

УДК 549.66(571.121)

ПЕРВАЯ НАХОДКА МИНЕРАЛОВ РЯДА ФТОРКАЛЬЦИОБРИТОЛИТ-ФТОРБРИТОЛИТ-(Ce) В ГАББРОИДАХ

© 2020 г. Ю. В. Ерохин^{1,*}, академик РАН В. А. Коротеев¹, К. С. Иванов¹,
В. В. Хиллер¹, Н. Н. Фаррахова¹

Поступило 09.01.2020 г.
После доработки 28.01.2020 г.
Принято к публикации 29.01.2020 г.

В результате проведенного исследования в монцогаббро из доюрского фундамента Новопортовской нефтегазоразведочной площади (южная часть полуострова Ямал) установлены фторкальцио-бритолит и фторбритолит-(Ce) – редкоземельные минералы из надгруппы апатита. Они образуют короткопризматические мелкие индивиды вокруг кристаллов фторапатита и относятся к первичной минеральной (магматической) ассоциации. Это первая находка данных минералов в габброидах, что существенно расширяет наши представления об их встречаемости в природе.

Ключевые слова: фторкальциобритолит, фторбритолит-(Ce), монцогаббро, доюрский фундамент, Южный Ямал, Арктика

DOI: 10.31857/S2686739720030056

Впервые бритолит был обнаружен в 1901 г. в нефелиновых сиенитах Гренландии [1]. На данный момент в его группе насчитывается уже семь минеральных видов: бритолит-(Ce), бритолит-(Y), фторбритолит-(Ce), фторбритолит-(Y), фторкальциобритолит, тритомит-(Ce) и тритомит-(Y). Все они имеют апатитоподобную структуру и по современной минералогической классификации входят в надгруппу апатита [2]. Минеральные виды группы бритолита являются типоморфными акцессорными минералами щелочных и кислых магматических пород, они встречаются в сиенитах, карбонатитах, гранитах и связанных с ними метасоматитах и пегматитах, а также в кислых вулканитах ([3] и др.).

Фторкальциобритолит, как отдельный минеральный вид, был установлен относительно недавно в России в породах Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров) [4]. На данный момент его обнаружили еще в некоторых местах: в сиенитах щелочной провинции Кейвы (Кольский полуостров) [5], в гранитоидах Словакии [6] и Великобритании [7], в фенитах Кыргызстана [8], а также в гранитных пегматитах Норвегии [9] и щелочных вулканитах Западной Германии [10]. Кроме того, некоторые, более ранние, описанные

находки бритолита в щелочных массивах Бурятии и Тувы, карбонатитах Монголии и кислых вулканитах Италии были переопределены как фторкальциобритолит (по данным [4]). Фторбритолит-(Ce), как отдельный минеральный вид, был установлен в 1994 г. в сиенитах близ городка Мон-Сент-Илер (Квебек, Канада) [11]. Он тоже является характерным акцессорным минералом различных щелочных пород и карбонатитов ([11–13] и мн. др.).

Нами бритолит обнаружен в габброидах, выбуренных в доюрском фундаменте Новопортовской нефтегазоразведочной площади (южная часть полуострова Ямал). Эта площадь, а точнее расположенная там и изучавшаяся нами скважина № 215, находится непосредственно в окрестностях одноименного нефтегазового месторождения, близ поселка Новый Порт. Расположение этой структурной скважины приведено на рис. 1. В разрезе палеозойских отложений выделено ([14] и др.) три комплекса: зеленосланцевый, метапесчаниковый и карбонатный. Зеленосланцевый комплекс пород развит на западе Новопортовской площади и сложен хлоритовыми сланцами (кварц-серицит-хлоритовыми, карбонат-хлоритовыми и др.). Метапесчаниковый комплекс располагается в центральной части площади и представлен метаморфизованными песчаниками и алевролитами с прослоями аргиллитов и известняков. Возраст обоих комплексов условно принят как ордовикско-силурийский. Карбонатный комплекс проявлен повсеместно, но максимально развит в

