

Новое в кадастре минералов Ловозёрского щелочного массива. Каркасные алюмосиликаты (тектосиликаты) бария и стронция – банальсит, стрональсит и цельзиан

Пахомовский Я.А.^{1,2}, Лялина Л.М.², Селиванова Е.А.^{1,2}, Михайлова Ю.А.^{1,2}

¹ Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Центр наноматериаловедения ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, pakhom@geoksc.apatity.ru; selivanova@geoksc.apatity.ru; mikhailova@geoksc.apatity.ru

² Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, lialina@geoksc.apatity.ru

Аннотация. В породах щелочного массива Ловозеро, Кольский полуостров установлены Ba-Sr каркасные алюмосиликаты группы полевых шпатов: банальсит, стрональсит и цельзиан. На основании данных морфологии, химического состава и минеральных ассоциаций высказано предположение о генезисе минералов в ходе аутометасоматических преобразований пород массива.

Ключевые слова: банальсит, стрональсит, цельзиан, щелочные породы, аутометасоматоз, Ловозёрский массив, Кольский полуостров.

New data on the mineralogy of the Lovozero alkaline massif: barium and strontium tectosilicates - banalsite, stronalsite and celsian

Pakhomovsky Y.A.^{1,2}, Lyalina L.M.², Selivanova E.A.^{1,2}, Mikhailova Y.A.^{1,2}

¹ Geological Institute KSC RAS, Nanomaterials Research Center KSC RAS, Apatity, pakhom@geoksc.apatity.ru; selivanova@geoksc.apatity.ru; mikhailova@geoksc.apatity.ru

² Geological Institute KSC RAS, Apatity, lialina@geoksc.apatity.ru

Abstract. Ba-Sr framework aluminosilicates of the feldspar group, such as stronalsite, banalsite, and celsian, have been found in alkaline rocks of the Lovozero massif (Kola Peninsula, Russia). Based on the study of the chemical composition of these minerals, as well as their morphology and mineral associations, we assume that Ba-Sr feldspars were formed during the autometasomatic alteration of alkaline rocks.

Keywords: banalsite, stronalsite, celsian, alkaline rocks, autometasomatic alteration, Lovozero massif, Kola Peninsula.

Введение

Уникальная минералогия Ловозёрского щелочного массива к настоящему времени насчитывает более 440 минеральных видов, включая 110 открытых в массиве новых минералов. Заметная доля минералов обнаружена за последние два десятилетия при детальном изучении разнообразных пород массива современными методами. В данной работе представлены результаты исследований первых для Ловозёрского массива находок тектосиликатов бария и стронция – ряда банальсит-стрональсит и цельзиана.

Аналитические методы

Диагностика минералов и изучение их химического состава были выполнены в Геологическом институте ФИЦ КНЦ РАН с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 (Carl Zeiss Microscopy, Германия), оборудованного системой с рентгеновским энергодисперсионным детектором ULTIM MAX 100 (OXFORD Instruments, Британия), а также электроннозондового рентгеновского микроанализатора CAMECA MS-46 (Франция). Результаты химического анализа минералов, помеченные в таблицах как «AZtec» и «EPMA», получены при ускоряющем напряжении 20 кВ и 22 кВ и токе электронного зонда 2.5 нА и 30 нА для электронного микроскопа и для рентгеновского микроанализатора, соответственно.

С целью предотвращения повреждения минералов и искажения правильности определения элементов, в процессе измерения проводилось сканирование полированного шлифа в пределах од-

