

Селивановаит, $\text{NaTi}_3(\text{Ti, Fe, Na})_4[(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{O, OH})_4(\text{OH, H}_2\text{O})_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, – новый мурманитоподобный гетерофиллосиликат и закономерности его образования в эвдиалитовых лужавритах Ловозёрского массива

Пахомовский Я.А.^{1,2}, Паниковровский Т.Л.³, Яковенчук В.Н.^{1,2}, Калашников А.О.^{1,2},
Михайлова Ю.А.^{1,2}, Кривовичев С.В.², Иванюк Г.Ю.^{1,2}

¹ Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, pakhom@geoksc.apatity.ru,
kalashnikov@geoksc.apatity.ru; yakovenchuk@geoksc.apatity.ru; ylya_korchak@mail.ru

² Центр наноматериаловедения ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, g.ivanyuk@gmail.com; skrivovi@mail.ru

³ Лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики ФИЦ КНЦ
РАН, Апатиты, taras.panikorovsky@spbu.ru

Аннотация. Приведена краткая характеристика нового гетерофиллосиликата селивановаита, образование которого связано с гидротермальным изменением породообразующего мурманита высококальциевыми железистыми растворами, сформировавшимися в ходе метасоматической переработки ксенолитов оливиновых базальтов и их туфов щелочными расплавами/флюидами. Для трансформации мурманита в селивановаит требуется нетривиальная перестройка кристаллической структуры по схеме «монокристалл в монокристалл».

Ключевые слова: селивановаит, мурманит, структурная трансформация, гидротермальное изменение.

Selivanovaite, $\text{NaTi}_3(\text{Ti, Fe, Na})_4[(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{O, OH})_4(\text{OH, H}_2\text{O})_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, – a new murmanite-like zirconosilicate and features of its formation in eudialyte lujavrite of the Lovozero massif

Pakhomovsky Ya.A.^{1,2}, Panikorovskii T.L.³, Yakovenchuk V.N.^{1,2}, Kalashnikov A.O.^{1,2},
Mikhailova Yu.A.^{1,2}, Krivovichev S.V.², Ivanyuk G.Yu.^{1,2}

¹ Geological institute FRC KSC RAS, Apatity, pakhom@geoksc.apatity.ru; kalashnikov@geoksc.apatity.ru; yakovenchuk@geoksc.apatity.ru; ylya_korchak@mail.ru

² Nanomaterials Research Center FRC KSC RAS, Apatity, g.ivanyuk@gmail.com; skrivovi@mail.ru

³ Laboratory of geo-insired technologies and environmental safety of Arctic region FRC KSC RAS, Apatity,
taras.panikorovsky@spbu.ru

Abstract. The paper provides a brief description of a new heterophillosilicate selivanovaite, the formation of which can be assigned to the hydrothermal change of rock-forming murmanite by Ca-Fe-rich solutions formed during fenitization of xenoliths of olivine basalts and their tuffs. For the transformation of murmanite into selivanovite, a nontrivial restructuring of the crystal structure according to the «single crystal to single crystal» scheme is required.

Key words: selivanovaite, murmanite, structural transformation, hydrothermal alteration.

Селивановаит, $(\text{Na,Ca})_3(\text{Ti,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{17}(\text{OH})_5] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $P \bar{1}$, $a = 8.673(5)$, $b = 8.694(3)$, $c = 12.21(1)$ Å, $\alpha = 92.70(5)$, $\beta = 108.46(7)$, $\gamma = 105.40(4)^\circ$, $V = 833(1)$ Å³, $Z = 2$ – новый слоистый титаносиликат группы мурманита из эвдиалитовых лужавритов Ловозёрского массива (Pakhomovsky et al., 2018). Он обнаружен в керне нескольких скважин, пробуренных в пределах Аллуайвского участка Ловозёрского эвдиалитового месторождения (рис. 1 а, б), и назван в честь Е.А. Селивановой, заведующей лабораторией ГИ КНЦ РАН, за её вклад в изучение минералогии щелочных комплексов. Селивановаит образует тёмно-оранжевые пластинчатые метакристаллы (до 8 мм в диаметре) с многочисленными пойкилитовыми включениями эгирина и магнезиоарфведсонита (рис. 2 а) в ассоциации с породообразующими микроклин-пертитом, нефелином, содалитом и натролитом, а также акцессорными лампрофиллитом, мурманитом, лопаритом-(Ce), пирохлором, торитом, анатазом, баритом, рабдофаном-(Ce), пирротином, халько-пиритом, пиритом, хлорбартонитом, джерфшиеритом, сфалеритом и лёллингитом.