¹ Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

*E-mail: erokhin-yu@yandex.ru

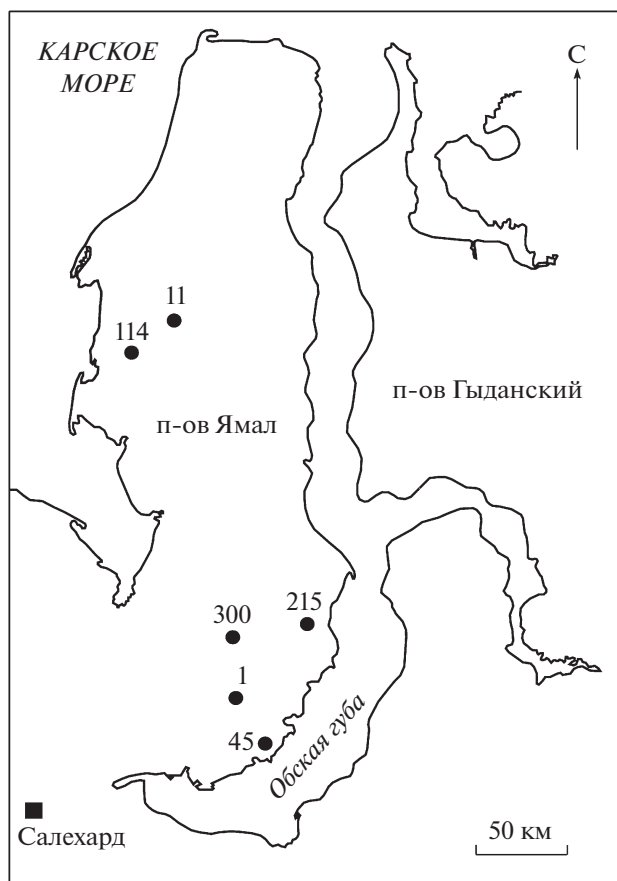


Рис. 1. Схема расположения скважин, вскрывших доюрский фундамент, на полуострове Ямал; номера скважин: 215 – Новопортовская, 300 – Западно-Яртинская, 1 – Верхнереченская, 11 – Восточно-Бованенковская, 45 – Сюнай-Салинская, 114 – Бованенковская.

восточной части Новопортовской площади, он представлен органогенными рифогенными известняками и доломитолитами. Здесь же среди карбонатного комплекса отмечаются интрузии мощностью до 300 м, сложенные авгитовыми габбро с повышенным содержанием рудного компонента. Время внедрения базитовых интрузий считается ранне-среднекаменноугольным [14].

Нами исследован разрез габброидов по скважине № 215 в интервале глубин от 3005 до 3201 м. Их химический состав в этом интервале достаточно устойчивый и по петрохимическим данным (вес. %): SiO_2 47–50.5; TiO_2 1.5–2.6; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 4.4–5.8; п.п.п. 0.5–1.5) породы относятся к умеренно-щелочным габбро или монцогаббро. Они сложены плагиоклаз-клинопироксеновым агрегатом с вкраплениями железистого оливина, биотита, апатита и рудных минералов (ильменита и титаномagnetита). Плагиоклаз представлен андезином, часто с каймами анортоклаза. Клинопироксен является авгитом, и с глубиной по разрезу

