Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2025. 22. С. 270–276

Минералы группы ловозерита из Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров)

Михайлова Ю. А., Пахомовский Я. А., Селиванова Е. А., Лялина Л. М.
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, j.mikhailova@ksc.ru

Аннотация. В работе рассмотрены два вопроса, касающиеся минералогии группы ловозерита в Ловозерском щелочном массиве: распространенность ловозерита и способ образования золотаревита. На основе анализа литературы и данных, полученных авторами, показано, что в породах массива, ввиду крайне низкого содержания кальция, ловозерит отсутствует, тогда как литвинскит, $Na_3ZrSi_6O_{13}(OH)_5$, распространен наиболее широко. Предыдущими исследованиями установлено, что водосодержащий представитель группы ловозерита, золотаревит, образовался в результате декатионирования ультращелочного минерала таунендита. В данной работе мы приводим признаки первичного происхождении золотаревита.

Ключевые слова: группа ловозерита, литвинскит, золотаревит, щелочные породы, Ловозерский массив.

Lovozerite-group minerals from the Lovozero massif (Kola Peninsula)

Mikhailova J. A., Pakhomovsky Ya. A., Selivanova E. A., Lyalina L. M.
Geological Institute KSC RAS, Apatity, j.mikhailova@ksc.ru

Abstract. The article considers two issues related to the mineralogy of the lovozerite group in the Lovozero alkaline massif: the prevalence of lovozerite and the formation of zolotarevite. Based on the analysis of literature and data obtained by the authors, it is shown that in the rocks of the massif, due to the extremely low calcium content, lovozerite is absent, while litvinskite {$Na_3ZrSi_6O_{13}(OH)_5$} is the most widespread. Previous studies have established that the hydrous member of the lovozerite group, zolotarevite, was formed by decationization of the ultra-alkaline mineral townendite. In this work, we present evidence for the primary origin of zolotarevite.

Keywords: lovozerite-group minerals, litvinskite, zolotarevite, alkaline rocks, Lovozero massif.

Введение

Группа ловозерита (Pekov et al., 2009) объединяет минералы с общей формулой $A_3B_3C_2MSi_6O_{12}O_{6-x}\cdot(OH)_x\cdot nH_2O$, в которой $0 \le x \le 6$; n = 0–1; M = Zr, Ti, Fe^{3+}, Ca; C = Ca, Mn^{2+}, Na, □ (вакансия); A = Na, Ca; B = Na, □. Основу кристаллических структур минералов группы ловозерита составляет каркас, образованный шестичленными кольцами из кремнекислородных тетраэдров и связывающими их изолированными M-октаэдрами (Yamnova et al., 2001 a; b). Этот каркас является разорванным, так как из четырех анионных вершин каждого Si-тетраэдра только три участвуют в его образовании. Две анионные вершины поделены между соседними тетраэдрами Si–O–Si, третья образует мостик Si–O–M, а четвертая вершина остается свободной («висячей»). В «висячих» вершинах каркаса возможно замещение O^{2-} группами OH^-. Соотношение O^{2-} и OH^-зависит от катионног состава минерала и степени заполнения M- и C-позиций.

В настоящее время к группе ловозерита относится 11 минеральных видов (табл. 1). За исключением комбеита и таунендита, все они были впервые обнаружены в Хибинском или Ловозерском массивах и получили названия по месту находки (коашвит, имандрит), по химическому составу (цирсиналит, тисиналит) или в честь известных исследователей (капустинит, казаковит, литвинскит, золотаревит).

По месту нахождения в Ловозерском массиве был назван и минерал-родоначальник группы – ловозерит. Впервые он был описан В. И. Герасимовским в 1939 г. (Герасимовский, 1939) как породообразующий минерал одной из разновидностей нефелиновых сиенитов – порфировидных луявритов. Порфировидные породы, обогащенные вкрапленниками ловозерита (до 20 об. %), получили название ловозеритовые луявриты. В 50-х годах прошлого века они привлекали внимание как перспективные комплексные редкометальные руды (U, Th, Zr, Nb, Ta, Ti, REE); крупное тело таких пород

в верховьях р. Эльмарайок получило название «Ловозерское комплексное месторождение редких металлов» и изучалось в 1955–1957 гг. с проходкой канав и опробованием (Буссен, 1958).

