



Титанониобаты и ториевые минералы в карбонатизированных флюидоэксплозивных дайках Среднего Тимана

И. И. Голубева^{1,2}, О. В. Гракова¹, В. Н. Филиппов¹, А. С. Шуйский¹, И. Н. Бурцев¹

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
iigolybeva2@yandex.ru, ovgrakova@geo.komisc.ru, self88@yandex.ru, burtsev@geo.komisc.ru

² Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар

В дайковом комплексе флюидоэксплозивных пород Среднего Тимана изучена редкометалльная и ториевая минерализация, представленная уранпироксидом, ниобозшнитом-(Ce), эшнитом-(Ce), торитом и торианитом. Источником тория и редкометалльно-редкоземельных элементов послужили карбонатно-щелочные растворы карбонатитов, парагенетически связанных со становлением дайковых пород.

Ключевые слова: флюидоэксплозивные дайки, редкометалльная и ториевая минерализация, Средний Тиман.

Titanoniobates and thorium minerals in carbonatized fluid-explosive dikes of the Middle Timan

I. I. Golubeva^{1,2}, O. V. Grakova¹, V. N. Filippov¹, A. S. Shuisky¹, I. N. Burtsev¹

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar,

² Syktyvkar State University, Syktyvkar

Rare-metal and thorium mineralization (uranium pyrochlore, niobaeschynite-(Ce), aeschynite-(Ce), thorite, and thorianite) was studied in the dike complex of fluid-explosive rocks of the Middle Timan. The source of thorium and rare-metal-rare-earth elements was carbonate-alkaline solutions of carbonatites, paragenetically associated with the formation of dike rocks.

Keywords: fluid-explosive dikes, rare-metal and thorium mineralization, Middle Timan

Введение

На Среднем Тимане в пределах Четласского Камня широко распространены карбонатизированные флюидоэксплозивные дайки, парагенетически связанные с карбонатитовым магматизмом (Голубева и др., 2019—2023). Карбонатитовое тело и дайковый комплекс приурочены к серии разрывов трещинного типа среди терригенно-карбонатных пород среднего и верхнего рифея (рис. 1, а). Геофизическими исследованиями и наземными горными работами были выявлены 50 полей с тысячами даек и штоков (рис. 1, б). Мощность даек варьирует от десятков сантиметров до десятков метров в раздувах, протяженность может достигать 3 км. Дайковые тела в большинстве случаев не имеют четких границ, сопровождаются большим количеством оперяющих мелких прожилков во вмещающих породах. Породы даек характеризуются конвергентными свойствами из-за обломочного облика мантийных ксенокристаллов (оливина, пироксена, хромшпинелида) и метасоматического генезиса вмещающего матрикса, сложенного пироксеном, флогопитом, кальцитом, амфиболом, альбитом, хлоритом (рис. 1, а). В связующей массе отмечаются также низкотемпературные процессы цеолитизации и аргиллизации. Породы имеют весьма пестрый состав, обусловленный неравномерным распределением обломочного материала, представленного не только минералами мантийного происхождения, но и обломками

пироксенитов (горнблендитов), также в разной степени фенитизированных вмещающих пород. Обломки пород с размерами 10 см и более имеют, как правило, округленные формы, а их количество может достигать 60 % (рис. 2, б, с). В этом случае дайковые эксплозивные ультрамафиты, насыщенные округленными обломками мантийных и вмещающих пород, приобретают облик *кимберлитов*. Сходство механизма становления дайковых пород Тимана с кимберлитовыми трубками заключается в многоэтапности их формирования, выраженной в наличии округлых обломков *брекчиевой структуры*, заключенных, в свою очередь, в метасоматизированный кластит, а также в присутствии в них отторженцев вмещающей метаосадочной толщи с ненарушенными элементами залегания, подобных кимберлитовым «рифам» (Костюхин и др., 1987). Однако обнаруженная в дайковых породах редкоземельно-редкометалльная минерализация не позволяет относить их к карбонатизированным кимберлитам. Флогопитизация пород в виде кристаллизации крупных визуально видимых пойкилобласт флогопита придает породе облик *лампрофиров*. Интенсивная флогопитизация в верхних горизонтах даек приводит к преобразованию пород в своеобразные метасоматиты — слюдиты. В породах ранее были обнаружены редкоземельные карбонаты, фосфаты, сульфиды, сульфосоли и самородные элементы (Степанко и др., 2015; Макеев и др., 2008; Голубева и др., 2018).

Для цитирования: Голубева И. И., Гракова О. В., Филиппов В. Н., Шуйский А. С., Бурцев И. Н. Титанониобаты и ториевые минералы в карбонатизированных флюидоэксплозивных дайках Среднего Тимана // Вестник геонаук. 2023. 6(342). С. 11–20. DOI: 10.19110/geov.2023.6.2

For citation: Golubeva I. I., Grakova O. V., Filippov V. N., Shuisky A. S., Burtsev I. N. Titanoniobates and thorium minerals in carbonatized fluid-explosive dikes of the Middle Timan. Vestnik of Geosciences, 2023, 6(342), pp. 11–20, doi: 10.19110/geov.2023.6.2

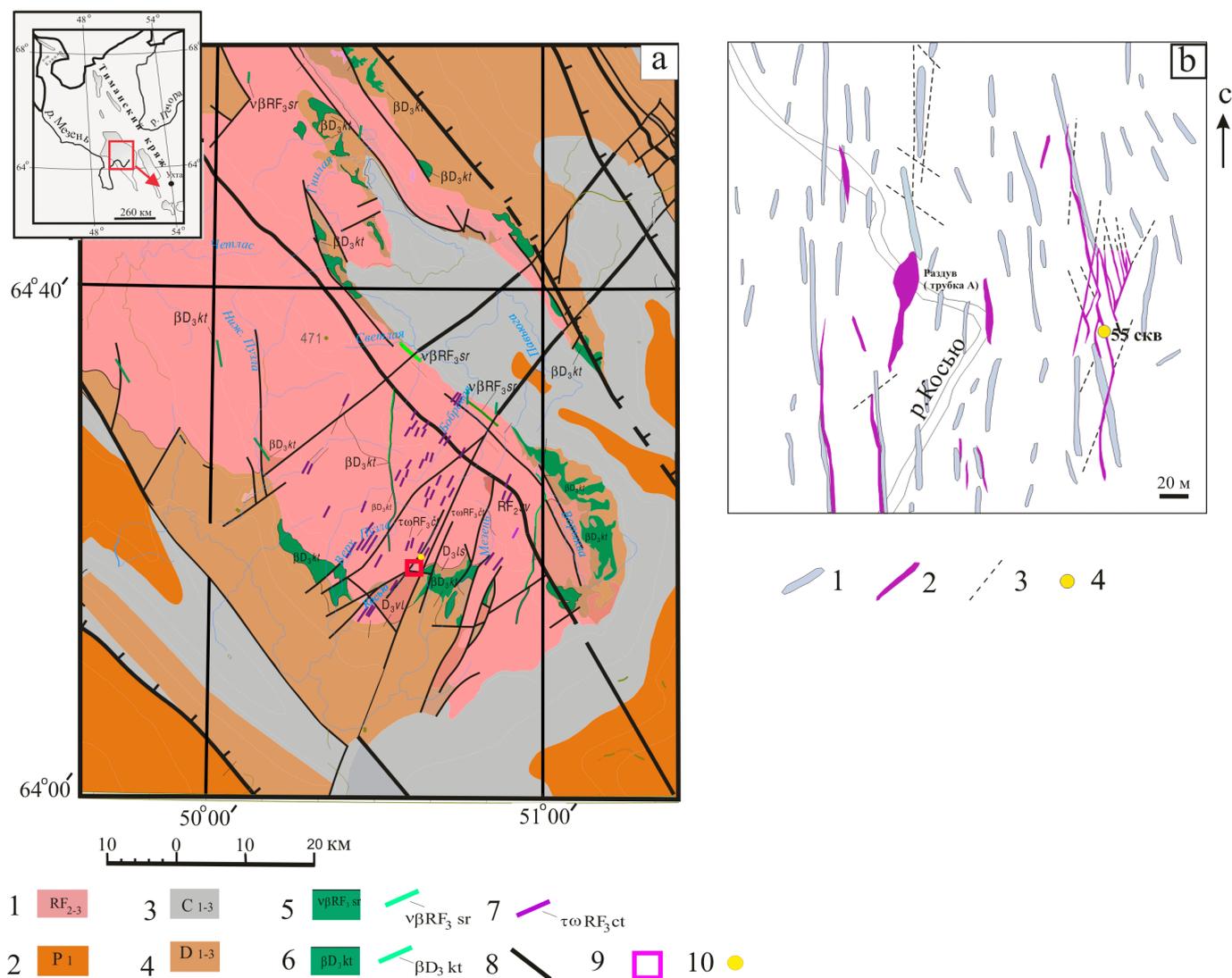


Рис. 1. Геологическая карта Среднего Тимана и схема распределения флюидо-эксплозивных даек на Четласском Камне. а — фрагмент Государственной геологической карты. Авторы В. М. Пачуковский, Х. Ш. Траат, Р. Я. Мищенко и др. 1993 г. Условные обозначения: 1 — алевролиты, аргиллиты, доломитизированные известняки; 2 — известняки, доломитизированные известняки; 3 — песчаники, алевролиты, аргиллиты; 4 — кварцито-песчаники, алевролиты, сланцы; 5 — метадолериты; 6 — базальты, долериты; 7 — пикриты (флюидо-эксплозивные дайки по интерпретации авторов статьи); 8 — разломы; 9 — карбонатитовое тело вне масштаба; 10 — участок расположения геологической схемы на рис.1 б; б — схема распределения флюидо-эксплозивных даек (пикритов) на Четласском Камне (по данным И. П. Черной. 1983 г. Ухтинская ГРЭ) Условные обозначения: 1 — дайковые тела, выявленные дешифрованием магнитного поля; 2 — флюидо-эксплозивные дайки, заверенные горными работами и детальными геофизическими методами; 3 — тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 4 — скважина № 55

