

Особенности химического состава минералов надгруппы апатита из интрузии Нива (Кольский полуостров)

Филина М. И. 

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Москва, makimm@mail.ru

Аннотация. Впервые изучен вариативный состав минералов надгруппы апатита из агпаитовых сиенитов интрузии Нива (Кольский полуостров), для изученных минералов наблюдается эволюция от кальциевых к высокостронциевым с РЗЭ минеральным видам, которые представлены: фторапатитом, фторкафитом, флорострофитом, беловитом-(Ce) и беловитом-(La). Содержание La_2O_3 достигает 17.91 мас. % в беловите-(La), беловит-(Ce) содержит до 10.47 мас. % Ce_2O_3 . Показано, что в процессе дифференциации щелочной магмы из которой кристаллизовались агпаитовые сиениты, происходило фракционирование редкоземельных элементов, с выделением легких редких земель на самых поздних стадиях кристаллизации.

Ключевые слова: Кольская щелочно-карбонатитовая провинция, интрузия Нива, редкоземельные элементы, минералы надгруппы апатита, беловит-(Ce), беловит-(La).

Chemical composition of the apatite supergroup minerals from the Niva intrusion (Kola Peninsula)

Filina M. I. 

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, makimm@mail.ru

Abstract. The first data of composition of the apatite supergroup minerals from the agpaite syenites of Niva intrusion (Kola Peninsula) has been obtained. The composition of the studied minerals varies from calcium to high-calcium with REE mineral species: fluorapatite, fluorcaphite, fluorstrophite, belovite-(Ce) and belovite-(La). The La_2O_3 content reaches 17.91 wt. % of belovite-(La), belovite-(Ce) contains up to 10.47 wt. % Ce_2O_3 . It is shown that during the differentiation of alkaline magma from which agpaite syenites crystallized, rare earth elements fractionated, with the release of light rare earths at the latest stages of crystallization.

Keywords: Kola alkaline carbonatite province, Niva intrusion, rare earth elements, apatite supergroup minerals, belovite-(Ce), belovite-(La).

Введение

Интрузия Нива расположена на южном берегу оз. Бабинская Имандра, Кольский полуостров. Интрузия образует линзовидное тело диаметром 1.5–2 км и выходит на дневную поверхность на площади 200 × 300 м на южном берегу озера, большая часть интрузии сложена мелко- и среднезернистыми агпаитовыми сиенитами. Также в интрузии присутствует зона катаклаза, состоящая из тонкозернистых ортоклазитов, пересекающих агпаитовый сиенит. Вмещающими породами являются архейские амфибол-биотитовые гнейсы беломорской серии. На контакте с вмещающими породами была выявлена зона фенитизированных гнейсов мощностью 1–2 м.

Агпаитовые сиениты состоят из ортоклаза (35–45 об. %), натролита (15–20 об. %), титанистого эгирин-авгита (10–15 об. %), энigmatита+астрофиллита (10–15 об. %), минералов надгруппы амфибола (10–15 об. %) и минералов группы лампрофиллита (10–15 об. %). Акцессорные минералы представлены нунканбахитом, минералами надгруппы апатита, баритом, сфалеритом и пиритом. Характерной особенностью породы, является присутствие среди породообразующих минералов, типичных минералов агпаитовой ассоциации – энigmatита и минералов группы лампрофиллита: лампрофиллита, фторлампрофиллита и фторбаритолампрофиллита, который впервые был описан в агпаитовых сиенитах интрузии Нива и утвержден в качестве нового минерала (Filina et al., 2019).

Состав агпаитовых сиенитов характеризуется высоким коэффициентом агпаитности ($K_a \sim 1.4$) с повышенными содержаниями титана (3.33 мас. % TiO_2), железа (13.44 мас. % Fe_2O_3), стронция (5113 г/т Sr), бария (6007 г/т Ba) по сравнению с агпаитовыми сиенитами Ловозерского массива (Герасимовский и др., 1966), а также значительными концентрациями циркония (1953 г/т Zr),

ниобия (567 г/т Nb) и редкоземельных элементов (РЗЭ): $\sum_{\text{РЗЭ}} = 753$ г/т, La – 178 г/т, Ce – 300 г/т, Nd – 90 г/т, но сведений о минералах концентраторах РЗЭ, в более ранних публикациях по минералогии интрузии Нива не приводились (Арзамасцев и др., 1999; Арзамасцева и Пахомовский, 1999; Arzamastsev et al., 2000). В ходе данного исследования было выявлено, что минералы надгруппы апатита содержат значительные количества редкоземельных элементов.