Таблица 1. Список минералов группы ловозерита и характер заселенности позиций в их кристаллических структурах ($Z = 3$)

Table 1. Coefficients in the structural formulae of end members of lovozerite-group minerals ($Z = 3$)

Минерал	***A***	***B***	***C***	***M***	**Si**	**O**	**(O, OH)**
Цирсиналит	Na_3	Na_3	Ca□	Zr	Si_6	O_{12}	O_6
Капустинит	Na_3	Na_3	$□_2$	Zr	Si_6	O_{12}	$O_4(OH)_2$
Казаковит	Na_3	Na_3	Mn^{2+}□	Ti	Si_6	O_{12}	O_6
Комбеит	$Na_{1.5}Ca_{1.5}$	Na_2	CaNa	Ca	Si_6	O_{12}	$O_{5.5}(OH)_{0.5}$
Ловозерит	Na_3	$□_3$	Ca□	Zr	Si_6	O_{12}	$O_3(OH)_3$
Литвинскит	Na_3	$□_3$	$□_2$	Zr	Si_6	O_{12}	$(OH)_5O$
Тисиналит	Na_3	$□_3$	Mn^{2+}□	Ti	Si_6	O_{12}	$O_3(OH)_3$
Коашвит	Na_3	Na_3	Ca□	Ti	Si_6	O_{12}	O_6
Имандрит	Na_3	Na_3	$Ca_{1.5}□_{0.5}$	Fe^{3+}	Si_6	O_{12}	O_6
Таунендит	Na_3	Na_3	Na_2	Zr	Si_6	O_{12}	O_6
Золотаревит	Na_3	$(H_2O)_2$□	Na_2	Zr	Si_6	O_{12}	$O_3(OH)_3$

Примечание. □ – вакансия.

Ловозерит, $Na_3CaZrSi_6O_{15}(OH)_3$, – цирконосиликат натрия и, что особенно важно, кальция. Присутствие породообразующего кальциевого минерала в Ловозерском массиве противоречит одной из важнейших особенностей геохимии его пород – очень низкому содержанию кальция и высокому Na/Ca соотношению (Герасимовский и др., 1966). В химическом составе ловозерита, приведенном в статье В. И. Герасимовского (1939) содержание кальция составляет 3.34 мас. % CaO, что недостаточно для соответствия формуле $Na_3CaZrSi_6O_{15}(OH)_3$. Действительно, данный состав отвечает идеальной формуле $Na_3ZrSi_6O_{13}(OH)_5$, т. е. литвинскиту. Есть ли вообще ловозерит в Ловозерском массиве? В предлагаемой статье мы подготовили ответ на этот вопрос, проанализировав литературные и авторские данные по составам минералов группы ловозерита из разных типов пород массива, в том числе из ловозеритовых луявритов.

Некоторые из минералов группы ловозерита относятся к так называемым трансформационным минеральным видам. Понятие генетической группы трансформационных минеральных видов как «...вторичных водородсодержащих аналогов ультращелочных минералов...» ввел А. П. Хомяков (Хомяков, 1990). «Своеобразие трансформационных минералов состоит в том, что в отличие от обычных минералов, способных кристаллизоваться из расплавов или растворов, они образуются только путем псевдоморфизации соответствующих минералов-предшественников» (Хомяков, 1990). В группе ловозерита (табл. 1) можно выделить минералы с полностью заселенными позициями (например, цирсиналит или казаковит) и минералы с незаселенными позициями (например, ловозерит, тисиналит). Минералы второй группы являются трансформационными и могут образовываться только при гидротермальных изменениях полнокатионных разновидностей путем выщелачивания Na^+ с одновременной заменой ионов O^{2-} группами $(OH)^-$ в «висячих» вершинах Si-тетраэдров разорванного каркаса. Так, преобразование полнокатионного казаковита в катиондефицитный тисиналит можно представить в виде следующей схемы:

$$^{A}(Na)_3{}^{B}(Na)_3{}^{C}(Mn^{2+}□) \rightarrow {}^{A}(Na_{0.7}□_{0.3})_3{}^{B}(□)_3{}^{C}(Mn^{2+}□).$$

Золотаревит, согласно исследованию И. В. Пекова с коллегами (Пеков и др., 2024), также является вторичным (трансформационным) минералом, образовавшимся при псевдоморфизации таунендита. В предлагаемой работе мы приводим некоторые наблюдения, свидетельствующие в пользу первичной природы золотаревита.