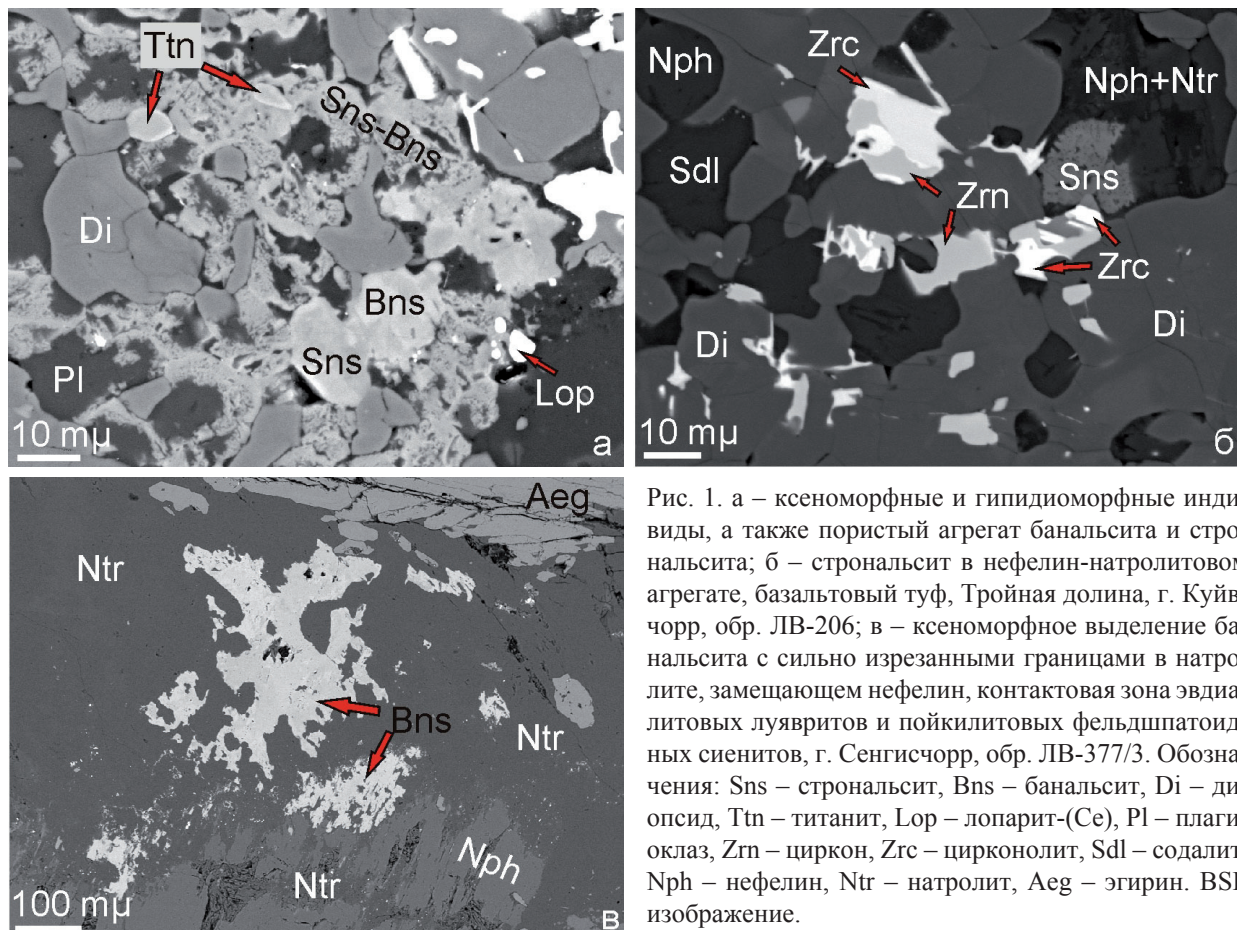


Рис. 1. а – ксеноморфные и гипидиоморфные индивиды, а также пористый агрегат банальсита и стро­нальсита; б – стро­нальсит в нефелин-натролитовом агрегате, базальтовый туф, Тройная долина, г. Куйв­чорр, обр. ЛВ-206; в – ксеноморфное выделение банальсита с сильно изрезанными границами в натро­лите, замещающем нефелин, контактовая зона эвдиалитовых луявритов и пойкилитовых фельдшпатоид­ных сиенитов, г. Сенгисчорр, обр. ЛВ-377/3. Обозна­чения: Sns – стро­нальсит, Bns – банальсит, Di – ди­опсид, Ttn – титанит, Lop – лопарит-(Ce), Pl – плаги­оклаз, Zrn – циркон, Zrc – цирконолит, Sdl – содалит, Nph – нефелин, Ntr – натролит, Aeg – эги­рин. BSE изображение.

Fig. 1. a – xenomorphic and hipidiomorphic individuals, as well as a porous aggregate of banalsite and stromalite; b – stromalite in nepheline-natrolite aggregate, basaltic tuff, Troynaya Dolina, Mt. Kuyvchorr, sam. LB-206; c – xenomorphic segregation of banalsite with strongly cut borders in natrolite replacing nepheline, contact zone of eudialyte lujavrites and poikilitic feldspatoid syenites, Mt. Sengischorr, sam. LB-377/3. Legend: Sns – stromalite, Bns – banalsite, Di – diopside, Ttn – titanite, Lop – loparite-(Ce), Pl – plagioclase, Zrn – zircon, Zrc – zirconolite, Sdl – sodalite, Nph – nepheline, Ntr – natrolite, Aeg – aegirine. BSE image.