Fig. 1. Geological map of the Middle Timan and distribution scheme of fluid-explosive dikes at Chetlass Stone. а — fragment of the State geological map. Authors V. M. Pachukovsky, Kh. Shch. Traat, R. Ya. Mishchenko et al., 1985. Legend: 1 — siltstones, mudstones, dolomitic limestones; 2 — limestones, dolomitic limestones; 3 — sandstones, siltstones, mudstones; 4 — quartzite-sandstones, siltstones, shales; 5 — metadolerites; 6 - basalts, dolerites; 7 — fluid-explosive dikes; 8 — faults; 9 — carbonatite body out of scale; 10 — site of the location of the geological scheme in Fig. 1 b; б — Scheme of distribution of fluid-explosive dikes at Chetlass Stone (Middle Timan) (according to I. P. Chernaya. 1983. Ukhta Geological Exploration Expedition) Legend: 1 — dike bodies identified by deciphering the magnetic field; 2 — fluid-explosive dikes, certified by mining and detailed geophysical methods; 3 — tectonic dislocations, assumed from geophysical data; 4 — well No. 55

Порода отличается нестабильным химическим составом за счет метасоматических преобразований. Количество кремнезема составляет 39.0—41.1 мас. %. Установлены широкие вариации суммой щелочей — 2.27—7.75 мас. %, относительно низкие содержания MgO (11.4—18.6 мас. %) и TiO_2 (0.95—1.7 мас. %), но высокие показатели Al_2O_3 (7.35—12.5 мас. %) (Голубева и др., 2021). Ранее В. И. Степаненко, изучая петрохи-

мические особенности данных пород, пришел к выводу, что «диагностика и типизация этих пород на основе только химических анализов ...приводит к «петрохимическим заблуждениям»» (Степаненко, 2015, с. 12), с чем авторы статьи полностью согласны. Тем не менее И. Л. Недосековой (2011) породы дайкового комплекса Четласского Камня на основании содержания элементов-примесей были определены как айкилиты,

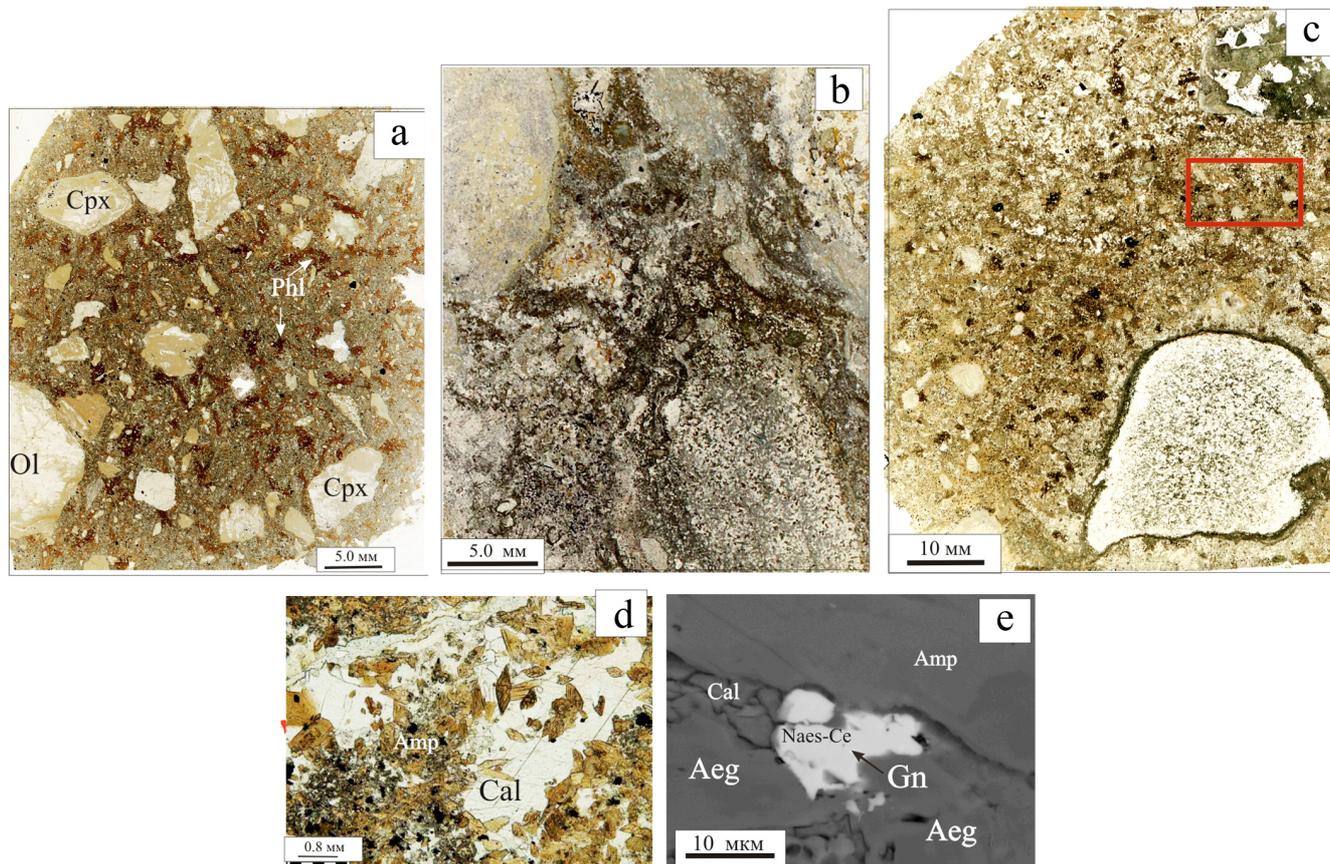


Рис. 2. Петрографические особенности флюидо-эксплозивных пород.

а — флюидо-эксплозивная порода. Санитированный петрографический шлиф; б — округлые обломки ксенолитов в флюидо-эксплозивной породе. Сканированный петрографический шлиф; в — округлый обломок фенитизированного кварцевого песчаника в флюидо-эксплозивной породе. Красным квадратом обозначено поле кальцит-амфиболового агрегата, представленного на рисунке 1 f в увеличенном виде; д — кальцит-амфиболовый агрегат с редкоземельно-редкометальной и ториевой минерализацией. Петрографический шлиф. Фотография без анализатора; е — ниобоеченит (Naes-Ce) в кальцитовой жилке. СЭМ-снимок на JSM-6400 JEOL

Fig. 2. Petrographic features of fluid-explosive rocks.

а — fluid-explosive rock. Sanitized petrographic section; б — rounded fragments of xenoliths in fluid-explosive rock. Scanned petrographic section; в — rounded fragment of fenitized quartz sandstone in fluid-explosive rock. The red square indicates the field of the calcite-amphibole aggregate, shown in Fig. 1 f in an enlarged view; д — calcite-amphibole aggregate with rare-earth-rare-metal and thorium mineralization. Petrographic section. Photo without analyzer; е — nioboechenite (Naes-Ce) in calcite vein. SEM-images by JSM-6400 JEOL

представляющие собой мантийные магмы, богатые карбонатом. На государственных геологических картах дайковый комплекс на сегодняшний день обозначен как пикритовый. На основе изучения геологического материала производственных отчетов, петрографических шлифов, особенностей петрогеохимии пород, породообразующих первичных мантийных и новообразованных минералов авторы статьи пришли к следующим представлениям об образовании данного комплекса: «...в предварительно метасоматически переработанную зону в виде дайковых тел внедрялся твердогазовый флюидизированный мантийный материал, который смешивался со взломанными фрагментами метасоматитов и рифейских метаосадочных пород» (Голубева и др., 2019, стр. 15). Ксеногенный мантийный материал в виде обломков минералов (пироксена, оливина, хромшпинелида) и пород (пироксенитов и горнблендитов) транспортировался флюидным потоком карбонатно-щелочного состава, дериватами карбонатитового расплава. Редкоземельно-

редкометалльная, сульфидная и другие типы минерализации в породах проявились за счет щелочно-карбонатных гидротермальных растворов, поступавших из остывающего карбонатитового очага.

