. Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ,** Дж. ФЕРРАРИС,*** Г. ИВАЛЬДИ***

МАНГАНОНАУЯКАЗИТ $\text{Na}_6(\text{Mn, Fe})\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЛОВОЗЕРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)¹

A. P. KHOMYAKOV, G. N. NECHELYUSTOV, G. FERRARIS, G. IVALDI. MANGANONAUJAKASITE,
 $\text{Na}_6(\text{Mn, Fe})\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$, A NEW MINERAL FROM THE LOVOZERO ALKALINE MASSIF,
KOLA PENINSULA

* Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
121357, Москва, ул. Версаева, 15

** Всероссийский институт минерального сырья, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29

*** Туринский университет, 1-10125, Турин

The mineral was found in lovozerite-lomonosovite luavrites of the Lovozero alkaline massif as irregular shaped grains, 0.5—1 to 5 mm across. It is transparent, bright blue. Hardness 3—4. Density 2.67 g/cm³. Cleavage (001) perfect. Optically biaxial, negative, $n_p = 1.539$, $n_m = 1.551$, $n_g = 1.554$, $2V = 54$. Monoclinic, space group $C2/m$, $a = 15.033$, $b = 8.001$, $c = 10.478$ Å, $\beta = 113.51$, $Z = 2$. The composition (by microprobe analysis) corresponds to the formula $\text{Na}_6(\text{Mn}_{0.53}\text{Fe}_{0.47}^{2+})\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$. Named manganonaujakasite as the Mn-dominant analogue of naujakasite $\text{Na}_6\text{FeAl}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$.

Алюмосиликат $\text{Mn}_6(\text{Mn, Fe})\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$ обнаружен А. П. Хомяковым на горе Аллуайв Ловозерского щелочного массива и назван манганонауяказитом (manganonaujakasite) как Mn-доминантный аналог науяказита $\text{Na}_6\text{FeAl}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$, одного из минералов-эндемиков щелочного массива Илимауссак в Ю. Гренландии (Vøggild, 1933; Petersen, 1967). Основные характеристики нового минерала и его прототипа сопоставлены в табл. 1—3.

Новый минерал встречен в керне буровой скважины, поднятом с глубины около 250 м от поверхности, в интенсивно минерализованных ловозерито-ломоносовитовых луавритах, относящихся к пересыщенным щелочными, летучими и редкими элементами породам ультраагпаитового типа (Хомяков, 1990; Khomyakov, 1995). Эти породы, залегающие среди эвдиалитовых луавритов III интрузивной фазы, в основном слагаются лейстами калинатрового полевого шпата, к интерстициям которых приурочены кристаллы и зерна виллиомита, содалита, нефелина, анальцима, игольчатого эгирина, ловозерита и целого ряда менее распространенных минералов: тисиналит, лампрофиллит, вуоннемит, манаксит, нордит, умбозерит, сфалерит и молибденит. Отдельные участки породы обогащены ломоносовитом, который образует порфириовидные вкрапленники до 1 см в поперечнике с пойкилитовыми вростками перечисленных выше минералов.

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества 25 июля 1999 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 4 октября 1999 г.

Таблица 1

Сравнительная характеристика манганонауяказита и науяказита
Comparative characteristics of manganonaujakasite and naujakasite

Свойства	Манганонауяказит	Науяказит
Формула	$\text{Na}_6(\text{Mn, Fe})\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$	$\text{Na}_6\text{FeAl}_4\text{Si}_8\text{O}_{26}$
Сингония	Моноклинная	Моноклинная
Пространственная группа	C2/m	C2/m
$a, \text{Å}$	15.033(3)	15.025(1)
$b, \text{Å}$	8.001(1)	7.991(2)
$c, \text{Å}$	10.478(2)	10.486(1)
β , град	113.51(1)	113.67(8)
$V, \text{Å}^3$	1156	1153
Z	2	2
Интенсивные линии рентгенограммы	65, 3.995	10, 3.99
$I, d(\text{Å})$	92, 3.623	6, 3.69
	56, 3.552	7, 3.56
	58, 3.485	6, 3.44
	31, 3.450	6, 3.06
	33, 3.362	6, 2.79
	100, 3.068	6, 2.61
	39, 2.613	7, 2.26
D , г/см ³	2.67(2)	2.622(5)
Твердость	3—4	2½—3
n_p	1.539(2)	1.537(1)
n_m	1.551(2)	1.549(1)—1.551(1)
n_g	1.554(2)	1.556(1)
$2V$, град	54(1)	52(1)—71(1)
Спайность	Слюдоподобная (001)	Слюдоподобная (001)
Цвет	Голубой	Серебристо-белый, серый

Примечание. Данные настоящей работы; параметры элементарной ячейки уточнены по рентгенодифракционному спектру, полученному с помощью монокристаллического дифрактометра P4 Siemens, данные для науяказита приведены по результатам публикаций (Petersen, 1967; Basso *et al.*, 1975).