Состав минералов надгруппы апатита

Минералы надгруппы апатита в агпаитовых сиенитах встречаются в виде скоплений гипидиоморфных кристаллов, размером до 150 мкм (рис. 1). Для изученных минералов наблюдается эволюция от кальциевых к высокостронциевым с РЗЭ минеральным видам, а полученные составы соответствуют: фторапатиту ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), фторкафиту $\text{SrCaCa}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$, фторстрофиту $\text{SrCaSr}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$, беловиту-(Ce) $\text{NaCeSr}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$ и беловиту-(La) $\text{NaLaSr}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (Pasero et al., 2010; табл. 1). Исследованные кристаллы зональные, наиболее часто в породе встречаются кристаллы, в которых центральные части по составу соответствуют фторстрофиту с краевыми зонами, соответствующими беловиту-(Ce) или беловиту-(La) (рис. 1), также встречаются отдельные кристаллы фторапатита. Беловит-(Ce) и беловит-(La) – характерные минералы ультращелочных пород и пегматитов, встречается в Ловозерском и Хибинском массивах (Кольский п-ов) и других регионах Мира (Пеков, 2001), и наряду с другими высокостронциевыми членами группы апатита (где Sr возглавляет хотя бы одну структурную позицию) являются индикаторами высокощелочных условий кристаллизации (Пеков и др., 1995; Пеков, 2001).

Содержание стронция составляет во фторапатите 2.64 мас. % SrO, во фторкафите 21.23 мас. % SrO, во фторстрофите варьирует от 50.44 до 54.82 мас. % SrO, в беловите-(Ce) и беловите-(La) варьирует от 35.98 до 41.99 мас. % SrO. Барий в виде примеси содержится во всех минеральных видах кроме фторапатита, содержание бария во фторкафите составляет 1.21 мас. % BaO, во фторстрофите варьирует от 1.38 до 1.96 мас. % BaO, в беловите-(Ce) и беловите-(La) от 0.66 до 2.4 мас. % BaO.

Все изученные минералы за исключением фторапатита содержат значительные количества РЗЭ: содержание La_2O_3 во фторкафите составляет 3.74 мас. %, Ce_2O_3 – 2.3 мас. %, Nd_2O_3 – 0.97 %.