народных участков минерала (при применении электронного микроскопа) или использование расфокусированного до 10–20 мкм электронного зонда (в случае рентгеновского микроанализатора).

Ряд банальсит $Na_2BaAl_4Si_4O_{16}$ – стро­нальсит $Na_2SrAl_4Si_4O_{16}$

Каркасные алюмосиликаты (группа полевых шпатов) ряда банальсит-стро­нальсит встречаются довольно редко и связаны с «... изверженными и метаморфическими породами, бедными кремнезёмом» (Лиферович и др., 2005). Число известных месторождений невелико (www.mindat.org, Lifegovich et al., 2006). На Кольском полуострове все находки минералов ряда банальсит-стро­нальсит связаны исключительно со щелочными комплексами: Хибины, Сахарйок, Гремяха-Вырмес, Турий Мыс (Лиферович и др., 2005, Yakovenchuk et al., 2005), Ловозеро (данная работа).

Банальсит и стро­нальсит обнаружены авторами в базальтовом туфе (Тройная долина, г. Куйв­чорр), в породах контактовой зоны эвдиалитовых луявритов и пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитов (г. Сенгисчорр). Минералы представлены ксеноморфными и гипидиоморфными зернами, а также агрегатом пористого строения без видимых границ индивидов (рис. 1 а). В агрегатах банальсита – стро­нальсита присутствуют идиоморфные кристаллы пирита, титанита, близкие к изометричным зерна лопарита-(Ce), ксеноморфные выделения циркона, цирконолита, нефелина. Последний часто замещается натролитом и содалитом, и здесь же развивается стро­нальсит и/или банальсит (рис. 1 б, в).

Для банальсита допускается образование на позднемагматическом этапе кристаллизации щелочных пород, на что указывает его присутствие в виде микрокристаллических индивидов во внешних зонах роста крупных кристаллов нефелина (Лиферович и др., 2005). Промежуточные составы минералов ряда банальсит–стрональсит образуются в ходе субсолидусного замещения первичных магматических минералов – нефелина, мелилита. Наши наблюдения согласуются с предложенной генетической моделью – минералы ряда банальсит-стрональсит обнаружены в нефелине, в разной степени замещенном натролитом (рис. 1). Не исключено, что банальсит (ан. 188, 189, табл. 1, рис. 1, в) действительно кристаллизовался на позднемагматической стадии, поскольку располагается в краевой зоне крупного кристалла нефелина, замещенного впоследствии натролитом.

Различный химический состав рассматриваемых минералов указывает на широкий Ba-Sr изоморфизм в них (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав минералов ряда стрональсит-банальсит из щелочного массива Ловозеро, Кольский полуостров.
 Table 1. Chemical composition of minerals of the stronalsite-banalsite series from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula.

Компонент	Номер анализа					
	189	188	172	171	173	170
	мас. %					
Na ₂ O	8.39	9.62	8.70	8.85	9.33	9.32
K ₂ O	0.00	0.05	0.05		0.15	
SrO	2.22	3.41	4.76	7.33	6.71	10.59
BaO	19.83	17.35	16.12	12.62	10.09	8.03
CaO			0.59	0.14	0.21	0.10
FeO			0.47	0.31	0.81	0.22
Al ₂ O ₃	30.43	31.49	30.25	31.53	30.72	32.20
SiO ₂	34.76	34.78	37.41	37.47	40.17	38.09
Сумма	95.63	96.70	98.36	98.27	98.18	98.54
Коэффициенты в формуле Na ₂ Aal ₄ Si ₄ O ₁₆ на основе O = 16, где A = Ba, Sr						
Na	1.85	2.08	1.84	1.84	1.90	1.91
K	0.00	0.01	0.01		0.02	
Ca			0.07	0.02	0.02	0.01
Fe			0.04	0.03	0.07	0.02
Sr	0.15	0.22	0.30	0.46	0.41	0.65
Ba	0.88	0.76	0.69	0.53	0.41	0.33
Al	4.08	4.14	3.88	3.99	3.80	4.00
Si	3.96	3.88	4.08	4.03	4.21	4.02
Al/Si	1.03	1.07	0.95	0.99	0.90	1.00

Примечание. Анализы № 188, 189 (EPMA) – обр. ЛВ-377/3, контактовая зона эвдиалитовых луавритов и пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитов, Эвдиалитовый комплекс, г. Сенгисчорр. Анализы № 170 – 173 (AZtec) – обр. ЛВ-206, базальтовый туф, Тройная долина, г. Куйвчорр.