Средний химический состав селивановаита (Na_2O 5.45; MgO 0.59; Al_2O_3 0.04; SiO_2 25.55; K_2O 0.63; CaO 1.68; TiO_2 31.17; MnO 2.64; FeO 6.63; ZrO_2 2.31; Nb_2O_5 6.69; H_2O 17.0 мас. %) соответ-

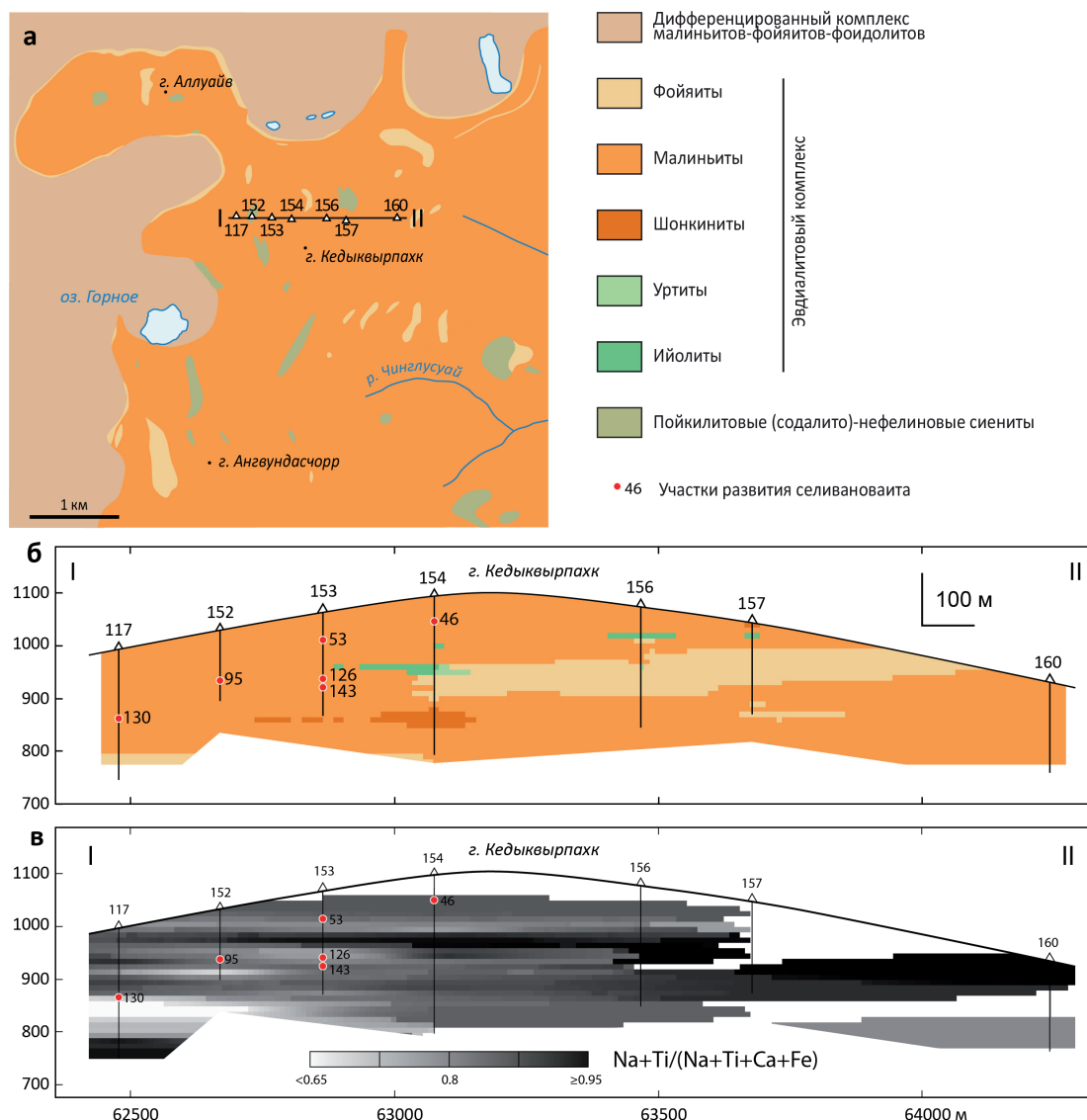


Рис. 1. Аллуайвский участок Ловозёрского эвдиалитового месторождения (а), его разрез по линии I-II (б) и распределение химического состава мурманита (*apfu*) в этом разрезе (в).

Fig. 1. The Alluaiv part of the Lovozero Eudialyte Deposit (a), its section along the I-II line (б) and distribution of chemical composition of murmanite (*apfu*) along the section (в).

