

УДК 549.6

## НИКМЕЛЬНИКОВИТ $\text{Ca}_{12}\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_6(\text{OH})_{20}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ КОВДОРСКОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ)

Член-корреспондент РАН С. В. Кривовичев<sup>1,2,\*</sup>, В. Н. Яковенчук<sup>1</sup>,  
Т. Л. Паникоровский<sup>1,2,\*</sup>, Е. Э. Савченко<sup>1</sup>, Я. А. Пахомовский<sup>1</sup>,  
Ю. А. Михайлова<sup>1</sup>, Е. А. Селиванова<sup>1</sup>, Г. И. Кадырова<sup>1</sup>, **Г. Ю. Иванюк<sup>1</sup>**

Поступило 11.07.2019 г.

Приведено описание никмельниковита  $\text{Ca}_{12}\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_6(\text{OH})_{20}$  — нового минерала из Ковдорского массива (Кольский полуостров, Россия) и первого тригонального представителя надгруппы граната. Минерал назван в честь академика Николая Николаевича Мельникова (1938–2018), выдающегося советского и российского горного инженера, директора Горного института Кольского научного центра РАН (1981–2015).

*Ключевые слова:* никмельниковит, гранат, новый минерал, Ковдорский массив, Кольский полуостров.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-56524885526-529>

В 2018 г. Международная минералогическая ассоциация утвердила новый минерал никмельниковит (nikmelnikovite, IMA-2018-043)  $\text{Ca}_{12}\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_6(\text{OH})_{20}$ , названный в честь академика Николая Николаевича Мельникова (1938–2018), выдающегося горного инженера и организатора науки, директора Горного института Кольского научного центра РАН (1981–2015). Местом открытия никмельниковита является крупнейшее в мире Ковдорское флогопитовое месторождение, приуроченное к одноимённому щёлочно-ультраосновному массиву в Мурманской области РФ (67°33' с.ш., 30°31' в.д.).

Ковдорский массив перидотитов, фойдолитов–мелилитолитов, фоскоритов–карбонатитов и связанных с ними метасоматических пород (фенитов, диопсидитов, флогопититов и скарноидов) представляет собой полифазную интрузию, внедрившуюся около 400 млн лет назад в архейские гранито-гнейсы Беломорского блока [1]. Никмельниковит найден в скарноподобных породах Ковдорского флогопитового месторождения, главные минералы которых представлены диопсидом, флогопитом, форстеритом, гидроксилпатитом, везувианом, монтичеллитом, тремолитом и магнезиогастингситом, второстепенные — магнетитом, паргаситом, андрадитом, глаголевитом, кирштейнитом, волластонитом и доломитом. В этих породах встречено изометричное гигантозернистое гнездо (около 80 см в диаме-

тре), сложенное кальцитом, магнезиогастингситом, пектолитом, андрадитом, манаевитом-(Се) (новый минерал группы везувиана), глаголевитом, натролитом–гоннардитом, сколецитом, томсонитом–Са, тоберморитом, магнетитом и сфалеритом [2], где и был обнаружен никмельниковит.

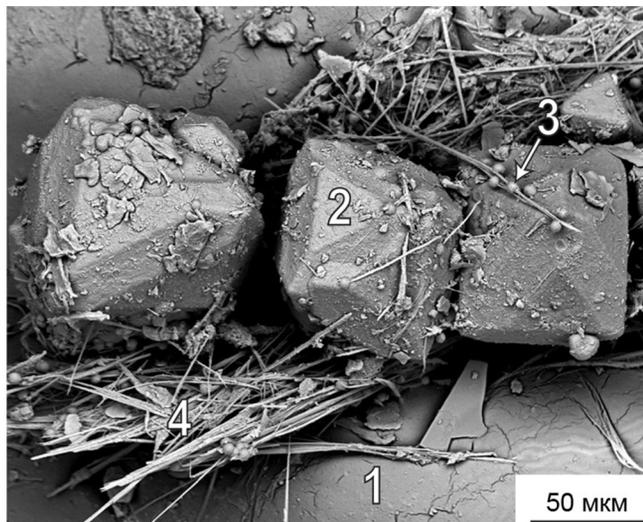
Никмельниковит нарастает на октаэдрические грани крупных (до 6 см в диаметре) кристаллов андрадита, вкрапленных в кальцит, в виде полупрозрачных коричневатых корок (до 1 мм в толщину). Со стороны кальцита эти корки инкрустированы мелкими (до 0,1 мм в диаметре) ромбоэдрическими кристаллами никмельниковита (рис. 1) и его сферическими глобулами (до 5 мкм в диаметре). Кристаллы огранены гранями ромбоэдра  $\{10\bar{1}1\}$  и пинакоида  $\{0001\}$  и имеют секториальное строение, обусловленное чередованием участков с различным соотношением Al и  $\text{Fe}^{3+}$ .