Материалы и методы

В работе была использована коллекция образцов и препаратов различных типов щелочных пород Ловозерского массива, собранная сотрудниками Геологического института ФИЦ КНЦ РАН (г. Апатиты) – Г. Ю. Иванюком, Ю. П. Меньшиковым, В. Н. Яковенчуком, Ю. А. Михайловой, Я. А. Пахомовским.

Оптические, электронно-микроскопические, электронно-зондовые исследования минералов проводились в комбинированных шлифах и искусственных аншлифах.

Диагностика минералов по химическому составу, изучение ассоциаций минералов и их взаимоотношений выполнены на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) LEO-1450 (CarlZeiss-Microscopy, Германия), оснащенном рентгеновской энергодисперсионной системой AZtec с детектором ULTIMMAX 100 (OXFORDInstruments, Великобритания). Химический состав минералов определялся на рентгеновском электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA MS-46 (Франция) и при помощи системы AZtec. Результаты химического анализа минералов получены при ускоряющем напряжении 22 и 20 кВ и токе электронного зонда 30 и 2.0 нА для рентгеновского микроанализатора и для электронного микроскопа, соответственно.

Ловозерит (?): морфология и химический состав

В табл. 2 приведены составы «ловозерита», опубликованные в работах В. И. Герасимовского, Е. И. Семенова и других авторов (Герасимовский, 1939; Семёнов, Разина, 1962; Буссен, Сахаров, 1972; Семёнов, 1972). Коэффициенты в формулах рассчитаны на основании Si+Al = 6, заселение позиций выполнено в соответствии с рекомендациями Международной минералогической ассоциации (Pekov et al., 2009). Ввиду низкого содержания кальция ни один из составов в табл. 2 не соответствует формуле $Na_3CaZrSi_6O_{15}(OH)_3$. Все анализы отвечают идеальной формуле $Na_3ZrSi_6O_{13}(OH)_5$, т. е. литвинскиту.

Таблица 2. Химический состав ловозерита(мас. %) в публикациях, посвященных Ловозерскому массиву
Table 2. Chemical composition of lovozerite (wt. %) from literature

	Герасимовский, 1939	Семёнов, Разина, 1962	Семёнов, Разина, 1962	Семёнов, 1972	Буссен, Сахаров, 1972
Na_2O	3.74	9.39	3.00	5.84	5.40
K_2O	1.90	2.98	3.15	3.77	2.60
CaO	3.34	1.51	2.28	2.04	2.79
SrO	0.06	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	0.34
MnO	3.46	2.50	2.78	1.40	2.36
MgO	0.76	0.71	0.70	1.21	0.15
REE_2O_3	0.56	н.у.о.	н.у.о.	1.16	0.50
ZrO_2	16.54	16.53	16.25	16.76	13.70
TiO_2	1.02	0.69	1.24	0.56	0.93
Nb_2O_5	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	0.04	0.07
Fe_2O_3	0.72	0.56	0.23	0.63	2.03
SiO_2	52.12	55.59	55.93	56.22	54.35
Al_2O_3	0.40	1.43	0.93	2.33	3.82
H_2O	15.03	8.23	13.40	8.48	11.49
F	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	0.05
Cl	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	0.02
$–O=(F,Cl)_2$	–	–	–	–	0.03
Сумма	**99.65**	**100.12**	**99.89**	**100.44**	**100.60**

Окончание таблицы 2.