Процесс становления дайкового комплекса укладывается в период более ста миллионов лет, начавшийся с фенитизации вмещающей сланцевой рамы и заканчивающийся внедрением флюидоэксплозивных даек. Возраст метасоматического альбита в фенитизированных вмещающих сланцах составляет 845.1 ± 8 млн лет (Голубева и др., 2019). Время становления дайковых пород принимается по возрастным определениям метасоматического флогопита, имеющего при этом несколько генераций. Флогопит, по определениям В. Л. Андреичева (1983), имеет возраст 600 ± 15 млн лет, а по данным О. В. Удоратиной (2014) — 598.1 ± 6.2 млн лет. Полученные возрастные данные по метасоматическому флогопиту отражают, скорее всего, один из этапов становления пород, так как в них выявлены более поздние многочисленные метасоматические минераль-



ные фазы без установленных возрастных данных. Rb-Sr-изотопные определения по валовому составу породы показали возраст 820 ± 9 млн лет (Макеев и др., 2008). Продолжительность становления дайкового комплекса объясняется парагенетической связью с карбонатитовым магматизмом, развивающимся, как известно, в течение сотен миллионов лет (Терновой, 1977).

Методы и результаты исследования

Объектом исследования послужил керновый материал скважины № 55 глубиной 173 м, пробуренной в одной из пересекающихся между собой даек в виде штокверка с максимальной мощностью 5 м, расположенных в долине р. Косью на Среднем Тимане (рис. 1, б). Минералы изучались в полированных шлифах и аншлифах зерна, извлеченного с глубин (в метрах): 11; 12; 14; 28; 32; 41. Исследования выполнялись на электронных микроскопах Tescan Vega 3 LMN с энергоди-

сперсионной приставкой Oxford Instrument X-Max 50 mn2 и JSM-6400 JEOL (г. Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, ЦКП «Геонаука»).

Титанониобиевая и ториевая минерализации

Титанониобиевая и ториевая минерализации в флюидоэксплозивных породах, связанные с карбонатно-щелочным метасоматозом, выявлены впервые. Ранее подобная минерализация на Среднем Тимане была известна в карбонатитах, парагенетически связанных с флюидоэксплозивными дайками, и метасоматитах, сопровождающих карбонатитовый магматизм (Степаненко и др., 2015; Макеев и др., 2008; Недосекова и др., 2011). Выявленные титанониобаты в дайковых породах представлены эшениитом-Ce; ниобиозшениитом-Ce и уранпироксидом (табл. 1), а ториевая — торитом и торианитом (табл. 2, 3). Источником

Таблица 1. Химический состав титанониобатов (мас. %)
 Table 1. Chemical composition of titaniumniobates (wt. %)

Элемент Element	55-32-2		55-41a-9	55-41a		55-12-4		55-12-5	55-41a-8	55-41a-10	55-32-4		55-32-4	55-32-5	55-41a-7	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
MgO	-	1.50	2.01	1.65	1.11	1.36	3.71	1.61	1.60	0.15	0.64	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃	-	0.83	-	-	-	1.02	1.76	-	3.26	0.23	0.38	0.19	-	-	-	
SiO ₂	1.19	1.63	2.13	2.43	10.20	8.85	9.23	2.00	8.93	4.72	3.54	4.56	4.33	4.16	3.78	
K ₂ O	-	0.33	-	-	-	-	0.90	-	0.62	-	-	-	-	-	-	
CaO	1.62	1.12	1.67	1.58	2.94	2.47	2.28	2.32	4.83	3.24	3.59	3.03	2.78	8.20	7.36	
TiO ₂	30.71	28.86	25.62	30.74	17.24	16.28	15.27	20.07	17.18	12.73	8.12	12.33	12.27	12.04	12.98	
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60	0.72	
Fe ₂ O ₃	-	-	1.26	0.56	2.47	2.74	3.59	-	2.63	2.12	2.67	2.17	2.37	3.89	3.99	
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	1.69	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nb ₂ O ₅	18.89	16.68	26.43	25.93	26.32	24.06	30.82	36.16	28.71	28.95	35.77	29.23	30.13	28.64	27.98	
LaO ₃	4.06	2.63	1.77	4.05	-	-	-	4.48	1.50	0.22	1.19	0.63	-	-	-	
Ce ₂ O ₃	18.89	17.78	12.47	17.94	4.07	3.79	2.58	17.87	5.39	2.74	4.87	2.88	2.86	-	-	
Pr ₂ O ₃	2.83	2.55	1.70	2.89	-	-	-	3.08	0.92	0.15	1.04	0.66	-	-	-	
Nd ₂ O ₃	10.61	9.78	11.61	13.10	1.93	2.07	-	8.60	6.07	1.14	2.18	1.77	0.87	-	-	
Sm ₂ O ₃	0.31	0.75	2.32	1.53	-	-	-	-	1.70	-	-	-	-	-	-	
Gd ₂ O ₃	0.44	0.15	1.11	-	-	-	-	-	0.53	-	-	-	-	-	-	
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74	-	-	-	
ThO ₂	0.38	0.58	0.56	0.29	22.34	20.19	21.57	-	0.95	4.22	6.16	4.62	5.57	0.59	1.22	
UO ₃	0.45	-	-	-	1.24	1.31	1.72	-	-	17.05	18.02	18.32	16.37	22.66	23.85	
WO ₃	3.10	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	2.30	
Сумма Total	93.48	87.02	90.66	102.69	91.55	84.62	93.43	96.19	84.82	77.66	78.17	81.13	77.55	82.78	84.18	

Примечание: 1–6 – эшениит-(Ce), 7–9 – ниобиозшениит – (Ce), 10–15 – уранпироксид
 Note: 1–6 – aeschynite-(Ce), 7–9 – nioboeschynite – (Ce), 10–15 – uranium pyrochlore

Расчетные формулы на сумму катионов / Calculation formulas for the sum of cations (Ti+Nb+Si+Al+Fe+W=2):