Интересно, что в породах Хибинского массива установлены как крайние члены ряда, так и промежуточный (Yakovenchuk et. al., 2005). При этом анализ минерала, промежуточного по химическому составу, имеет недостаток суммы – 95.55 %. Подобный дефицит суммы, имеющийся и в анализах ловозерских образцов, может быть связан с нарушением стехиометрии Al/Si в ту или другую сторону с вынужденной компенсацией заряда по схемам:

(1) $Al^{3+} + (Ba,Sr)^{2+} \leftarrow Si^{4+} + H^+$ при $Al/Si < 1$, анализы 171–173, и

(2) $Si^{4+} \leftarrow Al^{3+} + H^+$ при $Al/Si > 1$, анализы 188–189 (табл. 1).

К недостатку суммы приведет и выщелачивание крупного внекаркасного катиона натрия:

(3) $Na^+ \leftarrow H^+$, анализы 171, 189 (табл. 1).

Присутствие примесных калия, кальция, железа незначительно и, в отличие от хибинских образцов, титан и марганец в минералах не обнаружены.

Цельзиан $Ba(Al_2Si_2O_8)$

Ранее цельзиан был известен на Кольском полуострове только в наиболее богатых кремнеземом разновидностях щелочных породах Турьего мыса (Турий щелочной массив) (Bell et al., 1996).

Авторами настоящей работы цельзиан установлен в эвдиалитовых лужавритах, в контактирующих с ними пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитах, а также в мелкозернистых нефелиновых сиенитах (г. Сенгисчорр). Минерал представлен ксеноморфными выделениями, иногда с сильно изрезанными границами, редко – гипидиоморфными кристаллами размером до 200 мкм. Наблюдались срастания с другой бариевой фазой, предположительно кимритом (sumrite) $Ba(Si,Al)_4(O,OH)_8 \cdot H_2O$. Располагаются индивиды цельзиана в агрегатах цеолитов: натролита и томсонита (рис. 2). В ассоциации присутствуют барит, целестин, лампрофиллит-баритолампрофиллит, эвдиалит, нордстрандит, пирит, банальсит, рабдофан, минералы группы пирохлора.

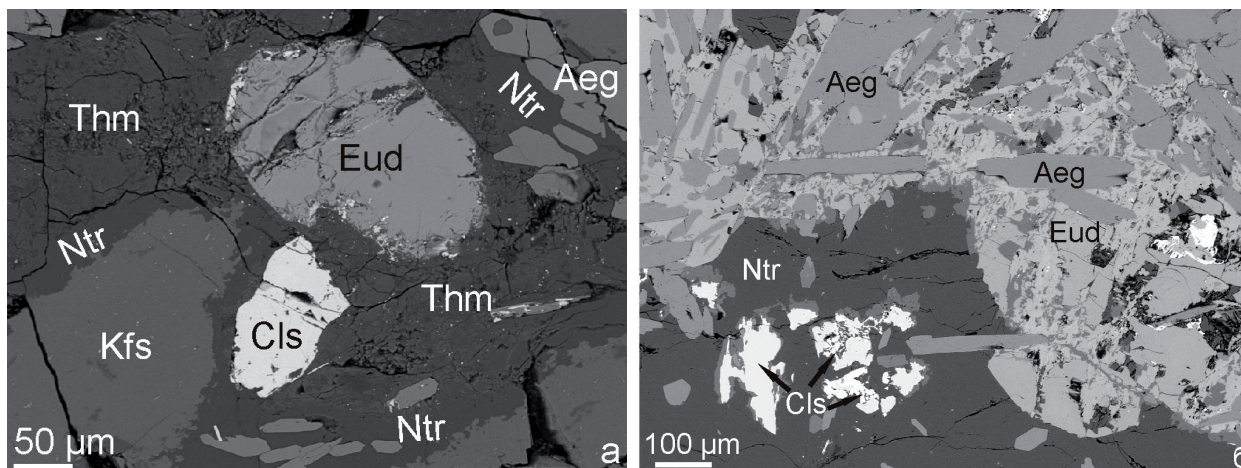


Рис. 2. а – цельзиан в эвдиалитовом лужаврите, Эвдиалитовый комплекс, г. Сенгисчорр, обр. ЛВ-377/1; б – цельзиан в пойкилитовом фельдшпатоидном сиените, г. Сенгисчорр, обр. ЛВ-377/4. Обозначения: Cls – цельзиан, Thm – томсонит-(Ca), Ntr – натролит, Aeg – эгирин, Eud – эвдиалит. BSE изображение.