Корки и кристаллы никмельниковита хрупкие, с раковистым изломом. Спайность и отдельность не проявлены. Характерны мероэдрические двойники по  $(11\bar{2}0)$ . Твёрдость по Моосу 5,5. Плотность, определённая методом уравнивания в жидкости Клеричи —  $3,00(3)$  г/см<sup>-3</sup>; плотность, рассчитанная по эмпирической формуле и данным порошкового рентгеноструктурного анализа —  $3,08$  г/см<sup>-3</sup>. Макроскопически никмельниковит красновато-коричневый, со стеклянным до жирного блеском. Корки, покрытые кристаллами и глобулами, матовые. Минерал одноосный отрицательный,  $N_o = 1,682(5)$ ,  $N_e = 1,675(5)$  (при 589 нм). В проходящем свете светлый красновато-коричневый, без плеохроизма. Сходимость по Гладстону–Дэйлу превосходная (0,002).

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр» Российской Академии наук, Апатиты Мурманской обл.

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

\*E-mail: s.krivovichev@ksc.ru



**Рис. 1.** Электронно-микроскопическое изображение корки (1), секториальных кристаллов (2) и глобул (3) никмельниковита, нарастающих на кристалл андрадита совместно с тоберморитом (4).

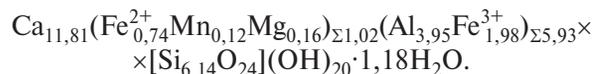
Химический состав никмельниковита (табл. 1) определен при помощи волнодисперсионного электронно-зондового микроанализатора Cameca MS-46 (ГИ КНЦ РАН) со следующими параметрами: напряжение 20 кВ, ток зонда 22 нА, диаметр зонда 5 мкм, в качестве стандартов использованы пирроп (Mg, Al), диопсид (Si, Ca),  $\text{MnCO}_3$  (Mn) и гематит (Fe). Содержание  $\text{H}_2\text{O}$  определено методом Пенфилда из навески 24,92 мг.

**Таблица 1.** Химический состав никмельниковита (мас.%)

Компонент	Среднее	Min	Max
$\text{H}_2\text{O}$	12,08		
MgO	0,38	0,32	0,46
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,08	11,40	12,44
$\text{SiO}_2$	22,10	21,57	23,57
CaO	39,71	38,31	40,36
MnO	0,52	0,44	0,55
FeO	3,19*		
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	9,48*	11,82**	16,38**
Сумма	99,54		

Примечание. \* Соотношение  $\text{Fe}^{3+} : \text{Fe}^{2+}$  принято равным 2,12 : 0,88 на основании данных рентгеноструктурного анализа; \*\* полное содержание железа.

Средний химический состав никмельниковита ( $\text{MgO}$  0,38;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12,08;  $\text{SiO}_2$  22,10; CaO 39,71; MnO 0,52; FeO 3,19;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  9,48;  $\text{H}_2\text{O}$  12,08; сумма 99,54 мас.%) соответствует следующей эмпирической формуле, вычисленной на основе 68 зарядов (исходя из структурных данных):



Учитывая результаты рентгеноструктурного анализа, идеальная формула минерала может быть записана как  $\text{Ca}_{12}\text{Fe}^{2+}\text{Al}_4\text{Fe}^{3+}_2[\text{SiO}_4]_6(\text{OH})_{20}$ .

Инфракрасный (ИК) спектр никмельниковита (рис. 2) получен при комнатной температуре с разрешением  $2 \text{ см}^{-1}$  при помощи спектрофотометра Nicolet 6700 FTIR (ИХТРЭМС КНЦ РАН) с использованием KBr в качестве эталона. На спектре четко фиксируются 16 полос поглощения, большая часть которых аналогична таковым для андрадита [3–5]: интенсивный триплет при  $833\text{--}912 \text{ см}^{-1}$  соответ-