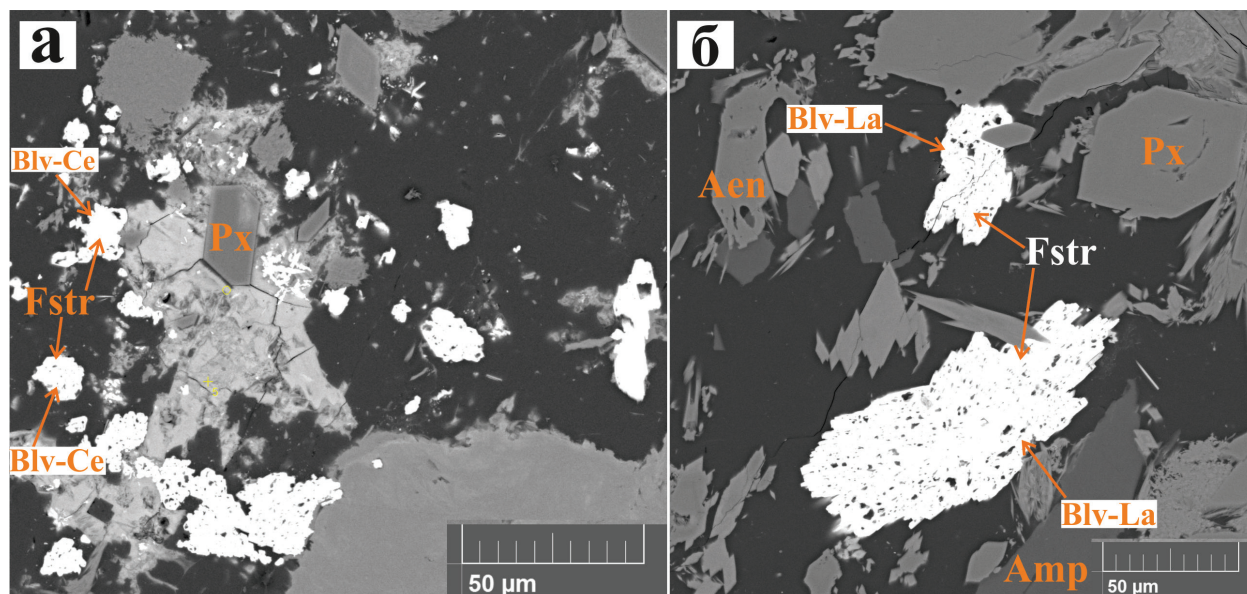


Рис. 1. Сrostки фторстрофита (Fstr) с беловитом-(Ce) (Blv-Ce) (а) и беловитом-(La) (Blv-La) (б), в ассоциации с эгирин-авгитом (Px), энигматитом (Aen) и калийарфведсонитом (Amp) в агпаитовом сиените интрузии Нива. Изображение в обратно-отраженных электронах

Fig. 1. BSE images of accretions fluorostrophite (Fstr) with belovite-(Ce) (Blv-Ce) (a) and belovite-(La) (Blv-La) (b), in association with aegirine-augite (Px), aenigmatite (Aen), and potassic-arfvedsonite (Amp) in the apgaitic syenite of the Niva intrusion

Во фторстрофите содержание La_2O_3 варьирует от 0.63 до 2.49 мас. %, Ce_2O_3 от 0.51 до 2.36 мас. %, в беловите-(Ce), беловите-(La) содержится от 5.95 до 17.91 мас. % La_2O_3 , от 3.23 до 10.47 мас. % Ce_2O_3 , от 0.65 до 2.18 мас. % Nd_2O_3 , от 0.5 до 0.81 мас. %, Pr_2O_3 (табл. 1). Таким образом, показано, что в процессе дифференциации щелочной магмы, из которой кристаллизовались агпаитовые сие-ниты, происходило фракционирование редкоземельных элементов с выделением легких редких зе-мель на самых поздних стадиях кристаллизации.

Таблица 1. Химический состав минералов надгруппы апатита из интрузии Нива (мас. %)
Table 1. Compositions of apatite supergroup minerals from the agpaite syenites of the Niva intrusion (wt %)

Зона кристалла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1 C	2 C	2 R	3 C	4 C	5 R	5 C	6 R	6 C	7 C	8 R	9 C
SiO_2	—	—	—	—	—	—	—	—	1.46	—	—	2.01
Al_2O_3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.27
FeO	0.31	0.21	0.30	—	—	—	—	—	0.85	0.32	0.46	0.31
CaO	6.33	7.66	3.28	7.56	51.38	2.98	6.12	2.91	1.83	2.01	1.19	28.99
Na_2O	0.85	—	3.45	0.41	0.28	3.74	0.90	4.21	4.71	3.69	4.96	1.68
SrO	50.44	54.82	41.99	53.50	2.64	41.59	51.33	38.13	35.98	40.89	37.47	21.23
BaO	1.38	1.96	2.40	1.62	—	1.59	1.45	1.39	1.48	0.66	1.08	1.21
La_2O_3	2.49	—	7.34	0.63	—	5.95	2.00	6.80	9.09	9.24	17.91	3.74
Ce_2O_3	1.32	0.51	7.95	0.60	—	10.47	2.36	9.34	10.40	8.74	3.23	2.30
Pr_2O_3	—	—	—	—	—	0.81	—	—	0.72	0.50	—	—
Nd_2O_3	—	—	0.65	—	—	2.18	—	1.36	1.43	0.78	—	0.97
P_2O_5	30.54	32.10	31.22	31.18	42.09	30.77	31.27	30.40	29.64	30.57	30.68	33.72
F	4.49	3.83	2.22	4.92	4.55	2.16	5.06	2.94	2.53	2.21	3.56	3.67
Сумма	98.15	101.09	100.80	100.42	100.94	102.24	100.49	97.48	100.12	99.61	100.54	101.10
O=F	1.89	1.61	0.93	2.07	1.92	0.91	2.13	1.24	1.07	0.93	1.50	1.55
Сумма*	96.26	99.48	99.87	98.35	99.02	101.33	98.36	96.24	99.05	98.68	99.04	99.55
Ca	0.85	1.00	0.42	0.99	4.82	0.38	0.81	0.39	0.23	0.27	0.15	2.90
Na	0.21	—	0.80	0.10	0.05	0.86	0.22	1.01	1.07	0.88	1.17	0.30
Si	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—	—	0.19
Al	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14
Fe	0.03	0.02	0.03	—	—	—	—	—	0.08	0.03	0.05	0.02
Sr	3.67	3.86	2.93	3.78	0.13	2.85	3.70	2.74	2.45	2.92	2.64	1.15
Ba	0.07	0.09	0.11	0.08	—	0.07	0.07	0.07	0.07	0.03	0.05	0.04
La	0.12	—	0.33	0.03	—	0.26	0.09	0.31	0.39	0.42	0.80	0.13
Ce	0.06	0.02	0.35	0.03	—	0.45	0.11	0.42	0.45	0.39	0.14	0.08
Pr	—	—	—	—	—	0.03	—	—	0.03	0.02	—	—
Nd	—	—	0.03	—	—	0.09	—	0.06	0.06	0.03	—	0.03
P	3.24	3.30	3.18	3.22	3.12	3.08	3.29	3.19	2.94	3.19	3.15	2.67
F	1.78	1.47	0.84	1.90	1.26	0.81	1.99	1.15	0.94	0.86	1.37	1.08