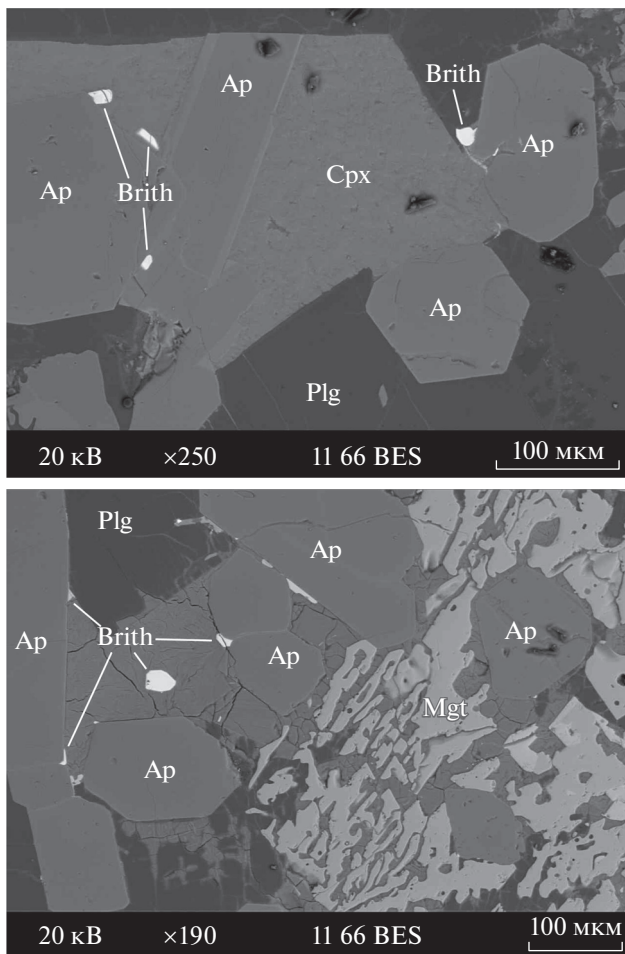


Рис. 2. Зерна бритолита (Brith) на периферии кристаллов фторапатита (Ap) в агрегате разных минералов: авгита (Cpx), магнетита (Mgt) и плагиоклаза (Plg). BSE-фото, CAMECA SX 100.

скважины его состав изменяется с $\text{En}_{31}\text{Wo}_{45}\text{Fs}_{24}$ до $\text{En}_{35}\text{Wo}_{45}\text{Fs}_{20}$. Оливин свежий, без каких-либо вторичных изменений, по химическому составу отвечает фаялиту. С глубиной оливин становится более магнезиальным, на отметке 3005 м он соответствует феррогортонолиту, а уже на глубине 3198 м – гортонолиту. Вторичные изменения развиты крайне слабо и приурочены к редким прожилкам различного состава (карбонатные, цоизитовые и др.).

Бритолит обнаружен в керне монцогаббро из скважины № 215, с глубины 3010 м. Он образует короткопризматические индивиды на контакте с кристаллами фторапатита (по данным микрозондового анализа содержит фтор от 2.7 до 3.5 мас. %). Судя по взаимоотношениям минералов, бритолит формировался сразу после апатита. Некоторые зерна бритолита характеризуются кристаллографической огранкой и сложены простой комбинацией гексагональной призмы и дипирамиды (рис. 2). Размер зерен достигает 30–40 мкм по

Таблица 1. Химический состав (в мас. %) фторкальциобритолита и фторбритолита-(Ce)

№	1	2	3	4	5	6
	фторкальциобритолит				фторбритолит-(Ce)	
P ₂ O ₅	6.95	11.32	7.39	6.90	3.95	4.93
SiO ₂	19.11	16.53	18.64	19.41	20.74	20.55
ThO ₂	0.98	1.06	1.33	0.86	1.27	1.23
CaO	20.14	22.81	19.82	19.79	16.24	17.10
FeO	1.43	1.98	1.78	1.73	1.44	2.01
Y ₂ O ₃	7.41	5.76	8.04	7.82	9.94	9.80
Ce ₂ O ₃	18.49	17.51	18.40	18.50	19.86	19.24
La ₂ O ₃	8.33	8.03	8.74	8.97	10.85	11.16
Pr ₂ O ₃	2.34	2.62	2.07	2.85	2.93	3.18
Nd ₂ O ₃	7.27	6.80	6.94	7.37	7.24	7.21
Sm ₂ O ₃	1.32	1.29	1.48	1.52	1.38	1.14
Gd ₂ O ₃	0.67	0.73	0.54	0.67	0.61	0.55
Dy ₂ O ₃	1.23	1.05	0.91	1.01	1.08	1.19
F	2.28	2.08	2.37	2.39	2.25	2.41
Сумма	97.95	99.57	98.45	99.79	99.78	100.70
-O≡F ₂	-0.96	-0.88	-1.00	-1.01	-0.95	-1.01
Сумма	96.99	98.69	97.45	98.78	98.83	99.69