- $(Ce_{0.41}Nd_{0.23}Ca_{0.10}La_{0.09}Pr_{0.06}Sm_{0.01}Gd_{0.01}Th_{0.01}U_{0.01})_{\Sigma 0.92}(Ti_{1.37}Nb_{0.51}Si_{0.07}W_{0.05})_{\Sigma 2}O_{5.63}$
- $(Ce_{0.40}Nd_{0.22}Mg_{0.14}Ca_{0.07}La_{0.06}Pr_{0.06}Sm_{0.02}K_{0.01}Th_{0.01})_{\Sigma 0.99}(Ti_{1.34}Nb_{0.47}Si_{0.10}Al_{0.06}W_{0.03})_{\Sigma 2}O_{5.61}$
- $(Ce_{0.27}Nd_{0.24}Mg_{0.17}Ca_{0.10}Sm_{0.05}La_{0.04}Pr_{0.04}Gd_{0.02}Th_{0.01})_{\Sigma 0.94}(Ti_{1.12}Nb_{0.70}Si_{0.12}Fe_{0.06})_{\Sigma 2}[O_{5.59}(OH)_{0.06}]$
- $(Ce_{0.35}Nd_{0.25}Mg_{0.13}Ca_{0.09}La_{0.08}Pr_{0.06}Sm_{0.03})_{\Sigma 0.98}(Ti_{1.23}Nb_{0.62}Si_{0.13}Fe_{0.02})_{\Sigma 2}[O_{5.67}(OH)_{0.02}]$
- $(Th_{0.28}Ca_{0.17}Mg_{0.09}Ce_{0.08}Nd_{0.04}U_{0.01})_{\Sigma 0.72}(Ti_{0.70}Nb_{0.64}Si_{0.55}Fe_{0.10})_{\Sigma 2}[O_{5.38}(OH)_{0.10}]$
- $(Th_{0.26}Ca_{0.15}Mg_{0.12}Ce_{0.08}Nd_{0.04}U_{0.02})_{\Sigma 0.68}(Ti_{0.70}Nb_{0.62}Si_{0.50}Fe_{0.12}Al_{0.07})_{\Sigma 2}[O_{5.25}(OH)_{0.12}]$
- $(Mg_{0.28}Th_{0.25}Ca_{0.12}Al_{0.11}Ce_{0.05}K_{0.03}U_{0.02})_{\Sigma 0.75}(Nb_{0.71}Ti_{0.58}Si_{0.47}Fe_{0.14})_{\Sigma 2}[O_{5.29}(OH)_{0.11}]$
- $(Ce_{0.39}Nd_{0.18}Ca_{0.15}Mg_{0.14}La_{0.10}Pr_{0.07})_{\Sigma 1.03}(Nb_{0.98}Ti_{0.90}Si_{0.12})_{\Sigma 2}O_{5.89}$
- $(Ca_{0.25}Mg_{0.12}Nd_{0.11}Ce_{0.10}La_{0.03}Sm_{0.05}K_{0.02}Pr_{0.02}Gd_{0.01}Th_{0.01})_{\Sigma 0.69}(Nb_{0.64}Ti_{0.63}Si_{0.44}Al_{0.19}Fe_{0.10})_{\Sigma 2}[O_{5.02}(OH)_{0.08}]$
- $(Ca_{0.24}U_{0.23}Ce_{0.07}Th_{0.08}Nd_{0.03}Mg_{0.02}La_{0.01})_{\Sigma 0.68}(Nb_{0.89}Ti_{0.65}Si_{0.32}Al_{0.11})_{\Sigma 2}O_{5.66} \cdot n H_2O$
- $(Ca_{0.27}Ce_{0.13}U_{0.12}Th_{0.10}Mg_{0.07}Nd_{0.06}La_{0.04}Pr_{0.03})_{\Sigma 0.81}(Nb_{1.14}Ti_{0.43}Si_{0.25}Fe_{0.14}Al_{0.03})_{\Sigma 2}O_{5.74} \cdot n H_2O$
- $(U_{0.27}Ca_{0.22}Ce_{0.07}Th_{0.09}Nd_{0.04}La_{0.02}Pr_{0.02}Pb_{0.01})_{\Sigma 0.73}(Nb_{0.91}Ti_{0.64}Si_{0.38}Fe_{0.11}Al_{0.02})_{\Sigma 2}O_{5.80} \cdot n H_2O$
- $(U_{0.24}Ca_{0.21}Ce_{0.07}Nd_{0.03}Th_{0.10})_{\Sigma 0.64}(Nb_{0.94}Ti_{0.64}Si_{0.30}Fe_{0.12})_{\Sigma 2}O_{5.64} \cdot n H_2O$
- $(Ca_{0.59}U_{0.32}Mn_{0.03}Th_{0.01})_{\Sigma 0.96}(Nb_{0.87}Ti_{0.61}Si_{0.28}Fe_{0.20}W_{0.04})_{\Sigma 2}O_{5.98} \cdot n H_2O$
- $(Ca_{0.53}U_{0.34}Mn_{0.04}Th_{0.02})_{\Sigma 0.93}(Nb_{0.85}Ti_{0.66}Si_{0.25}Fe_{0.20}W_{0.04})_{\Sigma 2}O_{5.98} \cdot n H_2O$



Таблица 2. Химический состав тораниита (мас. %)
 Table 2. Chemical composition of thorianite (wt. %)

№ образца Sample No		CaO	MgO	FeO	ThO ₂	UO ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Сумма Total
55-32-2	1	2.92	2.12	1.09	72.62	-	1.60	0.98	81.33
	2	3.33	1.11	1.23	73.72	-	1.78	0.88	82.05
	3	1.69	-	1.02	62.94	7.29	-	-	72.94
	4	-	-	0.83	73.69	2.81	1.52	-	78.85
55-41a-8	5	-	-	-	58.30	22.33	-	-	84.72
55-32	6	-	-	1.00	73.16	7.36	-	-	81.52
55-41-a-1	7	0.41	-	1.71	73.9	13.93	-	-	91.13

Примечание/Note: В составе 5 присутствует PbO 4.09 мас. %. / Composition 5 contains PbO 4.09 wt.%)

Формулы рассчитаны на (Formulas are calculated for) Th + Ca + Mg + Fe + Pr + Nd + U + Pb = 1:

1. (Th_{0.67}Ca_{0.13}Mg_{0.13}Fe_{0.04}Pr_{0.02}Nd_{0.01})Σ1.00O_{1.79}; 2. (Th_{0.70}Ca_{0.15}Mg_{0.07}Fe_{0.04}Pr_{0.03}Nd_{0.01})Σ1.00O_{1.72};
3. (Th_{0.77}Ca_{0.10}U_{0.08}Fe_{0.05})Σ1.00O_{1.94}; 4. (Th_{0.90}Fe_{0.04}U_{0.03}Pr_{0.03})Σ1.00O_{1.98}; 5. (Th_{0.70}U_{0.25}Pb_{0.06})Σ1.00O_{2.19};
6. (Th_{0.87}U_{0.08}Fe_{0.04})Σ1.00O_{2.04}; 7. (Th_{0.78}U_{0.14}Fe_{0.07}Ca_{0.02})Σ1.00O_{2.05};

Таблица 3. Химический состав торита (мас. %)
 Table 3. Chemical composition of thorite (wt. %)

№ образца Sample No		Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	FeO	P ₂ O ₅	ThO ₂	UO ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Сумма Total
55-28	1	-	17.30	0.78	-	1.26	-	48.78	2.28	1.19	1.31	4.58	77.48
	2	0.37	18.25	1.33	-	0.81	-	54.30	-	-	1.72	3.28	80.06
	3	0.28	18.01	0.76	-	0.85	-	50.98	3.98	1.87	-	2.69	79.42
55-14	4	-	20.60	2.37	-	0.73	-	60.75	-	3.35	4.02	-	91.82
	5	-	15.87	0.93	-	1.69	2.30	51.81	-	1.56	2.37	4.92	81.45
	6-1	-	23.32	4.40	-	0.68	-	53.56	-	1.95	2.52	-	86.43
	6-2	0.3	28.89	5.24	0.26	1.85	-	37.30	-	0.80	2.02	-	76.36
	6-3	-	34.76	6.34	-	10.78	-	28.91	-	-	-	-	80.79
	6-4	-	26.91	5.24	-	0.84	-	47.72	-	1.12	2.46	-	84.29
	7	-	16.03	1.27	-	1.47	-	51.72	-	1.42	1.70	5.11	79.67
55-42	8	-	17.65	1.65	-	0.90	1.00	53.87	3.27	3.05	2.34	2.12	85.85
	9	-	18.87	2.98	-	-	-	64.57	-	-	-	-	86.42
55-11	10	-	13.80	1.82	-	-	4.18	47.47	-	1.83	2.37	5.73	77.20
55-12	11	-	25.20	2.94	5.68	2.83	5.39	35.26	3.29	1.36	1.68	8.38	95.72
	12	-	20.62	2.59	3.41	1.93	4.22	33.49	2.80	1.22	1.98	8.50	83.05
55-12-3	13	6.47	29.31	1.39	10.78	5.30	3.86	24.90	2.11	1.21	1.01	-	86.77
	14	8.03	25.34	4.65	12.74	6.18	9.63	17.23	-	5.66	1.76	-	96.35

Примечание: В составе 7 присутствует Gd₂O₃ (0.95 мас. %); 11 — Sm₂O₃ (1.27 мас. %), Gd₂O₃ (1.13 мас. %); Dy₂O₃ (1.31 мас. %); 12 — Sm₂O₃ (0.98 мас. %), Dy₂O₃ (1.31 мас. %).

Note: Composition 7 contains Gd₂O₃ (0.95 wt. %); 11 — Sm₂O₃ (1.27 wt. %), Gd₂O₃ (1.13 wt. %); Dy₂O₃ (1.31 wt. %); 12 — Sm₂O₃ (0.98 wt. %), Dy₂O₃ (1.31 wt. %).