Коэффициенты в формуле, рассчитанной на основании Si + Al = 6					
A	$Na_{0.83}K_{0.28}$ $REE_{0.02}$	$Na_{1.91}K_{0.40}$	$Na_{0.61}K_{0.42}$	$Na_{1.15}K_{0.49}$	$Na_{1.07}K_{0.34}$
C	$Ca_{0.41}Mn_{0.33}$ $Mg_{0.13}Fe^{2+}_{0.07}$	$Mn_{0.22}Ca_{0.17}$ $Mg_{0.07}$	$Ca_{0.26}Mn_{0.25}$ $Mg_{0.06}$	$Ca_{0.22}Mn_{0.12}Mg_{0.10}$	$Ca_{0.31}Mn_{0.13}$
M	$Zr_{0.92}Ti_{0.09}$	$Zr_{0.84}Mg_{0.07}$ $Ti_{0.05}Fe^{3+}_{0.04}$	$Zr_{0.83}Ti_{0.10}$ $Mg_{0.05}Fe^{3+}_{0.02}$	$Zr_{0.83}Mg_{0.08}$ $Fe^{3+}_{0.05}Ti_{0.04}$	$Zr_{0.68}Fe^{3+}_{0.16}Ti_{0.07}$ $Mn_{0.07}Mg_{0.02}$
T	$Si_{5.95}Al_{0.05}$	$Si_{5.82}Al_{0.18}$	$Si_{5.82}Al_{0.18}$	$Si_{5.72}Al_{0.28}$	$Si_{5.54}Al_{0.46}$
O	$O_{13.04}$	$O_{12.87}$	$O_{11.87}$	$O_{12.03}$	$O_{11.49}$
OH	$OH_{4.96}$	$OH_{5.13}$	$OH_{6.13}$	$OH_{5.97}$	$OH_{6.49}F_{0.02}$
H_2O	$3.23H_2O$	$0.31H_2O$	$0.31H_2O$	–	$0.66H_2O$

Примечание. н.у.о. – ниже уровня определения.

Наши исследования показали, что содержание кальция в минералах группы ловозерита из Ловозерского массива всегда очень низкое и не превышает 1.5 мас. % CaO. В табл. 3 показаны репрезентативные анализы кальцийсодержащих минералов данной группы, но все они соответствуют литвинскиту. Более того, несмотря на большой объем имеющихся данных (более 100 анализов минералов группы ловозерита), ловозерита в Ловозерском массиве к настоящему времени не обнаружено.

Таблица 3. Репрезентативные анализы кальцийсодержащих минералов группы ловозерита, данные авторов (мас. %)

Table 3. Chemical compositions of Ca-rich lovozerite-group minerals (wt. %)

Образец	ЛВ-228/176	ЛВ-363/15	ЛВ-363/15	ЛВ-XII-4	ЛВ-1-7-3	ЛВ-219/1	ЛВ-01-1Д
Порода	луяврит	фойяит	фойяит	фойяит	малиньит	порфировидный луяврит	фенит
Na_2O	12.17	7.31	8.43	9.49	9.89	8.26	7.23
K_2O	н.у.о.	0.06	0.23	н.у.о.	0.67	н.у.о.	0.43
CaO	1.18	1.30	1.15	0.38	0.29	1.20	0.09
SrO	0.20	н.у.о.	0.29	н.у.о.	0.27	н.у.о.	н.у.о.
MnO	3.49	3.26	3.25	0.84	1.32	3.22	2.09
MgO	н.у.о.	0.08	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	0.11	0.22
La_2O_3	0.15	0.29	0.22	0.33	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.
Ce_2O_3	0.15	1.01	0.65	0.74	0.18	н.у.о.	н.у.о.
Pr_2O_3	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.	0.23	н.у.о.	н.у.о.	н.у.о.
Nd_2O_3	н.у.о.	0.42	0.31	0.40	0.20	н.у.о.	н.у.о.
ZrO_2	12.90	12.54	14.46	18.17	17.43	14.69	13.66
TiO_2	0.84	0.51	0.58	0.58	0.28	0.92	0.76
Nb_2O_5	н.у.о.	0.65	0.37	0.30	н.у.о.	н.у.о.	0.90
Fe_2O_3	1.00	0.90	0.98	0.09	0.20	1.23	0.91
SiO_2	58.39	60.05	60.48	59.52	59.56	60.17	58.93
Al_2O_3	н.у.о.	н.у.о.	0.08	0.24	0.28	0.04	0.22
Сумма	**90.47**	**88.38**	**91.48**	**91.31**	**90.57**	**89.84**	**85.44**

Окончание таблицы 3.