Fig. 2. a – celsian in eudialyte lujavrite, Eudialyte complex, Mt. Sengischorr, sam. ЛВ-377/1; b – celsian in poikilitic feldspatoid syenite, Mt. Sengischorr, sam. ЛВ-377/4. Legend: Cls – celsian, Thm – thomsonite-(Ca), Ntr – natrolite, Aeg – aegirine, Eud – eudialyte. BSE image.

Известно (Lin, Foster, 1968), что цельзиан обладает полиморфизмом: минералы парацельзиан и гексацельзиан являются метастабильной (низкотемпературной) и высокотемпературной модификациями соответственно. В изученных образцах, морфология и тесная пространственная связь цельзиана с цеолитами свидетельствуют об образовании рассматриваемого минерала в ходе низкотемпературного аутометасоматического преобразования пород Ловозерского массива и говорит в пользу его моноклинной (не псевдоромбической) модификации.

Таблица 2. Химический состав целзиана из щелочного массива Ловозеро, Кольский полуостров.
 Table 2. Chemical composition of celsian from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula.

Компонент	Номер анализа				
	186	187	185	183	184
	мас. %				
BaO	39.43	41.48	37.26	40.54	39.98
SrO	0.25		1.08	0.41	0.48
Na ₂ O			0.87		
K ₂ O	0.41	0.31	0.35	0.09	0.14
Al ₂ O ₃	26.49	27.48	27.97	27.30	27.06
Fe ₂ O ₃	0.21	0.19			
SiO ₂	31.58	30.52	33.05	32.22	32.10
Total	98.36	99.98	100.58	100.57	99.76
Коэффициенты в формуле Ba(Al₂Si₂O₈) на основе O=8					
Ba	0.98	1.03	0.89	0.99	0.98
Sr	0.01		0.04	0.01	0.02
Na			0.10		
K	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01
Сумма позиции Ba	1.02	1.06	1.06	1.01	1.01
Al	1.98	2.05	2.00	2.00	1.99
Fe ³⁺	0.01	0.01			
Сумма позиции Al	1.99	2.06	2.00	2.00	2.00
Si	2.00	1.93	2.01	2.00	2.01

Примечание. Анализы № 186 (ЕРМА) – обр. ЛВ-377/4, пегматоидная часть контактовой зоны пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитов с эвдиалитовыми луавритами, г. Сенгисчорр; № 187 (ЕРМА) – обр. ЛВ-377/3, контактовая зона эвдиалитового луаврита и пойкилитового фельдшпатоидного сиенита, Эвдиалитовый комплекс, г. Сенгисчорр; № 185 (ЕРМА) – обр. ЛВ-363/10, мелкозернистый нефелиновый сиенит, Эвдиалитовый комплекс, г. Сенгисчорр; № 183, 184 (AZtec) – обр. ЛВ-377/1, эвдиалитовый луаврит, Эвдиалитовый комплекс, г. Сенгисчорр.

Работа выполнена в рамках темы НИР АААА-А19-119100290149-1.

Литература

1. Лиферович Р.П., Митчелл Р.Х., Шпаченко А.К., Зозуля Д.Р. Акцессорный минерал нефелиновых сиенитов – твердый раствор банальсит-стрональсит // Минералогия во всем пространстве сего слова. Труды II Ферсмановской научной сессии Кольского отделения РМО, посвященной 140-летию со дня рождения В. Рамзая. Апатиты, 18-19 апреля 2005 г. (науч. ред. Ю.Л. Войтеховский, А.В. Волошин, О.Б. Дудкин). Апатиты. Изд-во: «К & М». 2005. 177 с. С. 339–343. С. 54–57.
2. Bell K., Dunworth E.A., Bulakh A.G., and Ivanikov V.V. Alkaline rocks of the Turiy Peninsula, Russia, including type-locality turjaite and turjite; a review // Canadian Mineralogist. 1996. V. 34(2). P. 265–280.
3. Liferovich R.P., Mitchell R.H., Zozulya D.R., Shpachenko A.K. Paragenesis and composition of banalsite, strolalsite, and their solid solution in nepheline syenite and ultramafic alkaline rocks // Canadian Mineralogist. 2006. V. 44(4). P. 929–942. doi:<https://doi.org/10.2113/gscanmin.44.4.929>.
4. Lin H.C., Foster W.R. Studies in the system BaO-Al₂O₃-SiO₂: The polymorphism of celsian // American Mineralogist. 1968. V. 53. P. 134–144.
5. Yakovenchuk V.N., Ivanyuk G.Yu., Pakhomovsky Ya.A., Men'shikov Yu.P. Khibiny. Laplandia Minerals. Apatity, Russia. 2005. 468 p.