ствует эмпирической формуле $(\text{Na}_{1.65}\text{Ca}_{0.28}\text{Mn}_{0.35}\text{Zr}_{0.18}\text{Mg}_{0.14}\text{K}_{0.13})_{\Sigma 2.73}(\text{Ti}_{3.67}\text{Fe}^{2+}_{0.78}\text{Nb}_{0.47}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 4.93}[\text{Si}_4\text{O}_{17.66}(\text{OH})_{3.34}] \cdot 7.2\text{H}_2\text{O}$, однако, в целом, состав минерала варьирует в весьма широких пределах. Сопоставление состава сосуществующих мурманита и селивановаита показало (рис. 2б), что при переходе от первого ко второму происходит линейное увеличение содержания железа за счёт титана и натрия по схеме: $2\text{Na}^+ + \text{Ti}^{4+} \leftrightarrow \square + 2\text{Fe}^{3+}$ и/или $\text{Na}^+ + \text{Ti}^{4+} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$, – так что можно предположить, что селивановаит является продуктом соответствующих катионообменных реакций. В пользу этого косвенно свидетельствует и приуроченность селивановаита к участкам развития мурманита с повышенным содержанием Ca и Fe (рис. 1 в).

В основе структуры селивановаита (рис. 3) лежат характерные для минералов группы мурманита титаносиликатные (TS) HOH-пакеты $[\text{N}_2\text{M}_5\text{Si}_4\text{O}_{18}(\text{OH})_3]$, $M = \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Fe}$ и Mn , $N = \text{Na}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Mn}, \text{Mg}$ и Zr , составленные из октаэдрических O и гетерополиэдрических H слоёв, а между HOH-пакетами располагаются межслоевые I-блоки из изолированных N-октаэдров и молекул воды между ними. Вместе с тем, структура селивановаита существенно отличается от таковой мурманита не

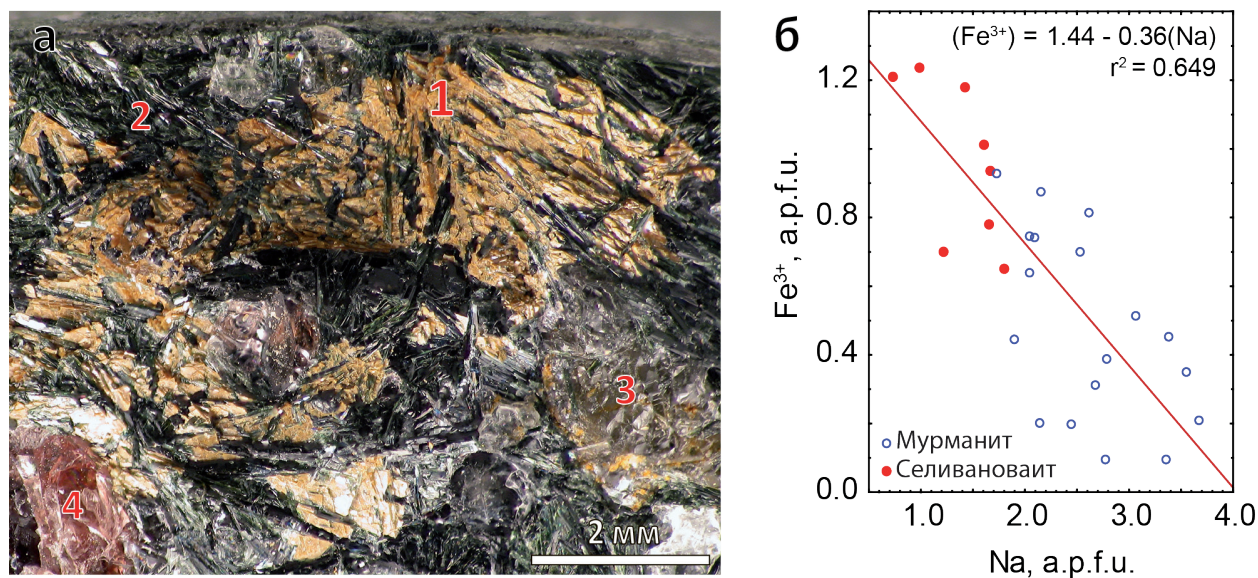


Рис. 2. Метакристаллы селивановаита (1) в эвдиалитовом лужаврите (а) и соотношение содержания Na и Fe в составе сосуществующих мурманита и селивановаита (б). 2 – эгирин, 3 – нефелин, 4 – марганцэвдиалит.

