

при рассмотрении элементарной ячейки в ортогональном аспекте. В пользу такого сравнения, возможно, говорит иногда наблюдаемая слабая двуосность минерала. Окончательный ответ на эти вопросы возможен только после расшифровки структуры нового минерала.

Взаимоотношения березанскита с породообразующими минералами позволяет говорить об образовании его на заключительных стадиях формирования пегматитового тела из гидротермального раствора.

Образец с березанскитом передан в музей Ильменского заповедника УрО РАН, г. Миасс.

Авторы благодарят за помощь в проведении полевых работ и изучении нового минерала П. В. Хворова, В. Ю. Карпенко, С. Н. Батунова, В. Н. Быкова, А. Ф. Бушмакина.

#### Список литературы

- Плюснина И. И. Инфракрасные спектры минералов. М.: МГУ, 1977. 176 с.  
Пушаровский Д. Ю. Структурная минералогия силикатов и их синтетических аналогов. М.: Недра, 1986. 160 с.

Поступила в редакцию  
8 февраля 1997 г.

УДК 549.755 (470.21)

ЗВМО, № 4, 1997 г.  
Proc. RMS, N 4, 1997

© Д. члены Р. П. ЛИФЕРОВИЧ, В. Н. ЯКОВЕНЧУК, Я. А. ПАХОМОВСКИЙ,  
А. Н. БОГДАНОВА, С. Н. БРИТВИН

### ЁНАИТ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ СКАНДИЯ ИЗ КАЛЬЦИТ-ДОЛОМИТОВЫХ КАРБОНАТИТОВ КОВДОРСКОГО МАССИВА<sup>1</sup>

R. P. LIFEROVICH, V. N. YAKOVENCHUK, Ya. A. PAKHOMOVSKY,  
A. N. BOGDANOVA, S. N. BRITVIN. JUONNIITE, A NEW MINERAL OF SCANDIUM  
FROM DOLOMITIC CARBONATITES OF THE KOVDOR MASSIF

Геологический институт Кольского научного центра РАН, 184200, Апатиты, ул. Ферсмана, 14

The mineral was found in calcite-dolomitic carbonatite veins crossing rocks and ores of the Kovdor ultramafic alkaline complex (Kola peninsula). It forms small spherulites up to 0.8 mm in size and associates with dolomite, magnesite, bobierrite, kovdorskite, manasseite, hydrotalcite, pyrite, Sr-rich collinsite, rimcorolgitite and talc. The individual crystals of right-angle form are platted and/or elongated: up to 10 mkm in width and 2 mkm in thickness. Colour: from colourless, light-yellow to yellowish-brown; powder colour is white. Transparent, with vitreous, brittle luster. Hardness on Mohs 4.0–4.5. VHN – 330 kg/mm<sup>2</sup> (load 20 g) in average. Density (g/cm<sup>3</sup>) 2.43 (meas.), 2.44 (calc.). Biaxial, negative.  $\alpha = 1.574$  (1),  $\beta = 1.579$  (1),  $\gamma = 1.582$  (1),  $2V$  (calc.) = 70.2°. Orthorhombic, Pbc<sub>a</sub>,  $a = 15.03$  (5),  $b = 18.95$  (4),  $c = 7.59$  (1) Å,  $V = 2162$  (4) Å<sup>3</sup>,  $Z = 8$ . Electron probe analysis gave (wt.%): MgO 11.66, CaO 12.75, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14.43, MnO 0.47, FeO 0.63, BaO 1.78, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 35.89.

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества 24 сентября 1996 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 4 февраля 1997 г.

Скандий, как известно, обладает совершенно неконтрастными геохимическими свойствами и по кристаллохимическим характеристикам близок к широкому спектру катионов петрогенных и редких элементов. В первую очередь это относится к  $\text{Fe}^{2+}$ , в меньшей мере  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , а также  $\text{Sn}^{4+}$ ,  $\text{W}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$  и др. Подобное положение в сочетании с довольно низким кларком скандия приводит к рассеянию этого элемента в подавляющем большинстве природных геологических процессов. В ходе протокристаллизации скандий рассеивается в качестве изоморфной примеси в мафических силикатах, в первую очередь клинопироксенах, а на более поздних стадиях минералогенеза – в минералах редких металлов. Для образования собственно скандиевых минералов необходимо редко осуществляющееся в природе сочетание ряда условий, ведущих к высвобождению скандия из первичных минералов-носителей, его миграции, концентрации и переотложению (Борисенко, 1988). К настоящему времени известно всего пять собственных минеральных видов скандия: тортвейтит, бацит, каскандит, джервисит и колбекит. В пределах карбонатитовых комплексов скандиевая минерализация довольно редка и проявлена лишь в массиве норвежского острова Фён, где в тонкозернистых магнезиальных и железистых карбонатитах отмечаются проявления микроскопической вкрапленности тортвейтита и скандиевого колумбита (Amli, 1977).