Коэффициенты в формуле, рассчитанной на основании Si + Al = 6							
A	$Na_{2.43}Sr_{0.01}$ $La_{0.01}Ce_{0.01}$	$Na_{1.42}Ce_{0.03}$ $La_{0.01}Nd_{0.01}$	$Na_{1.62}Sr_{0.02}$ $Ce_{0.02}La_{0.01}$ $Nd_{0.01}$	$Na_{1.85}Ce_{0.03}$ $La_{0.01}Nd_{0.01}$ $Pr_{0.01}$	$Na_{1.92}K_{0.09}$ $Sr_{0.02}Ce_{0.01}$ $Nd_{0.01}$	$Na_{1.60}$	$Na_{1.42}K_{0.06}$
C	$Ca_{0.13}Mn_{0.09}$	$Ca_{0.14}Mn_{0.04}$	$Ca_{0.12}Mn_{0.10}$	$Ca_{0.04}Mn_{0.02}$	$Ca_{0.02}$	$Mn_{0.16}Ca_{0.13}$	$Mn_{0.05}Ca_{0.01}$
M	$Zr_{0.65}Mn_{0.21}$ $Fe^{3+}_{0.08}Ti_{0.06}$	$Zr_{0.61}Mn_{0.24}$ $Fe^{3+}_{0.07}Ti_{0.04}$ $Nb_{0.03}Mg_{0.01}$	$Zr_{0.70}Mn_{0.17}$ $Fe^{3+}_{0.07}Ti_{0.04}$ $Nb_{0.02}$	$Zr_{0.89}Mn_{0.05}$ $Ti_{0.04}Nb_{0.01}$ $Fe^{3+}_{0.01}$	$Zr_{0.85}Mn_{0.11}Ti_{0.02}Fe^{3+}_{0.01}Ca_{0.01}$	$Zr_{0.71}Mn_{0.11}$ $Fe^{3+}_{0.09}Ti_{0.07}$ $Mg_{0.02}$	$Zr_{0.67}Mn_{0.13}$ $Fe^{3+}_{0.07}Ti_{0.06}$ $Nb_{0.04}Mg_{0.03}$
T	$Si_{6.00}$	$Si_{6.00}$	$Si_{5.99}Al_{0.01}$	$Si_{5.97}Al_{0.03}$	$Si_{5.97}Al_{0.03}$	$Si_{5.99}Al_{0.01}$	$Si_{5.97}Al_{0.03}$
O	$O_{12.45}$	$O_{11.39}$	$O_{11.82}$	$O_{12.02}$	$O_{13.32}$	$O_{11.82}$	$O_{11.22}$
OH	$OH_{5.55}$	$OH_{6.61}$	$OH_{6.18}$	$OH_{5.98}$	$OH_{4.68}$	$OH_{6.18}$	$OH_{6.78}$
H_2O	$0.49H_2O$	$0.57H_2O$	–	–	$0.81H_2O$	$0.81H_2O$	$1.53H_2O$

Примечание. н.у.о. – ниже уровня определения.

Можно утверждать, что именно литвинскит является наиболее широко распространенным минералом группы ловозерита в породах Ловозерского массива. В порфировидных луявритах литвинскит является породообразующим – его содержание достигает 20 об. % (рис. 1 а). Как правило минерал образует мелкие (не более 0.1 мм в поперечнике) ксеноморфные зерна, расположенные скоплениями в интерстициях нефелина, микроклина, эгирина и других минералов (рис. 1 б).