Fig. 2. Selivanovait metacrysts (1) in eudialyte lujavrite (a) and relation between contents of Na and Fe in coexisting selivanovait and murmanite (b). 2 – aegirine, 3 – nepheline, 4 – manganoeudialyte.

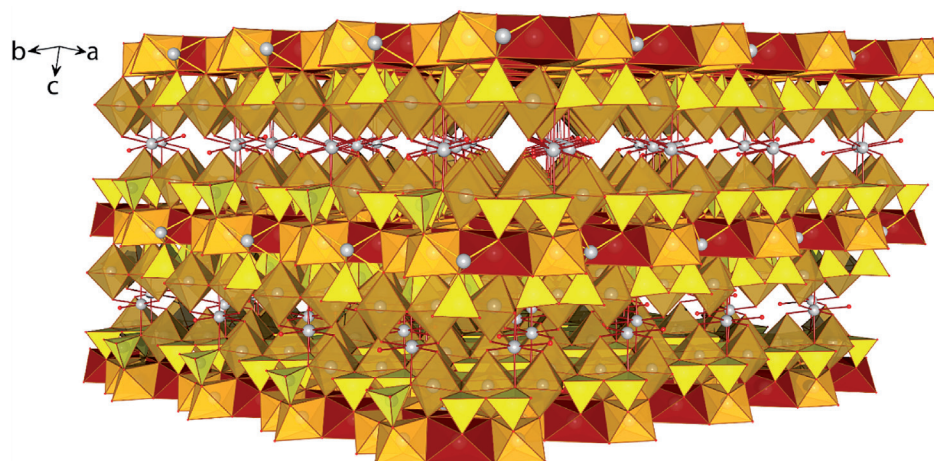
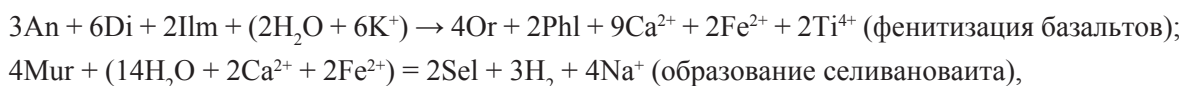


Рис. 3. Кристаллическая структура селивановаита. Серые шарики – частично заполненные позиции M^{04} и A^{P1} , жёлтые тетраэдры – SiO_4 , бледно-коричневые октаэдры – M^{H1} , M^{H2} , M^{H3} , оранжевые октаэдры – M^{O1} , M^{O2} , красные октаэдры – M^{O3} .

Fig. 3. Crystal structure of selivanovait. Half-occupied M^{O4} and A^{P1} sites represented by grey spheres, SiO_4 tetrahedra are yellow, M^{H1} , M^{H2} , M^{H3} octahedra – pale brown, M^{O1} , M^{O2} – orange, M^{O3} – red.

только строением межслоевого I -пакета, но и расположением полиэдров в октаэдрическом O и гетерополиэдрических H слоях титаносиликатного HOH -пакета (рис. 4).

Трансформация мурманита в селивановаит, вероятно, происходила при переработке мурманитсодержащих эвдиалитовых лужавритов высококальциевыми растворами, сформировавшимися в ходе фенитизации оливиновых базальтов и их туфов (Korchak et al., 2011), обогащенных титаномагнетитом, ильменитом и рутилом (в пределах Аллуйвского участка Ловозёрского эвдиалитового месторождения обнаружено большое число таких ксенолитов с высокой степенью метасоматической переработки):