В ходе исследования минералого-геохимических особенностей Ковдорского железорудного месторождения нами был найден новый водный фосфат магния, кальция и скандия, являющийся шестым собственным минеральным видом скандия. Минерал назван ёнаит (Juonniite) по реке Ёна (фин. Juoppi) на Кольском полуострове, протекающей вблизи месторождения. Минерал обнаружен в штокверковой зоне кальцито-доломитовых карбонатитов, секущих метасоматически переработанные кальцито-флогопито-магнетитовые руды (фоскориты) Ковдорского массива. Подобное описание массива дано А. А. Кухаренко и др. (1965), железорудного месторождения – Н. И. Красновой и Л. Н. Копыловой (1988). Вмещающие породы представлены кальцито-флогопито-магнетитовыми рудами с клиногумитом, бурым флогопитом, апатитом, тремолитом и реликтовым форстеритом. Метасоматическое изменение пород проявилось в изменении форстерита и последующем формировании таких минералов, как клиногумит и красный высокожелезистый флогопит, описанный ранее как тетраферрифлогопит (Римская-Корсакова, Соколова, 1964; Семенова и др., 1977). Редкометалльная минерализация в этих рудах большей частью связана с метасоматическими преобразованиями и проявлена в виде бадделеита, гатчеттолита и циркелита, а привнесенные уран и торий обуславливают повышенную радиоактивность пород. Благодаря этому подобные фоскориты получили у геологов название „аномальных руд”, а штокообразный ареал их распространения – „Аномальной рудной зоны”. Следует подчеркнуть, что для вновь образованных при метасоматозе минералов характерны повышенные концентрации скандия, заметно превосходящие содержания этого элемента в тех же минералах из обычных фоскоритов. В краевых частях зоны метасоматоза руды пронизаны системой ветвящихся карбонатитовых жил, имеющих преимущественно субвертикальное падение. Мощность отдельных жил колеблется от первых сантиметров до первых метров. Как в карбонатитах, так и в их экзоконтактах наблюдаются минерализованные каверны размером от первых миллиметров до десятков сантиметров.

Новый минерал скандия встречен в подобного рода кавернах в пределах зоны восток-северо-восточного простираения и протяженностью в плане не менее трехсот метров. Минерал отмечается в следующих ассоциациях (перечислены в порядке наблюдаемой последовательности минералообразования): 1) доломит → тальк → бобьерит → минерал ряда месселита–коллинсита → карбонат-фторопа-

тит → пирит → манассеит → ёнаит; 2) доломит → манассеит → гидроталькит → ёнаит → пирит; 3) доломит → бадделейт + магнетит → ёнаит; 4) доломит → бадделейт → циркон + магнетит → ёнаит → гипс; 5) доломит → магнезит → барит → бобьерит → римкорольгит → ёнаит + хлорит → пирит; 6) доломит → магнезит → коллинсит → ковдорскит → ёнаит → арагонит; 7) доломит → римкорольгит → стронциовитлокит → обогащенный стронцием коллинсит → ёнаит; 8) доломит → ёнаит → пирит + хлорит.

Ёнаит образует сферолиты, размер которых, как правило, колеблется в пределах 0.05–0.8 мм в диаметре (рис. 1, а). Поверхность таких сферокристаллов состоит из тончайших субпараллельных индивидов (рис. 1, б). Эти индивиды при максимальном увеличении имеют отчетливо выраженную форму удлиненных пластиночек размером в сечении  $10\text{--}12 \times 0.5\text{--}2$  мкм, которые срastaются гранями ромбической призмы (рис. 1, в). Окраска минерала меняется от сероватой и бурой до ярко-оранжевой, иногда сферолиты приобретают зеленоватый оттенок из-за тонких включений хлорита. В ассоциации с бесцветным или непрозрачным желтым бобьеритом сферолиты ёнаита обладают концентрической зональностью, обусловленной наличием бесцветного центрального ядра и ярко-оранжевой краевой зоны. Минерал в сферолитах просвечивает, полупрозрачный. В иммерсионных препаратах прозрачен, индивиды его часто изогнуты, деформированы вдоль оси удлинения; двойники не наблюдаются. Черта белая, блеск стеклянный. Спайность не проявлена. Твердость 4–4.5. Твердость микровдавливания по Виккерсу, измеренная при нагрузке 20 мг, колеблется от 315 до 355 (8 испытаний) и составляет в среднем  $330 \text{ кг/мм}^2$ . Плотность минерала, измеренная методом уравнивания в жидкости,  $2.43$  (3)  $\text{г/см}^3$ . В ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. Минерал двуосный, отрицательный:  $N_g = 1.582$  (2),  $N_m = 1.579$  (1),  $N_p = 1.574$  (1),  $N_g - N_p = 0.008$ ,  $2V_{\text{выч}} = 70.2^\circ$ .