Кристаллохимические формулы, рассчитанные на 13 атомов O+F

1	(Ca _{2.62} Ce _{0.82} Y _{0.47} La _{0.37} Nd _{0.31} Fe _{0.15} Pr _{0.10} Sm _{0.06} Dy _{0.05} Gd _{0.03} Th _{0.03})Σ5.01 [(Si _{2.32} P _{0.71})Σ3.03O ₁₂](F _{0.87} OH _{0.13})Σ1.00
2	(Ca _{2.83} Ce _{0.74} Y _{0.35} La _{0.35} Nd _{0.28} Fe _{0.19} Pr _{0.11} Sm _{0.05} Dy _{0.04} Gd _{0.03} Th _{0.03})Σ5.00 [(Si _{1.92} P _{1.11})Σ3.03O ₁₂](F _{0.76} OH _{0.24})Σ1.00
3	(Ca _{2.57} Ce _{0.81} Y _{0.51} La _{0.39} Nd _{0.30} Fe _{0.18} Pr _{0.09} Sm _{0.06} Dy _{0.04} Th _{0.04} Gd _{0.02})Σ5.01 [(Si _{2.25} P _{0.76})Σ3.01O ₁₂](F _{0.91} OH _{0.09})Σ1.00
4	(Ca _{2.54} Ce _{0.81} Y _{0.49} La _{0.40} Nd _{0.32} Fe _{0.17} Pr _{0.12} Sm _{0.06} Dy _{0.04} Gd _{0.03} Th _{0.02})Σ5.00 [(Si _{2.32} P _{0.70})Σ3.02O ₁₂](F _{0.90} OH _{0.10})Σ1.00
5	(Ca _{2.17} Ce _{0.91} Y _{0.65} La _{0.50} Nd _{0.32} Fe _{0.15} Pr _{0.13} Sm _{0.06} Dy _{0.04} Th _{0.04} Gd _{0.03})Σ5.00 [(Si _{2.58} P _{0.42})Σ3.00O ₁₂](F _{0.89} OH _{0.11})Σ1.00
6	(Ca _{2.23} Ce _{0.86} Y _{0.63} La _{0.46} Nd _{0.31} Fe _{0.20} Pr _{0.14} Sm _{0.05} Dy _{0.05} Th _{0.03} Gd _{0.02})Σ4.98 [(Si _{2.50} P _{0.51})Σ3.01O ₁₂](F _{0.93} OH _{0.07})Σ1.00

Примечание: Анализы выполнены на микроанализаторе CAMECA SX 100 в ИГГ УрО РАН.

удлинению. По данным микронзондового анализа они отличаются сложным составом с высоким содержанием редких земель, кальция, фосфора, кремнезема и фтора (см. табл. 1), что позволяет относить их к фторкальциобритолиту и фторбритолиту-(Ce). Из примесей в изученном бритолите можно отметить ошутимое присутствие иттрия, железа и тория.

Как уже говорилось выше, бритолит является типоморфным аксессуарным минералом щелочных и кислых магматических пород, но в габброидах он обычно не отмечался. Недавно бритолит-(Ce) был установлен в щелочных габброидах плато Декан (штат Телингана, Индия) в ассоциации с алланитом-(Ce) и синхизитом-(Ce) [15]. Авторы этой находки связали данную редкоземельную минерализацию с постмагматическим гидротермальным изменением апатита и эпидота при участии обогащенных РЗЭ метеорно-гидротермальных растворов. В нашем случае очевидно, что монцогаббро не несет признаков вторичного изменения, и бритолит относится к первичной минеральной (магматической) ассоциации. Это говорит о том, что температура устойчивости минерала гораздо выше, чем считалось ранее, т.к. базитовые расплавы значительно более высокотемпературные (в пределах 1200–1300°C), чем кислые или карбонатитовые. Кроме того, можно уверенно говорить, что наша находка фторкальциобритолита и фторбритолита-(Ce) является первой для габброидов, т.к. на плато Декан в щелочных габброидах был обнаружен бритолит-(Ce), не содержащий фтора.