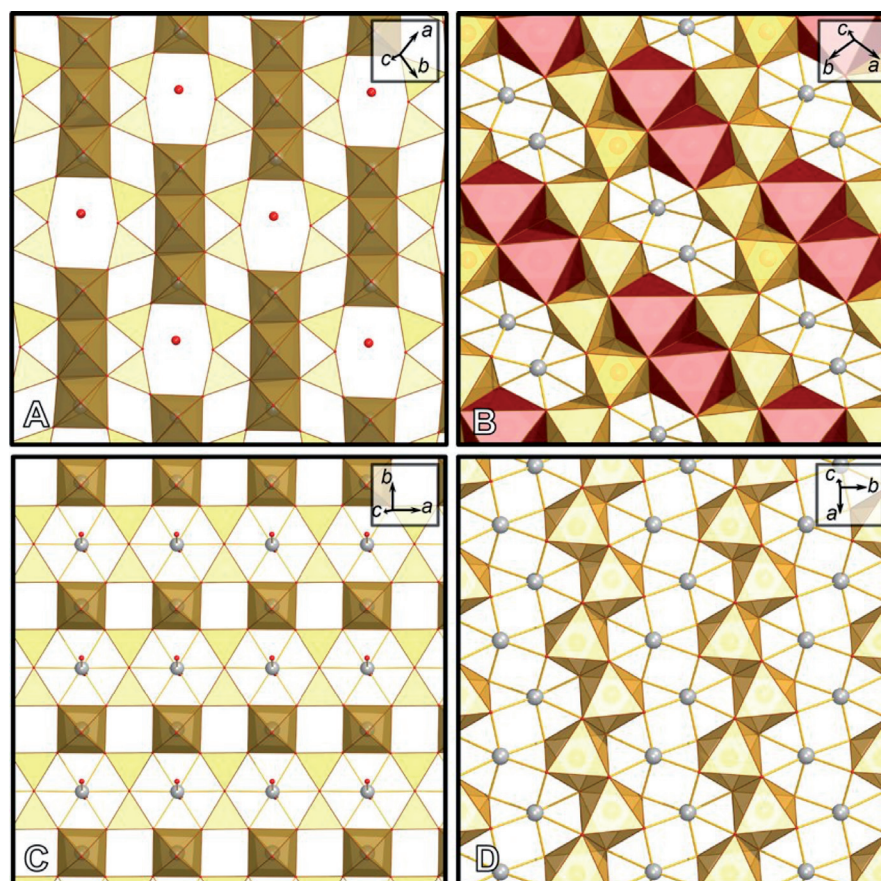


Рис. 4. Гетерополиэдрический H (A, C) и октаэдрический O (B, D) слои в кристаллических структурах селивановаита (A, B) и мурманита (C, D). Наполовину заселённые позиции M^{O4} и A^P1 показаны серыми шариками, SiO_4 -тетраэдры – жёлтые, M^{H1} , M^{H2} , M^{H3} октаэдры – бледно-коричневые, M^{O1} , M^{O2} октаэдры – оранжевые, M^{O3} октаэдры – красные.

Fig. 4. Structure of heteropolyhedral (H -sheet) (A, C) and octahedral (O -sheet) (B, D) layers in the crystal structure of selivanovaite (A, B) and murmanite (C, D). Half-occupied M^{O4} and A^P1 sites are represented by grey spheres, SiO_4 tetrahedra are in yellow, M^{H1} , M^{H2} , M^{H3} octahedra – pale brown, M^{O1} , M^{O2} – orange, M^{O3} – red.

где An – анортит, Di – диопсид, Ilm – ильменит, Mur – мурманит, $\text{Na}_4\text{Ti}_4\text{Si}_4\text{O}_{18} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Or – ортоклаз, Phl – флогопит, Sel – селивановаит, $\text{Na}_2\text{CaFeTi}_4\text{Si}_4\text{O}_{17}(\text{OH})_5 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Для трансформации мурманита в селивановаит одна половина позиций Na в его H -слое должна быть заменена на позиции Ti и Fe^{3+} , тогда как вторая половина должна стать вакантной. В результате такой перестройки, примыкающие к октаэдрическим полиэдрам кремнекислородные диортогруппы $[\text{Si}_2\text{O}_7]$, разворачиваются относительно общей вершины. Для окончательного выяснения природы селивановаита планируются эксперименты по гидротермальному изменению мурманита под воздействием высококальциевых железистых растворов.

Исследования проводились в рамках научных тем ФИЦ КНЦ РАН 0226-2019-0009, 0226-2019-0051 и 0186-2019-0011 при финансовой поддержке Президиума РАН (Программы 35, 48), РФФ (грант 16-17-10173) и РФФИ (грант 18-29-12039).

Литература

1. Korchak Yu.A., Men'shikov Yu.P., Pakhomovskii Ya.A., Yakovenchuk V.N., Ivanyuk G.Yu. Trap Formation of the Kola Peninsula // *Petrology*. 2011. V. 19(1). С. 87–101.
2. Pakhomovsky Y.A., Panikorovskii T.L., Yakovenchuk V.N., Ivanyuk G.Y., Mikhailova J.A., Krivovichev S.V., Bocharov V.N., Kalashnikov A.O. Selivanovaite, $\text{NaTi}_3(\text{Ti}, \text{Na}, \text{Fe}, \text{Mn})_4[(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_4(\text{OH}, \text{H}_2\text{O})_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, a new rock-forming mineral from the eudialyte-rich malignite of the Lovozero alkaline massif (Kola Peninsula, Russia). *Eur. J. Mineral.* 2018. V. 30. P. 525–535. doi:10.1127/ejm/2018/0030-2740.