Манганонауяказит спорадически рассеян среди минералов интерстициального комплекса в виде отдельных зерен неправильной формы размером 0.5—1 мм, иногда с выраженным пинакоидом {001}. Реже встречается в виде порфиризовидных вкраплений до 5 мм в поперечнике, пронизанных лейстами калинатрового полевого шпата и иглами эгирина. В нем отмечаются также вроски хорошо ограниченных таблитчатых кристаллов вуоннемита. На общем светло-сером фоне породы манганонауяказит резко выделяется яркой лазурно-голубой окраской и характерным зеркальным или перламутровым блеском на плоскости слюдоподобной спайности (001). Минерал водяно-прозрачный или слегка мутноватый. Хрупкий. Твердость 3—4 по шкале Мооса, что несколько выше, чем у науяказита (2½—3), который в отличие от очень свежего манганонауяказита обычно представлен в той или иной степени измененными разновидностями. Это различие проявляется, в частности, в поведении сравниваемых минералов при термической обработке. Так, прокалывание зерен манганонауяказита в течение четырех часов при температуре 500 °C не зафиксировало изменения их массы, тогда как в науяказите, прокаленном при той же температуре, потеря массы составила около 2% (Petersen, 1967), что соответствует содержанию в минерале от 1.7 до 3.6 мас. % H₂O по данным химических анализов (табл. 3). Плотность манганонауяказита, определенная объемметрическим методом, равна 2.67 г/см³, вычисленная для эмпирической формулы — 2.71 г/см³.

Таблица 2

Результаты расчета рентгенограмм порошка манганонауяказита (1) и науяказита (2)
X-ray powder diffraction data for manganonaujakasite (1) and naujakasite (2)

Манганонауяказит				Науяказит		Манганонауяказит			
<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>I</i>	<i>d</i> _{эксп}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>
21	7.115	7.103	$\bar{2}01$	5	7.11	21	2.424	2.425	$\bar{1}14$
14	6.894	6.895	200	5	6.88	10	2.349	2.351	$\bar{3}31$
18	5.152	5.147	111	2	5.13	18	2.263	2.263	$\bar{3}32$
28	4.988	4.984	$\bar{2}02$	4	4.98	20	2.231	2.237	$\bar{5}14$
18	4.811	4.806	002					2.228	132
6	4.377	4.379	$\bar{1}12$			7	2.190	2.189	$\bar{2}24$
13	4.234	4.236	$\bar{3}11$	5	4.23	10	2.158	2.159	313
65	3.995	3.998	020	10	3.99	8	2.144	2.146	223
		3.985	310	5	3.98			2.142	$\bar{6}04$
				3	3.78	5	2.115	2.115	$\bar{4}24$
14	3.757	3.756	$\bar{4}01$	3	3.75	9	2.100	2.101	$\bar{6}21$
28	3.697	3.691	021	6	3.69	6	2.032	2.033	$\bar{7}11$
92	3.623	3.622	112	5	3.62	18	1.998	1.999	040
56	3.552	3.552	$\bar{4}02$	7	3.56			1.998	512
58	3.485	3.485	$\bar{2}03$	4	3.48	11	1.980	1.979	$\bar{5}32$
		3.484	$\bar{2}21$			6	1.955	1.956	133
31	3.450	3.448	400	6	3.44			1.956	$\bar{1}15$
33	3.362	3.363	202	3	3.35	4	1.895	1.897	$\bar{7}14$
9ш	3.29	3.300	311	5	3.12			1.892	$\bar{6}05$
26	3.206	3.204	003			8	1.877	1.878	$\bar{8}02$
30	3.120	3.119	$\bar{2}22$			3	1.860	1.860	$\bar{3}34$
100	3.068	3.073	022	бш	3.06	6	1.843	1.844	241
		3.068	$\bar{3}13$					1.844	225
		3.065	221					1.841	$\bar{1}34$
16	2.895	2.898	401	3	2.89	8	1.811	1.811	602
30	2.797	2.797	$\bar{5}11$	6	2.79	8	1.710	1.710	$\bar{6}25$
16	2.773	2.771	$\bar{5}12$	4	2.77	8	1.647	1.647	$\bar{3}35$
				2	2.74			1.645	$\bar{7}33$
25	2.708	2.708	113	2	2.70	4	1.633	1.634	$\bar{1}16$
24	2.656	2.655	$\bar{4}22$	5	2.65	2	1.622	1.623	$\bar{8}24$
20	2.632	2.627	$\bar{2}23$	1	2.63	7	1.602	1.602	006
39	2.613	2.611	420	6	2.61	8	1.584	1.584	730
18	2.576	2.575	$\bar{1}31$	1	2.57	8	1.578	1.579	$\bar{2}26$
		2.574	222	3	2.54			1.579	712
29	2.545	2.544	203	+9 линий		12	1.519	1.519	334
26	2.495	2.497	$\bar{6}02$	от 2.49		8	1.488	1.488	152
		2.492	$\bar{4}04$	до 1.877		7	1.477	1.477	$\bar{1}0.04$