Формулы рассчитаны на (Formulas are calculated for) Si + Al + P = 1:

1. (Th_{0.64}Y_{0.14}Fe_{0.06}Ca_{0.05}U_{0.03}Ce_{0.03}Nd_{0.03})Σ0.97Si_{1.00}O_{3.76}; 2. (Th_{0.66}Ca_{0.08}Y_{0.09}Fe_{0.04}Nd_{0.03})Σ0.90(Si_{0.98}Al_{0.02})Σ1.00O_{3.61};
3. (Th_{0.63}Y_{0.08}U_{0.05}Ca_{0.04}Fe_{0.04}Ce_{0.04})Σ0.88(Si_{0.98}Al_{0.02})Σ1.00O_{3.65}; 4. (Th_{0.67}Ca_{0.12}Nd_{0.07}Ce_{0.06}Fe_{0.03})Σ0.95O_{3.69};
5. (Th_{0.66}Y_{0.15}Fe_{0.08}Ca_{0.06}Nd_{0.05}Ce_{0.03})Σ1.02(Si_{0.89}P_{0.11})Σ1.00O_{3.85}; 6-1. (Th_{0.52}Ca_{0.20}Nd_{0.04}Ce_{0.03}Fe_{0.02})Σ0.82Si_{1.00}O_{3.37};
- 6-2. (Th_{0.30}Ca_{0.20}Fe_{0.06}Nd_{0.02}Ce_{0.01}Mg_{0.01})Σ0.60(Si_{0.99}Al_{0.01})Σ1.00O_{2.92}; 6-3. (Fe_{0.26}Th_{0.20}Ca_{0.20})Σ0.66Si_{1.00}O_{2.89};
- 6-4. (Th_{0.41}Ca_{0.22}Fe_{0.03}Nd_{0.03}Ce_{0.02})Σ0.74(Si_{0.85}P_{0.15})Σ1.00O_{3.12}; 7. (Th_{0.73}Y_{0.17}Ca_{0.08}Fe_{0.08}Nd_{0.04}Ce_{0.05}Gd_{0.02})Σ1.13Si_{1.00}O_{4.02};
8. (Th_{0.66}Ca_{0.10}Y_{0.06}Ce_{0.06}Nd_{0.05}U_{0.04}Fe_{0.04})Σ1.00(Si_{0.95}P_{0.05})Σ1.00O_{3.84}; 9. (Th_{0.78}Ca_{0.17})Σ0.95Si_{1.00}O_{3.72};
10. (Th_{0.62}Y_{0.18}Ca_{0.11}Nd_{0.05}Ce_{0.04})Σ1.00(Si_{0.80}P_{0.20})Σ1.00O_{3.85};
11. (Th_{0.29}Mg_{0.27}Y_{0.15}Ca_{0.11}Fe_{0.08}U_{0.02}Ce_{0.02}Nd_{0.02}Sm_{0.01}Gd_{0.01}Dy_{0.01})Σ0.99(Si_{0.85}P_{0.15})Σ1.00O_{3.50};
12. (Th_{0.31}Mg_{0.21}Y_{0.19}Ca_{0.11}Fe_{0.07}Nd_{0.03}U_{0.02}Ce_{0.02}Sm_{0.01}Dy_{0.01})Σ1.00(Si_{0.85}P_{0.15})Σ1.00O_{3.57};

карбонатно-щелочных флюидов с редкометалльно-редкоземельными и радиоактивными элементами послужил карбонатитовый расплав. Карбонатиты Среднего Тимана, образовавшиеся на завершающей стадии низкотемпературного гидротермально-метасоматического карбонатитообразования (Костюхин и др., 1987), имеют рудную специализацию цериево-земельного типа, характерную для месторождений багнетитовых карбонатитов (Недосекова и др., 2017). Нередко с редкоземельной рудной минерализацией в поздних гидротермально-метасоматических карбонатитах проявляется и ториевая.

Концентрация Nb и Ce во флюидоэксплозивной породе зависит от степени пропитывания карбонатно-щелочными флюидами. Например, количество Nb в пироксенитовом обломке-ксенолите, не подвергшемся видимым метасоматическим преобразованиям, составляет 12.8 г/т, тогда как максимальное содержание этого элемента в породе — 106.2 г/т, а минимальное — 69.8 г/т. Показатели количества Ce в породе колеблются в пределах 98.6—196 г/т. Наибольшим содержанием ниобия и церия соответствуют повышенные показатели Th — 45.61 г/т (минимальные — 10.63 г/т) и U — 11.3 г/т (минимальное 1.16 г/т). В пироксенитовом ксе-

нолите содержания данных элементов в десятки раз меньше и составляют: Th — 1.55 г/т и U — 0.26 г/т.

Титано-ниобаты развиваются в основном в кальцит-амфибол-эгириновых агрегатах, кристаллизовавшихся за счет замещения первичного матрикса флюидоэксплозивных брекчий на постмагматическом этапе становления даек (рис. 2, d). В метасоматическом кальците нередко обнаруживается SrO с максимальным количеством до 9.43 мас. %. Процессы карбонатизации с образованием кальцит-амфиболовых агрегатов с последующим замещением роговой обманки

эгирином в породе проявляется неравномерно. Кальцит-амфиболовые агрегаты с титано-ниобатами занимают в одном случае относительно крупные объемы породы (рис. 2, c, d), в другом кальцит образуют тонкие жилки, диагностируемые только на электронном микроскопе (рис. 2, e). Титано-ниобаты встречаются в виде единичных зерен в серпентине, развивающемся по ксенокристаллу оливина (рис. 3, a), в участках развития хлорита (рис. 3, b), альбита (рис. 3, f), флогопита (рис. 3, c, g), кальцита (рис. 3, d, e). Все минералы имеют маленькие размеры (максимально 50 мкм) и ксе-

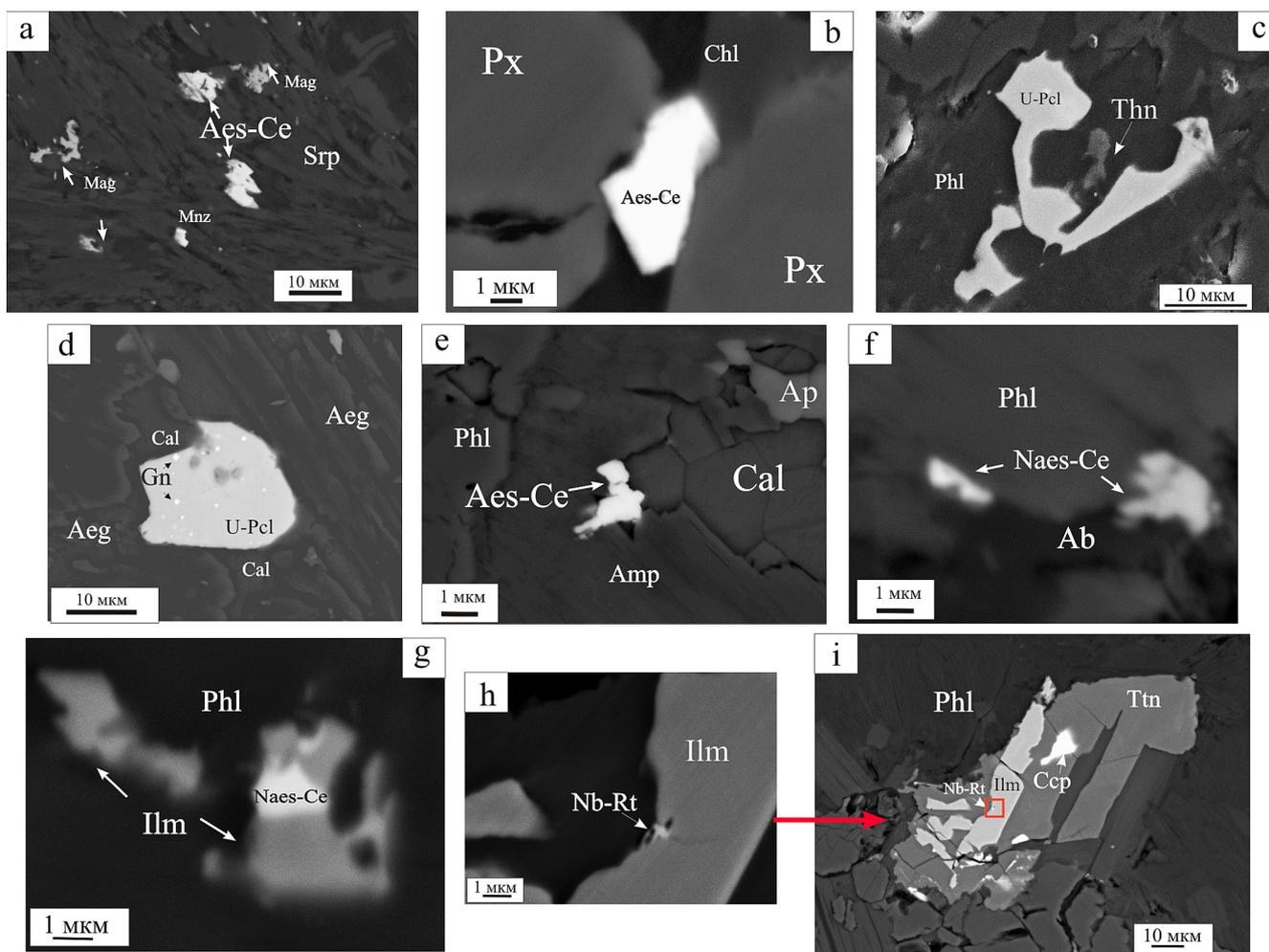


Рис. 3. Титано-ниобиевая минерализация.

a — включения эшинита (Aes-Ce) в серпентините, развивающемся по оливину; b — зерно эшинита в (Aes-Ce) хлоритовом агрегате; c — ксеноморфное зерно уранпирохлора (U-Pcl) в флогопите; d — уранпирохлор (U-Pcl) с включениями молибденита (Gn); e — эшинит (Aes-Ce) в кальцит-амфиболовом агрегате; f — включение ниобозшинита (Naes-Ce) в флогопите. Зона альбитизации в флогопитовом агрегате; g — замещение ильменита (Ilm) с содержанием Nb = 1.36 масс. % ниобозшинитом (Naes-Ce); h — ильменорутил (Nb-Rt) в ильмените (Ilm); i — ильменит с содержанием Nb = 0.65 масс. %.