Монокристалльная съемка ёнаита не проводилась ввиду крайне малых размеров индивидов, однако его рентгенограмма порошка (табл. 1) имеет сходство с данными, приводимыми для минералов группы оверита (Moog, 1974; JCPDS, 1976; Волошин и др., 1983; Mücke, 1983; Волошин и др., 1992), для которых в результате структурных исследований была установлена ромбическая сингония и пространственная группа  $Pbca - D_{2h}^{15}$  (Moore, Araki, 1977). Несмотря на некоторые различия по интенсивности и положению ряда линий, рентгенограмму порошка ёнаита удалось проиндексировать по аналогии с литературными данными для минералов группы оверита и определить МНК параметры элементарной ячейки:  $a = 15.03$  (5),  $b = 18.95$  (4),  $c = 7.59$  (1) Å,  $V = 2162$  (4) Å<sup>3</sup>,  $Z = 8$ . Плотность вычисленная на эмпирическую формулу для разных химических составов, колеблется в пределах от 2.39 до 2.47 и хорошо согласуется с измеренной величиной (2.43) и значением плотности, определенным по правилу Гладстоуна–Дэйла – 2.51–2.55 ( $\text{г/см}^3$ ). В табл. 1 для сравнения приведена также рентгенограмма порошка сегелерита, наиболее близкого к ёнаиту (по: Moog, 1974).

Химический состав минерала из Ковдорского массива (табл. 2) исследован на микроанализаторе MS-46 Сатеса при ускоряющем напряжении 20 кВ (30 кВ для Sr) и токе электронного зонда 15–20 нА с использованием в качестве эталонов сравнения апатита (для Ca и P), форстерита (Mg), тортвейтита (Sc), лоренценита (Ti), синтетического  $\text{MnCO}_3$  (Mn), гематита (Fe), целестина (Sr) и барита (Ba). Кроме указанных в табл. 2 других элементов с атомным номером выше 11 не обнаружено. Минерал из разных ассоциаций обычно характеризуется однородностью и относительно постоянным химическим составом. В зональных сферолитах из образцов в ассоциации с бобьеритом химический состав для различных участков меняется заметно лишь в отношении примесных элементов (табл. 2, ан. 7–9). Содержание

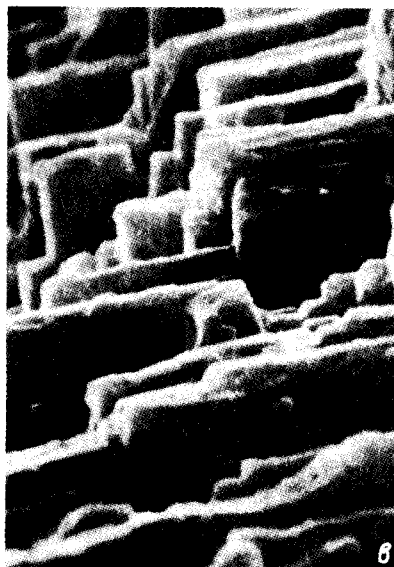
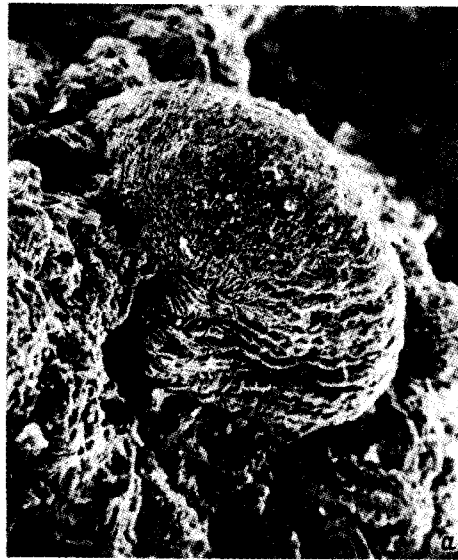


Рис. 1. Ярко-оранжевый полупрозрачный сферолит ёнаита на доломите. РЭМ фото.  
*a* – увел. 120, *б* – увел. 500, *е* – увел. 4960.