Примечание. Условия съемки: 1) дифрактометр, $\text{CuK}\alpha$ -излучение; ш — широкая линия; параметры элементарной ячейки, уточненные по рентгенограмме порошка; $a = 15.039(6)$, $b = 7.996(2)$, $c = 10.482(4)$ Å, $\beta = 113.51(3)^\circ$; камера Гинье, $\text{CuK}\alpha$ -излучение (Petersen, 1967).

Кристаллооптическое исследование выполнено с использованием федоровского и иммерсионного методов. Минерал оптически двуосный, отрицательный, $n_p = 1.539(2)$, $n_m = 1.551(2)$, $n_g = 1.554(2)$, $2V = 54(1)$. Средняя дисперсия $r < v$. Взаимоотношения кристаллографических и оптических элементов следующие: $b = Nm$, $c \wedge Np = 45$ в остром углу β . ИК-спектр (рис. 1) содержит хорошо разрешенные полосы поглощения 1172, 1097, 1068, 1015, 980, 925, 732, 700, 585, 555, 530, 505 и 468 см^{-1} . В ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. В кислотах (1:1 HCl и

Таблица 3

Химический состав манганонауяказита и науяказита
 Chemical composition of manganonaujakasite and naujakasite (wt %)

Компонент	Манганонауяказит		Науяказит
	мас. %	O = 16	мас. %
Na ₂ O	19.44 (19.09—19.58)	5.964	14.51—18.60
K ₂ O	0.02 (0.01—0.03)	0.004	0.50—0.80
CaO	0.04 (0.01—0.06)	0.007	0.2—0.55
SrO	0.01 (0—0.02)	0.001	—
MnO	3.94 (3.76—4.10)	0.528	0.57—1.11
FeO	3.68 (3.64—3.85)	0.487	4.46—5.25
Fe ₂ O ₃	—	—	2.18—2.76
Al ₂ O ₃	21.18 (20.89—21.23)	3.951	20.63—20.90
TiO ₂	0.01 (0.01—0.01)	0.001	0.03
SiO ₂	50.76 (50.02—50.90)	8.033	50.95—51.28
H ₂ O	—	—	1.71—3.62
Сумма	99.08		

Примечание. Для манганонауяказита — среднее из анализов 5 зерен, в скобках — пределы вариаций; для науяказита — мокрый химический анализ минерала из двух районов массива Или-мауссак (Petersen, 1967).

HNO₃) при комнатной температуре не разлагается. В целом, как следует из сопоставления данных, приведенных в табл. 1 и 2, манганонауяказит весьма близок к науяказиту по основным характеристикам.