Красным квадратом обозначен участок развития ильменорутила (Nb-Rt) в ильмените обозначенный на рис. 3, h.

Все СЭМ — снимки сделаны на JSM-6400 JEOL

Fig. 3. Titanium-niobium mineralization.

a — inclusions of aeschinite (Aes-Ce) in serpentinite developing after olivine; b — aeschinite grain in (Aes-Ce) chlorite aggregate; c — xenomorphic grain of uranium pyrochlore (U-Pcl) in phlogopite; d — uranium pyrochlore (U-Pcl) with inclusions of molybdenite (Gn); e — eschinite (Aes-Ce) in calcite-amphibole aggregate; f — inclusion of nioboeschinite (Naes-Ce) in phlogopite. Albite zone in phlogopite aggregate; g — ilmenite (Ilm) with Nb content = 1.36 wt. % is replaced by niobeschinite (Naes-Ce); h — ilmenorutile (Nb-Rt) in ilmenite (Ilm); i — ilmenite with Nb content = 0.65 wt. %. The red square indicates the site of development of ilmenorutile (Nb-Rt) in ilmenite, indicated in Fig. 3, h.

All SEM images were taken with JSM-6400 JEOL



номорфные очертания (рис. 2, e; 3 a–c, e). Как правило, зерна титанониобатов имеют вытянутые формы с неровными зубчатыми, часто расщепленными краями, по удлинению ориентированные вдоль трещин спайности или границ зерен (рис. 3, a, b, e). Морфологические особенности минералов обусловлены их развитием в трещинах спайности породообразующих минералов или интерстициях межзернового пространства. Все титанониобаты характеризуются однородным составом. По химическому составу эшиниты различаются количеством Nb. В ниобозините его содержание колеблется в пределах 28.71–30.82 мас. %, в эшените — 16.68–26.43 мас. % (табл. 1). В минералах в качестве обычных примесей отмечаются (в мас. %): ThO₂ (до 22.34), UO₃ (до 1.72), реже встречаются WO₃ (до 3.1) и Y₂O₃ (до 1.69). Эшенины не имеют включений, в отличие от пирохлора, в котором диагностируются микровключения галенита в виде изометричных зерен с размерностью меньше одного микрометра (рис. 2, e; 3, d). Пирохлор характеризуется постоянными элементами-примесями (в мас. %): UO₃ (16.37–23.85); ThO₂ (0.59–16.6); Fe₂O₃ (2.12–3.99); TiO₂ (8.12–12.98) и цериевой группой редкоземельных элементов в сумме до 9.28 мас. % (табл. 1). Реже диагностируются MnO (до 0.72 мас. %) и WO₃ (до 2.3 мас. %).

Носителями ниобия являются не только титано-ниобаты, но и другие минералы. Например, в титаните обнаружена примесь Nb₂O₅ с количеством до 1.24 мас. %, а в ильмените его содержание составляет 0.65–2.16 мас. %. Ниобийсодержащий ильменит замещается в некоторых случаях в его центральных частях ниобозинитом (рис. 2, g) или ильменорутилом с составом (в мас. %): Nb₂O₅ = 20.95; TiO₂ = 35.84; Fe₂O₃ = 26.03; MnO = 4.58 (рис. 3, h, i).

Минералы Th, представленные торитом и торианитом (табл. 2, 3), имеют большее распространение в породе, чем титанониобаты. Это связано с их кристаллизацией не только в матриксе, но и в фенитовых ксенолитах. Причем торит чаще встречается в ксенолитах, тогда как торианит — только в матриксе. Скорее всего, это связано с химическими характеристиками флюидов, меняющихся соответственно со становлением карбонатитового расплава. Торианит в виде мелких отдельных зерен (2–10 мкм) неправильной формы диагностируется в ассоциации с молибденитом, апатитом и монацитом в карбонатизированном флогопитовом агрегате (рис. 4, b) и метасоматических амфибол-кальцитовых участках (рис. 4, c–e). В виде вкрапленности он встречается в монаците, замещающем апатит (рис. 4, a). Развитие монацита по апатиту де-

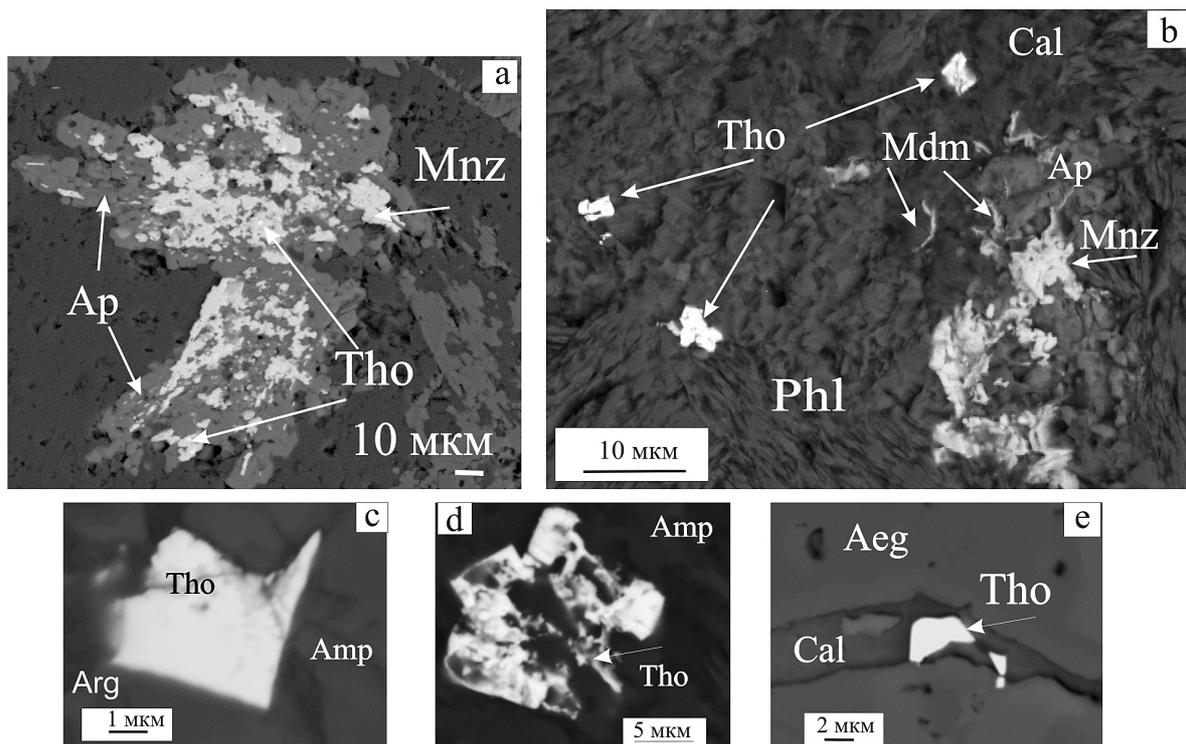


Рис. 4. Торианит

a — включения торианита (Tho) в монаците (Mnz), развивающемся по апатиту (Ap); b — включения торианита (Tho) в флогопитовом агрегате; c — гипидиоморфный кристалл торианита (Tho) находится в участке аргиллизации (Arg) породы; d — включения торианита (Tho) в виде скелетного кристалла; e — кристаллизация торианита (Tho) в кальцитовой жилке. Все СЭМ — снимки сделаны на JSM-6400 JEOL

Fig. 4. Thorianite

a — inclusions of thorianite (Tho) in monazite (Mnz) developing after apatite (Ap); b — inclusions of thorianite (Tho) in a phlogopite aggregate; c — hypidiomorphic thorianite crystal (Tho); d — inclusions of thorianite (Tho) in the form of a skeletal crystal; e — thorianite (Tho) crystallization in a calcite vein.

All SEM images were taken with JSM-6400 JEOL

монстрирует насыщение редкоземельными элементами флюидов, поступающих из карбонатитового очага. Синхронно растворы приобретают более щелочной характер, так как метасоматический амфибол замещается эгирином. Торианит образует зерна гипидиоморфной формы (рис. 4, e) или скелетные кристаллы (рис. 4, d). Все выделения минерала имеют относительно небольшие размеры, не превышающие пять микрометров. В торианите, как правило, отмечаются элементы-примеси (в мас. %): UO_3 (до 22.3), реже PbO (до 4.09), в единичных случаях Ce_2O_3 (1.43), Pr_2O_3 (1.78), Nd_2O_3 (0.88).