Fig. 1. Translucent bright-orange spherulite of juonniite. SEM photo, enlargement 120 (*a*), 500 (*б*) and 4960 (*е*).

воды в минерале, определенное методом Пенфильда из отдельной навески в 17 мг, составляет величину около 20 мас.%. К сожалению, количество материала весьма ограничено для более точного определения воды, однако эта оценка хорошо совпадает с ожидаемым ее содержанием по дефициту суммы электронно-зондового локального анализа. Общая формула для минералов группы оверита имеет вид  $ABC(PO_4)_2(OH) \cdot 4H_2O$ , где А – Ca, Mn; В – Mg,  $Fe^{2+}$ ; С – трехвалентные катионы Al и  $Fe^{3+}$ . Аналогично овериту и сегелериту в ёнаите позиции А и В заняты кальцием и магнием соответственно, роль трехвалентного катиона играют скандий и,

Таблица 1

Результаты расчета дебаеграмм ёнаита и сегелерита  
X-ray powder diffraction data of juonniite and segelerite, Å

Ёнаит				Сегелерит		Ёнаит				Сегелерит	
$I/I_0$	$d/n_{изм}$	$d/n_{расч}$	$hkl$	$I/I_0$	$d/n_{изм}$	$I/I_0$	$d/n_{изм}$	$d/n_{расч}$	$hkl$	$I/I_0$	$d/n_{изм}$
100	9.49	9.475	020	100	9.31	6	2.404	2.407	541	30	2.368
				10	5.74			2.397	162		
				60	5.34					30	2.307
				40	4.97	6	2.319	2.320	133	10	2.253
17	4.75	4.738	040	40	4.65	4	2.194	2.197	470	10	2.191
9	4.67	4.652	221							10	2.123
						10	2.023	2.026	253	10	2.060
8	4.01	4.019	041	20	3.94					10	2.026
		4.008	240			15	2.018	2.019	721	40	1.988
				50	3.73			2.017	372		
6	3.604	3.612	112			7	1.975	1.975	063	40	1.963
31	3.440	3.430	122	50	3.42					10	1.925
				20	3.25					10	1.893
9	3.167	3.173	421			5	1.874	1.873	114		
		3.158	060	10	3.16	10	1.843	1.843	820		
3	3.122	3.135	341			5	1.563	1.566	4.11.0	20	1.540
				30	3.06			1.560	1.11.2		
27	2.942	2.944	440			5	1.541	1.542	941	30	1.515
44	2.912	2.912	260	30	2.868			1.540	393		
35	2.890	2.882	322	20	2.813					10	1.449
8	2.637	2.640	152	40	2.583					20	1.435
6	2.516	2.517	451			2	1.358	1.358		30	1.346
		2.514	171			4	1.275	1.276			

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2.0, монохроматизированное  $\text{CuK}\alpha$ -излучение. Данные по сегелериту приведены по П. Муру (Moog, 1974).

вероятно, избыточный для позиции В магний, распределение которого здесь имеет статистический характер. При значительной разнице эффективных ионных радиусов в шестерной кислородной координации между Al (0.57 Å),  $\text{Fe}^{3+}$  (0.67 Å), с одной стороны, и  $\text{Sc}^{3+}$  (0.83 Å) – с другой, в ряду оверит–сегелерит–ёнаит несомненно некоторая структурная перестройка, которая вызывает увеличение параметров кристаллической решетки (табл. 3) и является причиной различия их рентгенограмм. Расчет эмпирических формул минерала, приведенных в табл. 2, выполнен на основе  $(\text{PO}_4)_2$  с учетом возможного изоморфизма кальция, стронция, бария и марганца в позиции А, а также скандия с магнием и двухвалентным железом в позиции С, согласно данным Л. Ф. Борисенко (1988). Таким образом, ёнаит является скандиевым аналогом сегелерита и оверита, а его идеальная формула имеет вид:  $\text{CaMgSc}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

ИК-спектр ёнаита (рис. 2) изучен Н. В. Чукановым на спектрометре Specord-75 в стандартном диапазоне частот. Использовалась мини-таблетка на основе KBr с фокусировкой излучения, спектральная ширина щели  $1 \text{ см}^{-1}$  в интервале  $400\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$  и  $4\text{--}8 \text{ см}^{-1}$  в интервале  $1200\text{--}3500 \text{ см}^{-1}$ . Частоты измерены с эталоном и введением поправки на дрейф прибора. Форма спектра свидетельствует о принадлежности ёнаита к классу водных фосфатов. На ИК-спектре минерала наблюдаются 15 полос поглощения (в  $\text{см}^{-1}$ ): 435, 447, 546, 582, 641, 878, 1022, 1050, 1120, 1435,