В результате проведенного исследования в монцогаббро из доюрского фундамента Новопортовской нефтегазоразведочной площади (южная часть полуострова Ямал) установлены фторкальциобритолит и фторбритолит-(Ce) – редкоземельные минералы из надгруппы апатита. Они образуют короткопризматические мелкие индивиды вокруг кристаллов фторапатита и относятся к первичной минеральной (магматической) ассоциации. Это первая находка фторкальциобритолита и фторбритолита-(Ce) в габброидах; до настоящего времени их находили исключительно в щелочных и кислых породах.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 18–05–70016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Winther C.* Britholite, a New Mineral // *Meddelelser om Grønland*. 1901. V. 24. P. 190–196.
2. *Pasero M., Kampf A.R., Ferraris C., et al.* Nomenclature of the Apatite Supergroup Minerals // *Eur. Jour. Mineral.* 2010. V. 22. P. 163–179.
3. *Arden K.M., Halden N.M.* Crystallization and Alteration History of Britholite in Rare-earth-element-enriched Pegmatitic Segregations Associated with the Eden Lake Complex, Manitoba, Canada // *Canad. Mineral.* 1999. V. 37. P. 1239–1253.
4. *Pekov I.V., Pasero M., Yaskovskaya A.N., et al.* Fluorcalciobritolite, $(Ca, REE)_5[(Si, P)O_4]_3F$, a New Mineral: Description and Crystal Chemistry // *Eur. Jour. Mineral.* 2007. V. 19. P. 95–103.
5. *Zozulya D.R., Lyalina L.M., Savchenko Ye.E.* Britholite-group Minerals as Sensitive Indicators of Changing Fluid Composition during Pegmatite Formation: Evidence from the Keivy Alkaline Province, Kola Peninsula, NW Russia // *Miner. Petrol.* 2017. V. 111. P. 511–522.
6. *Uher P., Ondrejka M., Bačík P., et al.* Britholite, Monazite, REE-carbonates and Calcite: Products of Hydrothermal Alteration of Allanite and Apatite in A-type Granite from Stupné, Western Carpathians, Slovakia // *Lithos.* 2015. V. 236–237. P. 212–225.
7. *Macdonald R., Bagiński B., Dzierżanowski P., et al.* Apatite-supergroup Minerals in UK Palaeogene Granites: Composition and Relationship to Host-rock Composition // *Eur. Jour. Mineral.* 2013. V. 25. P. 461–471.
8. *Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Агаханов А.А.* Минералы ряда баратовит-катаямалит из пород Ходжа-Ачканского щелочного массива (Киргизия) // *Новые данные о минералах*. 2013. Вып. 48. С. 12–36.
9. *Selbekk R.S., Husdal T.A., Berg H-J.* Nye Mineraler for Norge i 2010 // *Stein*. 2010. Ar. 37. Nr. 4. S. 24–26.
10. *Schäfer Ch., Schäfer H.* Über Dawsonit, Britholith, Ferriallanit und Einige Amphibole aus den Auswürflingen des Laacher Vulkans // *Der Aufschluss*. 2018. V. 69. № 4. S. 201–219.
11. *Gu J., Chao G.Y., Tang S.* A New Mineral – Fluorbritholite-(Ce) // *J. Wuhan Univ. Technol.*, 1994. V. 9. P. 9–14.
12. *Holtstam D., Andersson U.B.* The REE Minerals of the Bastnäs-type Deposits, South-central Sweden // *Canad. Mineral.* 2007. V. 45. P. 1073–1114.
13. *Giebel R.J., Gauert C.D.K., Marks M.A.W., Costin G., Markl G.* Multi-stage Formation of REE Minerals in the Palabora Carbonatite Complex, South Africa // *Amer. Mineral.* 2017. V. 102. P. 1218–1233.
14. *Скоробогатов В.А., Строганов Л.В., Конеев В.Д.* Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2003.
15. *Randive K.R., Vijaya Kumar J., Korakoppa M., et al.* Occurrence of REE Mineralization in the Layered Gabbros of Phenai Mata Igneous Complex, Gujarat, India // *Current Science*. 2017. V. 112. № 2. P. 231–235.

THE FIRST FINDING OF MINERALS OF THE FLUORCALCIOBRITHOLITE-FLUORBRITHOLITE-(Ce) IN GABBROIDS

**Yu. V. Erokhin^{a,#}, Academician of the RAS V. A. Koroteev^a, K. S. Ivanov^a,
V. V. Khiller^a, and N. N. Farrakhova^a**

^a *Zavaritskii Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation*

[#] *E-mail: erokhin-yu@yandex.ru*

As a result of the study, in monzogabbro from the pre-Jurassic foundation of the Novoportovskoye oil and gas exploration area (southern part of the Yamal Peninsula), fluorcalciobritholite and fluorbritholite-(Ce) – rare earth minerals 7 from the apatite supergroup were established. They form short-prismatic small individuals around fluorapatite crystals and belong to the primary mineral (magmatic) association. This is the first finding of these minerals in gabbroids, which significantly expands our understanding of their occurrence in nature.

Keywords: fluorcalciobritholite, fluorbritholite-(Ce), monzogabbro, pre-Jurassic foundation, South Yamal, the Arctic area