**Таблица 2.** Эталонная рентгенограмма никмельниковита\*

$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	$hkl$	$I_{\text{изм}}$	$I_{\text{выч}}$
<b>8,57</b>	<b>8,60</b>	<b>110</b>	<b>65</b>	<b>100</b>
6,06	6,09	021	0,8	1
4,967	4,968	300	16	22
4,297	4,302	220	17	19
3,849	3,849	131	8	5
3,505	3,513	401	0,4	1
3,250	3,252	140	16	23
<b>3,042</b>	<b>3,044</b>	<b>042</b>	<b>58</b>	<b>35</b>
2,873	2,872	303	6	5
<b>2,720</b>	<b>2,720</b>	<b>223</b>	<b>100</b>	<b>91</b>
2,594	2,595	511	11	12
2,483	2,484	600	27	18
2,388	2,391	214	16	22
<b>2,223</b>	<b>2,225</b>	<b>134</b>	<b>28</b>	<b>26</b>
2,154	2,154	404	1	1
2,087	2,087	351	1	2
2,035	2,032	205	0,5	1
<b>1,9747</b>	<b>1,9745</b>	<b>532</b>	<b>30</b>	<b>31</b>
1,9259	1,9263	244	5	4
1,8778	1,8775	630	2	2
1,8348	1,8375	045	0,6	1
1,7945	1,7942	271	2	1
1,7572	1,7567	802	10	15
1,7220	1,7209	811	2	2
<b>1,6871</b>	<b>1,6875</b>	<b>461</b>	<b>31</b>	<b>27</b>
1,6568	1,6567	363	5	4
<b>1,6264</b>	<b>1,6264</b>	<b>642</b>	<b>32</b>	<b>25</b>
1,5489	1,5481	416	3	5
1,5231	1,5221	084	7	6
1,4981	1,4984	903	2	3
1,4570	1,4574	217	0,3	1
1,4345	1,4350	464	0,5	1
1,4151	1,4150	743	1	2
1,3612	1,3606	482	6	3

Примечание. \* Семь наиболее интенсивных линий выделены жирным.

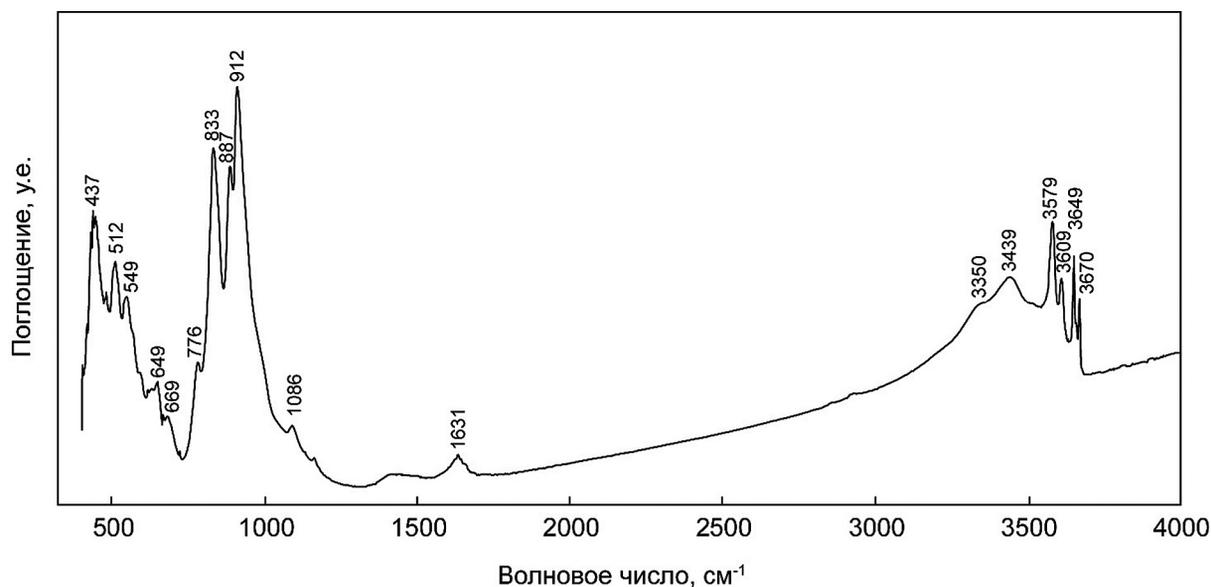


Рис. 2. ИК-спектр никмельниковита.

ствует асимметричным валентным колебаниям связей Si—O, полосы при 512–776  $\text{см}^{-1}$  обусловлены симметричными и асимметричными деформационными колебаниями связей Si—O, а полоса при 437  $\text{см}^{-1}$  наиболее вероятно отвечает колебаниям (Al,Fe)—O в (Al,Fe) $\text{O}_6$  октаэдрах. В отличие от безводных гранатов, ИК-спектр никмельниковита содержит интенсивные хорошо разрешённые полосы поглощения валентных колебаний связей O—H в области 3300–3700  $\text{см}^{-1}$ , а также сравнительно интенсивный максимум поглощения при 1631  $\text{см}^{-1}$ , соответствующий деформационными колебаниями H—O—H связей в молекулах воды.