Примечание. Составы были определены на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA-3 FEG Oxford в ГЕОХИ РАН. Зоны кристалла: C – центральная, R – краевая. * – в пересчете на концентрацию фтора. Формульные коэффициенты рассчитаны 5 катионов в позиции M1 и M2. Составы 1, 2, 4, 7, соответ-ствуют фторстрофиту; 5 – фторапатиту; 3, 6, 8, 9 – беловиту-(Ce); 10, 11 – беловиту-(La); 12-фторкафиту. «—» ниже предела обнаружения.

Благодарности

Работа выполнена по теме государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

1. Арзамасцева Л. В., Пахомовский Я. А. Минеральные ассоциации пород агпаитовой интрузии Нива (Кольский полуостров) как индикаторы условий ее образования // Записки РМО. 1999. Т. 128, № 6. С. 1–16.
2. Арзамасцев А. А., Чашин В. В., Арзамасцева Л. В. Интрузия Нива – новое проявление агпаитовонго магматизма в Кольской щелочной провинции // Доклады РАН. 1999. Т. 365, № 5. С. 653–656.
3. 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. 398 с.
4. Пеков И. В., Чуканов Н. В., Елецкая О. В., Хомяков А. П., Меньшиков Ю. П. Беловит-(Ce): Новые данные, уточненная формула и соотношение с другими минералами группы апатита // Записки РМО. 1995. № 2. С. 98–110.
5. Пеков И. В. Ловозерский массив, история исследования, пегматиты, минералы. М. Изд-во: Земля. 2001. 464 с.
6. Arzamastsev A. A., Belyatskiy B. V., Arzamastseva L. V. Agpaitic magmatism in the northeastern Baltic Shield: a study of the Niva intrusion, Kola Peninsula, Russia // Lithos. 2000. V. 51. P. 27–46.
7. Filina M. I., Aksenov C. M., Sorokhtina N. V., Chukanov N. V., Kononkova N. N., Belakovskiy D. I., Britvin S. N., Kogarko L. N., Chervonnyi A. D., Rastsvetaeva R. K. The new mineral fluorbarytolamprophyllite, $(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{K})_2[(\text{Na}, \text{Fe}^{2+})_3\text{TiF}_2][\text{Ti}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2]$ and chemical evolution of lamprophyllite-group minerals in agpaitic syenites of the Kola Peninsula // Mineralogy and Petrology. 2019. V. 113. P. 533–553. <https://doi.org/10.1007/s00710-019-00664-0>.
8. Pasero M., Kampf A. R., Ferraris C., Pekov I. V., Rakovan J., White T. J. Nomenclature of the apatite super-group minerals // European Journal of Mineralogy. 2010. V. 22, No. 2. P. 163–179. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2010/0022-2022>.