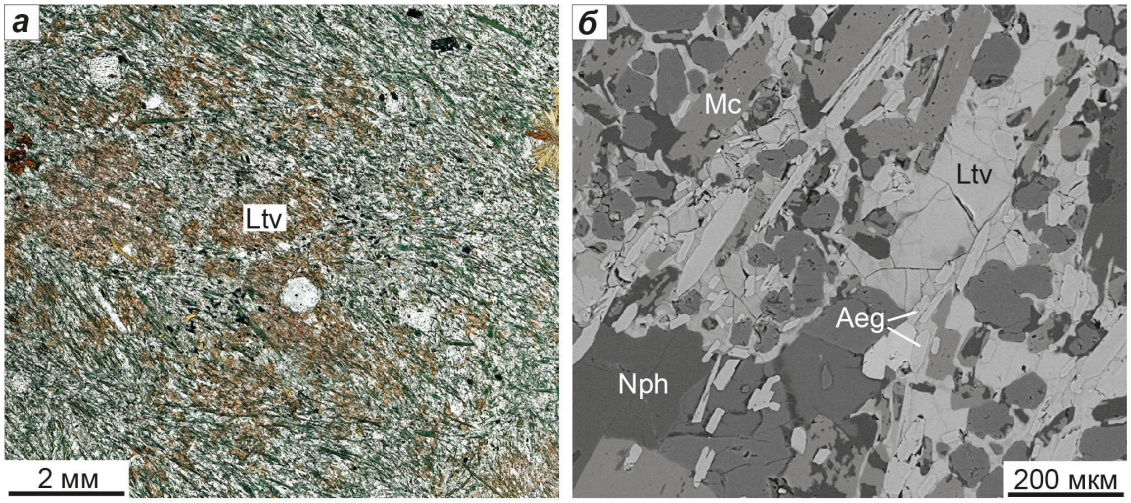

Рис. 1. Литвинскит в порфировидном луяврите: *а* – скопления мелких зерен литвинскита (Ltv) среди других породообразующих минералов: эгирина (зеленые игольчатые кристаллы), нефелина и микроклина (белое). Фото шлифа в проходящем свете; *б* – трещиноватые зерна литвинскита (Ltv) в интерстициях породообразующих нефелина (Nph), микроклина (Mc) и эгирина (Aeg). Изображение в обратно-рассеянных электронах. Образец ЛВ-154/245

Fig. 1. Litvinskite in lujavrite: *a* – clusters of small litvinskite grains (Ltv) among other rock-forming minerals: aegirine (green needle-shaped crystals), nepheline and microcline (white). Photo of a thin section in transmitted light; *b* – cracked litvinskite grains in the interstices of rock-forming minerals. Aeg – aegirine, Mc – microcline, Nph – nepheline. BSE image. Sample LV-154/245

Для зерен литвинскита характерно наличие многочисленных мелких трещин (рис. 1 б). Такой облик является дополнительным свидетельством его вторичного образования в результате декатионирования протоминерала, в данном случае – капустинита:

капустинит $^{A}(Na)_3{}^{B}(Na_{0.8}\square_{0.2})_3{}^{C}(\square)_2 \rightarrow$ литвинскит $^{A}(Na_{0.8}[H_2O]_{0.1}\square_{0.1})_3{}^{B}(\square)_3{}^{C}(\square)_2$.

При трансформации капустинита в литвинскит происходит изменение объема из-за разной катионной насыщенности протоминерала и его «наследника» и, следовательно, появление трещин. Отметим, что при переходе капустинита в литвинскит осуществляется не только вынос избыточного Na, как при изменении цирсиналита и казаковита, но и перераспределение (упорядочение) катионов: Zr концентрируется в *M*-позициях, а Mn – в позициях *C*.

Золотаревит – продукт декатионирования таунендита?

В 2022 г. в фойяитах Ловозерского массива был открыт новый минерал из группы ловозерита – золотаревит $Na_5Zr[Si_6O_{15}(OH)_3]\cdot 3H_2O$ (Mikhailova et al., 2022). Подобно литвинскиту или тисиналиту, этот минерал является водосодержащим (до 12 мас. % H_2O), и, предположительно, не мог кристаллизоваться напрямую из расплава или раствора, а образовался путем трансформации насыщенного натрием протоминерала.

По данным И. В. Пекова с коллегами (Pekovetal., 2024), золотаревит образовался при псевдоморфизации таунендита – ультращелочного представителя группы ловозерита. Таунендит не устойчив в приповерхностных условиях и мог сохраниться только на глубине. В Ловозерском массиве он был обнаружен на глубине около 100 метров в ультраагпаитовых пегматоидных жилах, вскрытых подземной выработкой (Pekov et al., 2024). Породы с таунендитом совершенно свежие, без признаков низкотемпературных изменений, в них сохранились и другие первичные гиперщелочные минералы, такие как виллиомит, ломоносовит, казаковит, расвумит и другие.