Согласно данным структурного анализа, никмельниковит тригональный,  $R\bar{3}$ ,  $a = 17,2072(6)$ ,  $c = 10,5684(4)$  Å,  $V = 2710,1(2)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 3$ . Порошковая рентгенограмма получена при помощи дифрактометра “Bruker Phazer” D2 с  $\text{CuK}\alpha$ -излучением, ускоряющим напряжением 40 кВ и катодном токе 15 мА (табл. 2). Параметры элементарной ячейки минерала по данным порошковой дифрактометрии:  $a = 17,2079(8)$ ,  $c = 10,5617(9)$  Å,  $V = 2708,5(3)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 3$ .

Кристаллохимические особенности никмельниковита и его тесная ассоциация с высоководным представителем группы везувиана манаевитом-(Ce) позволяют заключить, что рассматриваемый минерал кристаллизовался из поздних низкотемпературных гидротермальных растворов, эпитактически нарастая на андрадит, используя сосуществующие магнетит и кальцит в качестве дополнительных источников Fe и Ca.

Никмельниковит — первый тригональный представитель надгруппы граната [6].

**Источники финансирования.** Исследования проводились в рамках научных тем ФИЦ КНЦ РАН 0226–2019–0051 и 0186–2019–0011 при финансовой поддержке Президиума РАН (Программа I-48) и гранта Совета по грантам Президента РФ для ведущих научных школ (грант НШ-3079.2018.5).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mikhailova J.A., Kalashnikov A.O., Sokharev V.A., Pakhomovsky Y.A., Konopleva N.G., Yakovenchuk V.N., Bazai A.V., Goryainov P.M., Ivanyuk G.Y. 3D Mineralogical Mapping of the Kovdor Phoscorite–Carbonatite Complex (Russia) // *Miner. Depos.* 2016. V. 51. P. 131–149. DOI: 10.1007/s00126-015-0594-z
2. Ivanyuk G.Yu., Yakovenchuk V.N., Pakhomovsky Ya.A. Kovdor. Laplandia Minerals, Apatity, 2002. 320 p.
3. Moore R., White W., Long T. Vibrational Spectra of the Common Silicates: I. The Garnets // *Amer. Mineral.* 1971. V. 56. P. 54–71.
4. Geiger C.A., Winkler B., Langer K. Infrared Spectra of Synthetic Almandine-Grossular and Almandine-Pyrope Garnet Solid Solutions: Evidence for Equivalent Site Behavior // *Mineral. Mag.* 1989. V. 53. P. 231–237. DOI: 10.1180/minmag.1989.053.370.10
5. Geiger C.A. A Powder Infrared Spectroscopic Investigation of Garnet Binaries in the System  $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ – $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ – $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ – $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  // *Eur. J. Mineral.* 1998. V. 10. P. 407–422. DOI: 10.1127/ejm/10/3/0407
6. Grew E.S., Locock A.J., Mills S.J., et al. Nomenclature of the Garnet Supergroup // *Amer. Mineral.* 2013. V. 98. P. 785–811. DOI: 10.2138/am.2013.4201

**NIKMELVNIKOVITE,  $\text{Ca}_{12}\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_6(\text{OH})_{20}$ , A NEW MINERAL FROM KOVDOR MASSIF (KOLA PENINSULA, RUSSIA)**

**Corresponding member of the RAS S. V. Krivovichev<sup>1,2,\*</sup>, V. N. Yakovenchuk<sup>1</sup>,  
T. L. Panikorovskii<sup>1,2</sup>, E. E. Savchenko<sup>1</sup>, Ya. A. Pakhomovsky<sup>1</sup>,  
Yu. A. Mikhailova<sup>1</sup>, E. A. Selivanova<sup>1</sup>, G.I. Kadyrova<sup>1</sup>, G.Yu. Ivanyuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity,  
Murmansk region, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation*

Received July 11, 2019

Nikmelnikovite,  $\text{Ca}_{12}\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_6(\text{OH})_{20}$ , is a new mineral from the Kovdor massif, Kola peninsula, Russian Federation. It is the first trigonal member of the garnet supergroup. The mineral is named in honor of Academician Nikolay Nikolaevich Melnikov (1938–2018), an outstanding Soviet and Russian mining engineer, long-time (1981–2015) director of the Mining Institute of the Kola Science Center, Russian Academy of Sciences.

*Keywords:* nikmelnikovite, garnet, new mineral, Kovdor massif, Kola peninsula.