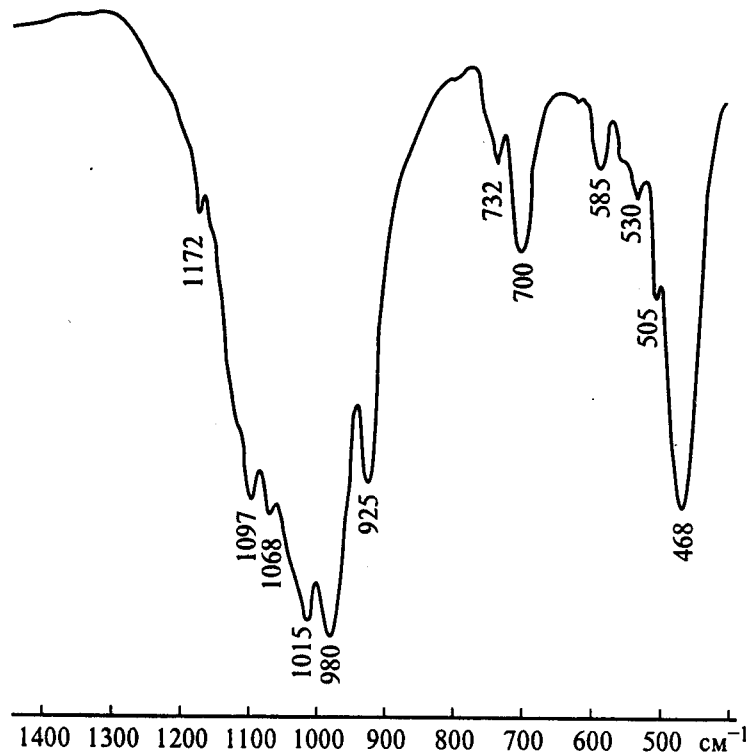


Рис. 1. ИК-спектр манганонауяказита.

Fig. 1. Infrared spectrum of manganonaujakasite.

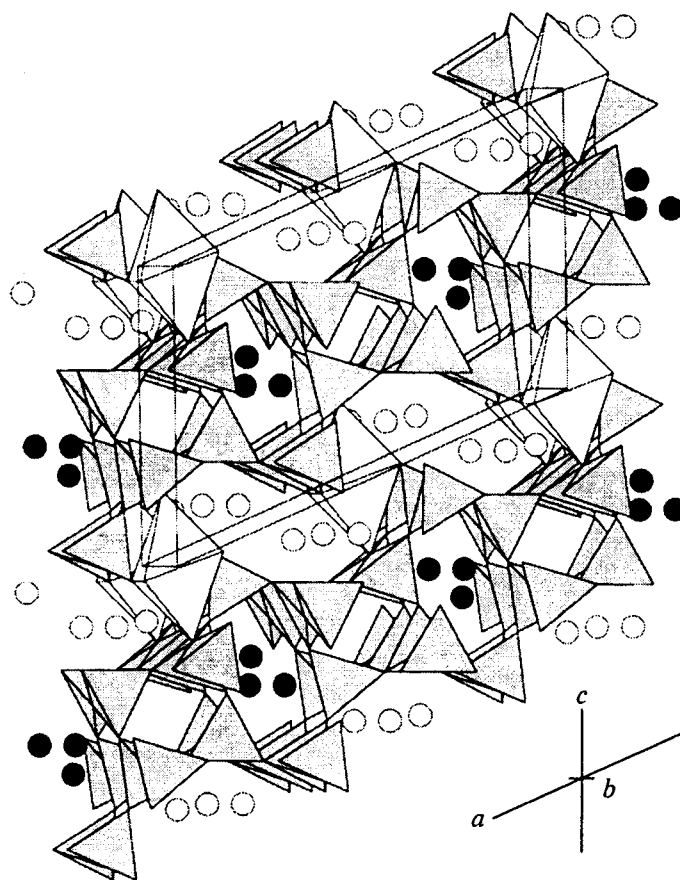


Рис. 2. Аксонометрическая проекция кристаллической структуры манганонауяказита вдоль [010].
 Черными кружками обозначены атомы Na в каналах силикатных слоев, белыми кружками — атомы Na межслоевого пространства.
 Fig. 2. Perspective view of the manganonaujakasite crystal structure along [010].

Химический состав минерала (табл. 3) изучен Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Superprobe-733. Анализировался состав пяти зерен с использованием следующих стандартов: чкаловит (Na, Si), $K_2ZrSi_2O_7(K)$, диопсид (Ca), алмадин (Fe), родонит и $MnCO_3(Mn)$, $AlPO_4(Al)$, $SrTiO_3(Sr, Ti)$. Усредненный состав проанализированных зерен пересчитывается при $O = 26$ ($Z = 2$) на эмпирическую формулу $(Na_{5.964}Ca_{0.007}K_{0.004}Sr_{0.001})_{\Sigma 5.976}(Mn_{0.528}Fe_{0.487}Ti_{0.001})_{\Sigma 1.016}Al_{3.591}Si_{8.033}O_{26}$. Упрощенная формула $Na_6(Mn_{0.53}Fe_{0.47})Al_4Si_8O_{26}$. Отношение Mn/Fe $\sim 53/47$, установленное микрозондовым анализом, подтверждено двумя независимыми методами: а) уточнением заселенности соответствующей позиции при определении кристаллической структуры минерала и б) энергодисперсионным анализом состава структурно изученного зерна.