Катиононасыщенный безгидроксильный минерал, таунендит, кристаллизовался непосредственно из расплава, а при гидротермальной переработке подвергся изменениям с образованием сначала золотаревита, а затем – литвинскита:

таунендит $^{A}(Na)_3{}^{B}(Na)_3{}^{C}(Na)_2 \rightarrow$
золотаревит $^{A}(Na)_3{}^{B}(H_2O,\square)_3{}^{C}(Na)_2 \rightarrow$
литвинскит $^{A}(Na_{0.8}[H_2O]_{0.1}\square_{0.1})_3{}^{B}(\square)_3{}^{C}(\square)_2$

Некоторые наши наблюдения, тем не менее, могут свидетельствовать в пользу первичной природы золотаревита. Минерал образует гомогенные прозрачные зерна (рис. 2 а), не содержащие мелких трещин, подобно вторичному литвинскиту (рис. 1 б). Такие трещины должны были образоваться при переходе таунендита в золотаревит из-за разной катионной насыщенности этих минера-

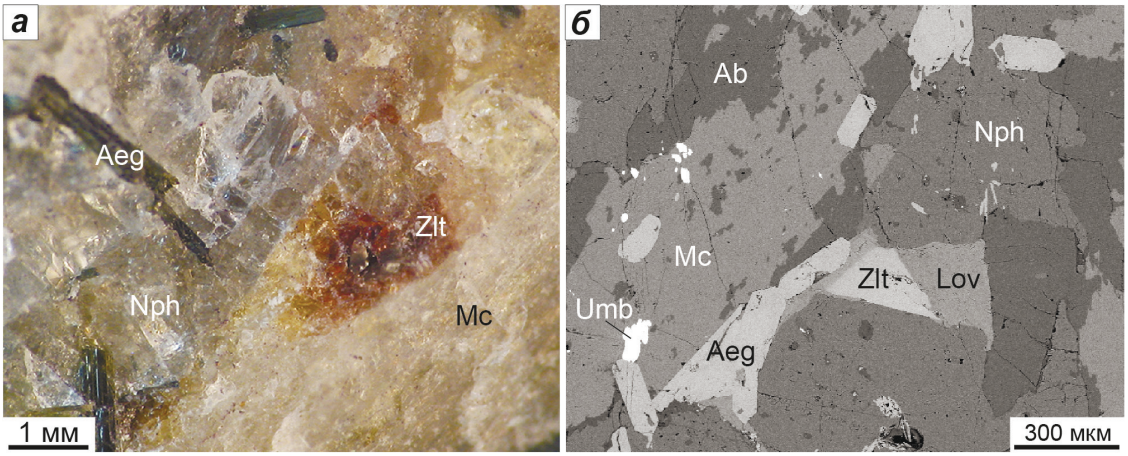

Рис. 2. Золотаревит из Ловозерского массива: *а* – однородные прозрачные зерна золотаревита (Zlt) в фойяите. Фото образца; *б* – золотаревит (Zlt) в срастаниях с казаковитом-тисиналитом (Lov) и в ассоциации с микроклином (Mc), альбитом (Ab), нефелином (Nph), эгирином (Aeg) и умбозеритом (Umb). Изображение в обратно-рассеянных электронах. Образец ЛВ-31/225.

Fig. 2. Zolotarevite from the Lovozero massif: *a* – homogeneous transparent grains of zolotarevite (Zlt) in foyaite; *b* – zolotarevite (Zlt) intergrown with kazakovite-tisinalite (Lov) and in association with microcline (Mc), albite (Ab), nepheline (Nph), aegirine (Aeg) and umbozerite (Umb). BSE image. Sample LV-31/225.

лов. Кроме того, золотаревит встречен в тесных срастаниях с казаковитом и замещающим его тисиналитом (рис. 2 б), но при этом сам золотаревит не содержит ни реликтов таунендита, ни признаков замещения литвинскитом. Если гидротермальные изменения затронули казаковит, то какие-либо их признаки должны наблюдаться и в золотаревите.