Торит в породе встречается чаще, чем торианит, так как имеет две генерации. Первая генерация отмечается в ксенолитах фенитов, вторая — в метасоматизированном матриксе эксплозивных пород. Фенитовые ксенолиты представляют собой захваченные фрагменты дезинтегрированной фенитизированной вмещающей рифейской толщи кварцевых песчаников при внедрении флюидизированного мантийного материала (рис. 2, с; 5, a, d) Ксенолиты сложены альбит-кальци-

товым агрегатом или мономинеральным кальцитом с прожилками альбита (рис. 5, d, e). Они, как правило, имеют округленную форму с реакционной эгириновой оторочкой. В ксенолитах альбит-кальцитового состава отмечаются брекчиевые структуры, обусловленные наличием остроугольных обломков, сцементированных альбитом и эгирином (рис. 5, a). Кальцит в фенитах, в отличие от метасоматического в матриксе, не имеет примеси стронция, что свидетельствует о разном геохимическом режиме флюидов. Торит в фенитовых ксенолитах образует отдельные зерна изометричной формы с неровными краями, в пиритовой или хлоритовой оболочках (рис. 5, a, c, j). Для них характерны относительно крупные размеры — до 0.2 мм. В матриксе, наоборот, минерал представлен относительно мелкими зернами. Зерна торита имеют ксеноморфные очертания с размерами около 3 мкм (рис. 5, h) или встречаются в виде микровключений в апатите (рис. 5, i). Торит, кристаллизующийся в матриксе или ксенолите, различается не только размерностью зерен, но и элементами-примесями (табл. 3). Минерал в фенитовых

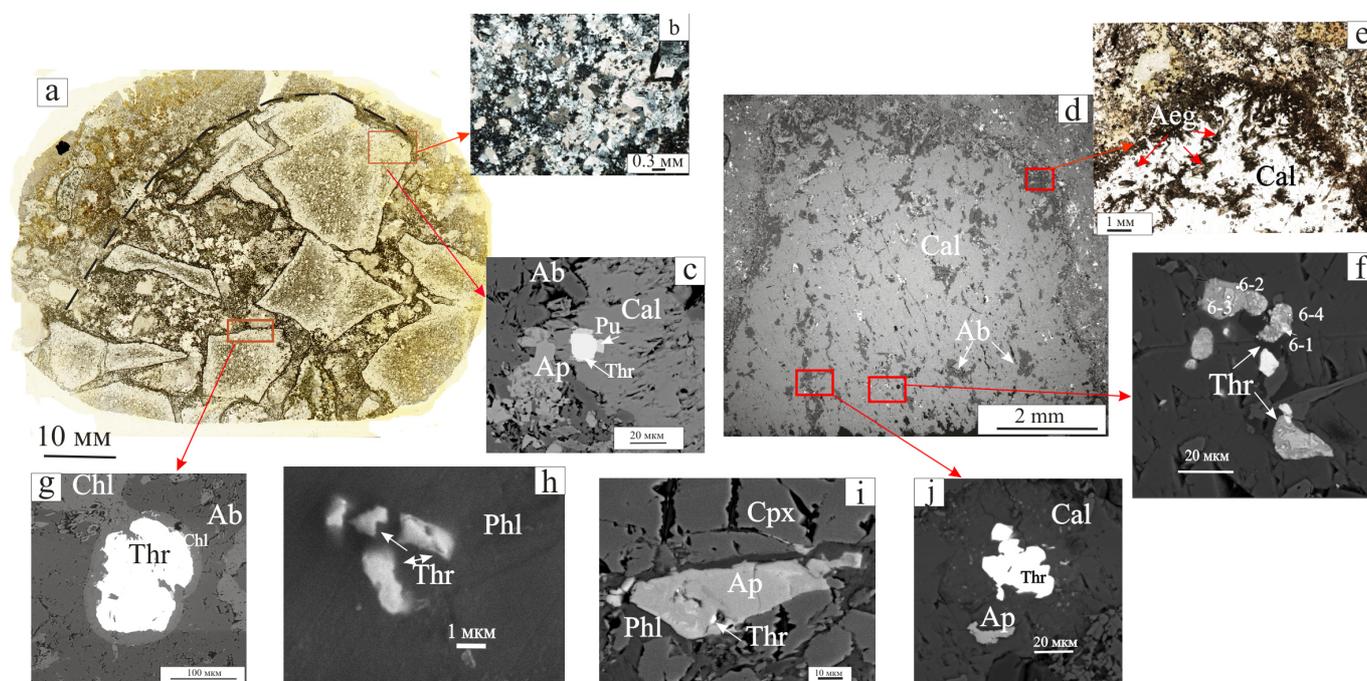


Рис. 5. Торит. а — ксенолит раздробленного фенита с ториевой минерализацией. Отсканированный петрографический шлиф; б — кальцит-альбитовый агрегат. Петрографический шлиф. Снимок с анализатором; в — включения торита (Thr) в пиритовой оболочке в альбит-кальцитовом агрегате; д — альбитизированный кальцитовый ксенолит с ториевой минерализацией; е — эгириновая каемка на краю обломка кальцита. Петрографический шлиф. Снимок без анализатора; ф — замещение торита (Tho) оксидами железа (табл. 3. Обр. 55-14; № п/п 6-1—6-4); г — кристаллизация торита (Tho) в хлоритовой оболочке в ксенолите фенита; h — зерна торита (Tho) с примесью $P_2O_5 = 3.86-9.63$ мас. % в флогопитовом агрегате (таблица 3, образец 55-12-3); i — включения торита (Tho) в апатите (Ap); j — развитие торита (Tho) в альбитизированном кальцитовом ксенолите.

Все СЭМ — снимки сделаны на JSM-6400 JEOL и Tescan Vega 3 LMH

Fig. 5. Thorite. a — xenolith of crushed fenite with thorium mineralization. Scanned petrographic thin-section; b — calcite-albite aggregate. Petrographic thin-section. Photo with analyzer; c — thorite (Thr) in a pyrite shell in an albite-calcite aggregate; d — xenolith of albitized calcite with thorium mineralization; e — aegirine rim on the edge of a calcite. Petrographic section. Photo without analyzer; f — thorite (Tho) is replaced by iron oxides. (Table 3. Sample 55-14; No. p/p 6-1—6-4); g — thorite (Tho) crystallization in fenite xenolith; h — grains of thorite (Tho) with an admixture of $P_2O_5 = 3.86-9.63$ wt. % in phlogopite aggregate (Table 3, sample 55-12-3); i — inclusions of thorite (Tho) in apatite (Ap); j — development of thorite (Tho) in xenolithic calcite.

All SEM images were taken with JSM-6400 JEOL and Tescan Vega 3 LMH



обломках, как правило, содержит элементы-примеси лантаноидов цериевой группы (в мас. %): Ce_2O_3 (до 3.35), Nd_2O_3 (4.02), реже La_2O_3 (2.57), Gd_2O_3 (0.95). Также в нем были отмечены Y_2O_3 (до 4.92 мас. %) и U_2O_3 (до 3.98 мас. %). Данная генерация торита в редких случаях и в незначительных количествах обнаруживает примесь фосфора (2.3 мас. %), чем разительно отличается от такового, кристаллизовавшегося в матрице породы. В последнем случае P_2O_5 присутствует постоянно и имеет величины от 1.5 до 9.63 мас.% (табл. 3). Примечательно, что в этой же генерации увеличиваются и содержания Y_2O_3 (до 8.38 мас. %). Химический состав ториевого минерала отражает смену геохимического режима поступающего щелочно-карбонатного раствора из карбонатитового расплава, характеризующегося постепенным насыщением фосфором, а затем редкоземельными элементами. Последнее утверждение иллюстрирует рис. 3, а, где показано замещение апатита монацитом. Кристаллизация апатита в ксенолитах фениitizedированных вмещающих пород не отмечается, в отличие от матрикса, где данный минерал активно развивается. В ксенолитах торит первой генерации претерпевает вторичные низкотемпературные изменения, выраженные в замещении ThO_2 оксидами железа. В зернах торита в этом случае количество ThO_2 уменьшается до 28.91 мас. %, тогда как оксидов железа увеличивается до 10.78 мас. %, хотя в неизменном минерале составляло лишь 0.68 мас. % (табл. 3, № п/п 6-1–6-4; рис. 4, ф). Вторичные низкотемпературные изменения в породе связаны с процессами аргиллизации (рис. 4, с).