Согласно результатам структурной расшифровки (автодифрактометр P4 Siemens, $R = 4.0\%$), манганонауяказит изоструктурен науяказиту (Basso e. a., 1975; Халилов и др., 1977). В основе строения сравниваемых минералов лежат параллельные (001) сдвоенные тетраэдрические слои-пакеты состава $[Si_8(Si, Al)_{16}O_{52}]^{16-}$, объединенные (Mn, Fe)-псевдооктаэдрами в ажурный каркас $\{[Mn, Fe]_2[Si_8(Si, Al)_{16}O_{52}]\}^{12-}$, отрицательный заряд которого компенсируется атомами Na, локализующимися в каналах каркаса (рис. 2). Наличие в (Fe, Mn)-псевдооктаэдрах неравноценных катионо-кислородных связей ($\sim 2.07 \text{ \AA} \times 4$ и $\sim 2.72 \text{ \AA} \times 2$) является, очевидно, одним из факторов, благоприятствующих широкому изоморфизму между Fe и Mn в минералах группы науяказита.

Манганонауказит — продукт кристаллизации ультращелочного магматического расплава, на что указывает, в частности, аномально высокое для алюмосиликатов отношение $Na/Al = 1.5$ в его химической формуле. По величине этого отношения он уступает только уссингиту ($Na/Al = 2$), типоморфному для сравнительно низкотемпературных ассоциаций ультраагпаитовых пород — пегматитов и гидротермалитов, кристаллизующихся при $t < 400$ °C (Platt, Rose-Hansen, 1975; Щеголева и др., 1988).

Отметим, что породы, в которых встречен манганонауказит, по многим особенностям весьма близки порфиroidным ловозерито-мурманитовым луввритам Ловозерского массива и науказитосодержащим луввритам массива Илимауссак, относящимся к продуктам поздних стадий магматической дифференциации. В каждом массиве эти резко пересыщенные щелочными, летучими и редкими элементами ультраагпаитовые породы рассматриваются как уникальные по запасам комплексные руды на широкий круг промышленно ценных компонентов (Семенов, 1973; Sørensen e. a., 1974; Sørensen, 1997). Присутствие в указанных породах минералов группы науказита, являющихся своеобразными высокотемпературными эквивалентами уссингита, позволяет рассматривать эти минералы как весьма важные индикаторы насыщения расплава в отношении рудных компонентов на достаточно ранней стадии кристаллизации, что является необходимым условием формирования магматических месторождений различных типов в массивах агпаитовых нефелиновых сиенитов (Когарко, 1977).

Эталонные образцы манганонауказита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана Российской академии наук, Москва (регистрационные номера 2528/1 и 2528/2).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Список литературы

- Когарко Л. Н. Проблемы генезиса агпаитовых магм. М.: Наука. 1977. 294 с.
- Семенов Е. И. Щелочные породы как комплексные руды // Редкие элементы: Сырье и экономика. 1973. Вып. 8. С. 83—84.
- Халилов А. Д., Джафаров Н. Х., Мамедов Х. С. Кристаллическая структура науказита — $Na_6\{Fe^{2+}[(Si,Al)_8 \cdot Si_4O_{26}]\}$ // Докл. АН АзССР. 1977. Т. 33. № 7. С. 35—40.
- Хомьяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.
- Щеголева Г. Н., Когарко Л. Н., Романчев Б. П., Кригман Л. Д. Параметры ультраагпаитового щелочного пегматитообразования // Минералообразующие флюиды и рудогенез. Киев: Наукова думка, 1988. С. 73—79.
- Basso R., Dal Negro A., Della Guista A., Ungaretti L. The crystal structure of naujakasite // Bull. Grønlands geol. Unders. 1975. Vol. 116. P. 11—24.
- Bøggild O. B. Igalikite and naujakasite, two new minerals from South Greenland // Medder Grønland. 1933. Vol. 92. P. 7—12.
- Khomyakov A. P. Mineralogy of hyperagpaite alkaline rocks. Oxford: Clarendon Press, 1995. 224 p.
- Petersen O. V. The mineralogy of naujakasite // Medder Grønland. 1967. Vol. 181. N 6. P. 1—18.
- Platt R. G., Rose-Hansen J. The system ussingite-water and its bearing on crystallization in perisodic portions of system $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ at 1 kb total pressure // J. Geol. 1975. Vol. 83. N 6. P. 763—772.
- Sørensen H. The agpaite rocks — an overview // Miner. Mag. 1997. Vol. 61. P. 485—498.
- Sørensen H., Rose-Hansen J., Nielsen B. L., Løvborg L., Sørensen E., Lundgaard T. The uranium deposit at Kvanefeld, the Ilimaussaq intrusion, South Greenland. Geology, reserves and beneficiation // Rapp. Grøn. Geol. Unders. 1974. Vol. 60. P. 1—54.

Поступила в редакцию
25 января 2000 г.