Заключение

Одной из главных черт геохимии щелочных пород Ловозерского массива является низкое содержание кальция. Средняя величина Na/Ca соотношения для пород массива составляет 9.39 (Герасимовский и др., 1966). Низкое содержание кальция по сравнению с натрием обусловило отсутствие кальциевых минералов, кальций же рассеян в минералах натрия в виде изоморфной примеси. Минералы группы ловозерита, являясь широко распространенными в породах и пегматитах Ловозерского массива, также подчиняются этой геохимической закономерности: кальций постоянно присутствует их в составе, но всегда в незначительных количествах. Кальциевые представители группы ловозерита в Ловозерском массиве не встречаются.

Наиболее широко распространенный в Ловозерском массиве гидратированный литвинскит обладает всеми признаками вторичного происхождения (в результате псевдоморфизации капустинита) – он встречается в гидротермально измененных породах, содержит многочисленные мелкие трещины, а также реликты капустинита. То же нельзя сказать про золотаревит. Минерал встречен в свежих, без явных признаков гидротермальной переработки породах, образует однородные прозрачные зерна, каких-либо реликтов ранее образованных минералов не содержит. Эти признаки могут свидетельствовать о первичном происхождении золотаревита.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР FMEZ-2024-0008.

Литература

1. Буссен И. В. Ловозеритовые луявриты реки Элемарайк (геолого-минералогическая характеристика) // Отчет по теме «Ловозерское комплексное месторождение редких металлов». Фондовые материалы. Апатиты, Кольский филиал АН СССР. 1958.
2. Буссен И. В., Сахаров А. С. Петрология Ловозерского щелочного массива. Л. Изд-во: Наука, 1972. 296 с.
3. Герасимовский В. И. Ловозерит – новый минерал // Доклады АН СССР. 1939. Т. XXV(9). С. 751–754.
4. Герасимовский В. И., Волков В. П., Когарко Л. Н., Поляков А. И., Сапрыкина Т. В., Балашов Ю. А. Геохимия Ловозерского щелочного массива. М. Изд-во: Наука, 1966. 395 с.
5. Семенов Е. И., Разина И. С. Новые данные о ловозерите // Материалы по минералогии Кольского полуострова. 1962. № 2.
6. Хомяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М. Изд-во: Наука, 1990. 200 с.
7. Mikhailova J. A., Selivanova E. A., Krivovichev S. V., Pakhomovsky Y. A., Chukanov N. V., Yakovenchuk V. N. The new mineral zolotarevite, $Na_5Zr[Si_6O_{15}(OH)_3]\cdot 2–3H_2O$, the first highly hydrated lovozerite-group member from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula, Russia // Mineralogical Magazine. 2022. V. 86(2). P. 263–271.https://doi.org/10.1180/mgm.2022.13.
8. Pekov I. V., Krivovichev S. V., ZolotarevA. A., Yakovenchuk V. N., ArmbrusterT., Pakhomovsky Y. A. Crystal chemistry and nomenclature of the lovozerite group //European Journal of Mineralogy. 2009. V. 21(5). P. 1061–1071.https://doi.org/10.1127/0935-1221/2009/0021-1957.
9. Pekov I. V., Zolotarev A. A., Chukanov N. V., Yapaskurt V. O., Turchkova A. G. Townendite, $Na_8ZrSi_6O_{18}$, an Indicator of Extremely High Agpaicity and Important Zirconium Concentrator in Peralkaline Rocks of the Lovozero Pluton, Kola Peninsula // Geology of Ore Deposits. 2024. V. 66(7). P. 914–927. https://doi.org/10.1134/S1075701524700168.
10. Yamnova N. A., Egorov-Tismenko Y. K., Pekov I. V., Ekimenkova I. A. Crystal structure of litvinskite: a new natural representative of the lovozerite group // Crystallography Reports. 2001 a. V. 46(2). P. 190–193. https://doi.org/10.1134/1.1358391.
11. Yamnova N. A., Egorov-Tismenko Y. K., Pekov I. V. Refined crystal structure of lovozerite $Na_2CaZr[Si_6O_{12}(OH,O)_6] \cdot H_2O$ // Crystallography Reports. 2001b. V. 46(6). P. 937–941. https://doi.org/10.1134/1.1420822.