Заключение

Выявленные новые минералы, представленные эшинитами, пироксеном, торитом и торианитом, дополняют сведения о минерализации флюидоэксплозивных пород Среднего Тимана, парагенетически связанных с карбонатитовым магматизмом. Ранее в данных породах были установлены бариево-стронциевая, редкоземельно-редкометалльная, сульфидная минерализации. Химический состав минералов и их последовательная кристаллизация, связанная с фенизацией, предшествовавшей внедрению даек, и последующей карбонатизацией уже сформированных пород, свидетельствуют о длительном процессе формирования флюидоэксплозивных пород и сложной многоэтапной эволюции карбонатитовых флюидов, принимавших участие в формировании данных магматитов.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600012-2; № 122040600011-5.

Литература/ References

Андреичев В. Л., Степаненко В. И. Возраст карбонатитового комплекса Среднего Тимана // Рудообразование и магматизм севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1983. Вып. 41. С. 83–87.
 Andreichev V. L., Stepanenko V. I. *Vozrast karbonatnogo kompleksa Srednego Timana* (The age of the carbonatite complex of the Middle Timan). *Rudobrazovaniye i magmatizm Severa Urala i Timana* (Ore formation and mag-

matism of the North of the Urals and Timan). Syktyvkar, 1983, 41, pp. 83–87.

Голубева И. И., Филиппов В. Н., Бурцев И. Н. *Метасоматическая редкоземельная и редкометалльная минерализации в ультрамафитах дайкового комплекса на Среднем Тимане (поднятие Четлас) // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018)*. Сыктывкар: Геопринт, 2018. С. 30–31.

Golubeva I. I., Filippov V. N., Burtsev I. N. *Metasomaticheskaya redkozemel'naya i redkometal'naya mineralizatsii v ul'tramafitakh daykovogo kompleksa na Srednem Timane (podnyatiye Chetlas)* (Metasomatic rare-earth and rare-metal mineralization in ultramafic dike complex on the Middle Timan (Chetlas uplift)). *Sovremennye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2018)* (Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin Readings 2018)). Syktyvkar, Geoprint, 2018, pp. 30–31.

Голубева И. И., Бурцев И. Н., Травин А. В. и др. Парагенетическая связь флюидо-эксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса с карбонатитами (Средний Тиман) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. 2019. Т. 2. С. 22–24.

Golubeva I. I., Burtsev I. N., Travin A. V. et al. *Parageneticheskaya svyaz' flyuido-eksplzivnykh ul'tramafitov daykovogo kompleksa s karbonatami (Sredniy Timan)* (Paragenetic relationship between fluid-explosive ultramafic rocks of the dike complex and carbonatites (Middle Timan)). *Geologiya i mineralnyye resursy Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii* (Geology and mineral resources of European North-East of Russia), 2019, V. 2, pp. 22–24.

Голубева И. И., Мокрушин А. В., Филиппов В. Н., Бурцев И. Н. Хромшпинелиды флюидо-эксплозивных даек Среднего Тимана // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 117–127. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.022>

Golubeva I. I., Mokrushin A. V., Filippov V. N., Burtsev I. N. *Khromshpinelidy flyuido-eksplzivnykh dayek Srednego Timana* (Chromspinelites of fluid-explosive dikes of the Middle Timan). Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Institute of Geology KSC RAS, 2020, No. 17, pp. 117–127. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.022>

Голубева И. И., Шуйский А. А., Филиппов В. Н., Бурцев И. Н. Обобщенный опыт изучения и диагностики конвергентных пород на примере карбонатизированных флюидо-эксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса среднего Тимана // Вестник Пермского университета. 2021. Том 20. № 1. С. 11–23. <https://doi.org/10.17072/psu.geol.20.1.11>

Golubeva I. I., Shuyskiy A. A., Filippov V. N., Burtsev I. N. *Obobshchennyy opyt izucheniya i diagnostiki konvergentnykh porod na yavleniyakh karbonatizirovannykh flyuidoeksplzivnykh ul'tramafitov daykovogo kompleksa srednego Timana* (Generalized experience of studying and diagnosing convergent rocks on the example of carbonatized fluid-explosive ultramafic rocks of the Middle Timan dike complex). *Vestnik of Perm University*, 2021, V. 20, No. 1, pp. 11–23. <https://doi.org/10.17072/psu.geol.20.1.11>

Голубева И. И., Леденцов В. А., Бурцев И. Н. Эволюция изотопии углерода и кислорода карбонатито-щелочной флюидо-эксплозивной структуры (Средний Тиман)



- // Современные направления развития геохимии. Иркутск. 2022. Т. 1, С. 138–142.
- Golubeva I. I., Ledentsov V. A., Burtsev I. N. *Evolutsiya izotopii i kislorod karbonatno-shchelochnoy flyuido-explosivnoy struktury (Sredniy Timan)* (Evolution of the carbon and oxygen isotopes of the carbonatite-alkaline fluid-explosive structure (Middle Timan)). *Sovremennyye napravleniya razvitiya geokhimii* (Modern trends in the development of geochemistry). Irkutsk, 2022, V.1, pp. 138–142.
- Костюхин М. И., Степаненко В. И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
- Kostyukhin M. I., Stepanenko V. I. *Baykal'skiy magmatizm Kanino-Timanskogo regiona* (Baikal magmatism of the Kanin-Timan region). Leningrad: Nauka, 1987, 232 p.
- Макеев А. Б., Лебедев В. А., Брянчанинова Н. И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 348 с.
- Makeyev A. B., Lebedev V. A., Bryanchaninova N. I. *Magmatity Srednego Timana* (Magmatites of the Middle Timan). Yekaterinburg, UB RAS, 2008, 348 p.
- Недосекова И. Л., Удоратина О. В., Владыкин Н. В., Рибавкин С. В., Гуляева Т. Я. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов четласского комплекса (Средний Тиман) // Ежегодник-2010: Тр. МИГТ УрО РАН, 2011. вып. 158. С. 122–130.
- Nedosekova I. L., Udoratina O. V., Vladykin N. V., Ribavkin S. V., Gulyayeva T. Ya. *Petrokhimiya i geokhimiya daykovykh ul'trabazitov i karbonatov Chelasskogo kompleksa (Sredniy Timan)* (Petrochemistry and geochemistry of dike ultrabasites and carbonatites of the Chetlass complex (Middle Timan)). Yearbook 2010. Proc. MIGG UB RAS, 2011, 158, pp. 122–130.
- Недосекова И. Л., Замятин Д. А., Удоратина О. В. Рудная специализация карбонатных комплексов Урала и Тимана // Литосфера. 2017. Т. 17. № 2. С. 60–77.
- Nedosekova I. L., Zamyatin D. A., Udoratina O. V. *Rudnaya spetsializatsiya karbonatnykh kompleksov Urala i Timana* (Ore specialization of the carbonate complexes of the Urals and Timan). Litosfera, 2017, V. 17, No. 2, pp. 60–77.
- Пармузин Н. М., Алексеев М. А., Вовшина А. Ю. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Мезенская серия — Лис. Q-39 (Нарьян-Мар). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2015. 517 с.
- Parmuzin N. M., Alkseev M. A., Vovshina A. Yu. Et al. State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Mezen series — Q-39 (Naryan-Mar). Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI Map factory, 2015, 517 p.
- Пачуковский В. М., Траат Х. Ш., Мищенко Р. Я. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Серия Тиманская. Лист Q-39-XXXIII, XXXIV. Петербургская картографическая фабрика, 1993.
- Pachukovskiy V. M., Traat K. H., Mishchenko R. Ya. State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Timan series. Q-39-XXXIII, XXXIV. Petersburg Cartographic Factory, 1993.
- Степаненко В. И. Поздние и постмагматические изменения щелочных пикритов Среднего Тимана // Вестник геонаук. 2015. № 7. С. 9–13.
- Stepanenko V. I. *Pozdnie- i postmagmaticheskiye izmeneniya shchelochnykh pikritov Srednego Timana* (Late- and postmagmatic alterations of alkaline picrites of the Middle Timan). Vestnik of Geosciences. Syktyvkar, 2015, No. 7, pp. 9–13.
- Терновой В. И. Карбонатитовые массивы и их полезные ископаемые. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. 168 с.
- Ternovoy V. I. *Karbonatitovyye massivy i ikh poleznyye* (Carbonatite massifs and their minerals). Publishing house of the Leningrad University, 1977, 168 p.
- Удоратина О. В., Травин А. В. Щелочные пикриты четласского комплекса Среднего Тимана: Ar-Ar-данные // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма: Материалы XXX Междунар. конф. М., 2014. С. 82–84.
- Udoratina O. V., Travin A. V. *Shchelochnyye pikrity chetlasskogo kompleksa Srednego Timana: Ar-Ar-dannyye*. Alkaline picrites of the Chetlas complex of the Middle Timan: Ar-Ar data. Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism: Proceedings of the 30th Intern. conf., Moscow, 2014, pp. 82–84.

Received / Поступила в редакцию 31.05.2023