

Th-U-Pb данные по монацитам из коры выветривания щелочных рудных метасоматитов (Верхне-Шугорское проявление, Средний Тиман)

Удоротина О.В.¹, Вирюс А.М.², Козырева И.В.¹

¹ ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, udoratina@geo.komisc.ru

² ИЭМ РАН, Черноголовка, mukhanova@iem.ac.ru

Аннотация. Монацит является основным минералом-концентратором редкоземельных элементов в редкометалльно-редкоземельных щелочных метасоматитах и наследуются в развитой по ним бокситоносной коре выветривания Верхне-Шугорского проявления на Среднем Тимане. Щелочные метасоматиты развиваются по терригенно-карбонатному субстрату быстринской серии позднерифейского возраста. Исследованный монацит – (Ce-монацит) содержит (мас. %): La_2O_3 – 7–12, Ce_2O_3 – 20–26, Nd_2O_3 – 12–19, ThO_2 – 1–6. Проведенное Th-U-Pb (CHIME) датирование монацита показало возраст 562 ± 43 млн лет.

Ключевые слова: монацит, Th-U-Pb датирование, щелочные метасоматиты, Средний Тиман.

Th-U-Pb data on monazites from the weathering crust of alkaline ore metasomatites (Verkhne-Shchugorsk occurrence, Middle Timan)

Udoratina O.V.¹, Viryus A.M.², Kozyreva I.V.¹

¹ IG FRC KomiSC, UB RAS, Syktyvkar, udoratina@geo.komisc.ru

² IEM RAS, Chernogolovka, mukhanova@iem.ac.ru

Abstract. Monazite is the main mineral concentrating rare-earth elements in rare-metal-rare-earth alkaline metasomatites and is inherited in the bauxite-bearing weathering crust of the Verkhne-Shchugorsky occurrence in the Middle Timan developed after them. Alkaline metasomatites develop on the terrigenous-carbonate substrate of the Bystrinskaya series of Late Riphean age. The studied monazite (Ce-monazite) contains (wt %): La_2O_3 – 7–12, Ce_2O_3 – 20–26, Nd_2O_3 – 12–19, ThO_2 – 1–6. The Th-U-Pb (CHIME) dating of monazite showed an age of 562 ± 43 Ma.

Keywords: monazite, Th-U-Pb dating, alkaline metasomatites, Middle Timan.

Введение

Установление возраста проявления редкометалльно-редкоземельных руд по рудным минералам (монацит, торит, колумбит, пирохлор) благодаря развитию аналитической базы является на сегодняшний день решаемой задачей.

Верхне-Шугорское редкометалльно-редкоземельное проявление локализовано в северной части одноименного месторождения бокситов в пределах периферии Четласского Камня на Среднем Тимане. Бокситоносная кора выветривания (БКВ) сформирована здесь по субстрату редкометалльных щелочных метасоматитов, в свою очередь развивавшихся по карбонатной терригенной толще быстринской серии (аньюгская, рочугская, ворыквинская паунская, павьюгская свиты).

Литологические и минералогические особенности пород, слагающих БКВ Верхне-Шугорского проявления, описаны на скважинном материале и приведены в работе В.В. Лихачева (Лихачев, 1993). Для минералогических исследований и установления возраста нами использованы коллекция В.В. Лихачева, переданная нам автором для исследований, а также материал из коллекции В.В. Лихачева из каменного хранилища ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Методы исследования

Исследовались как аншлифы сохранных рудных прожилок с монацитом в бокситах, так и выделенные монофракции монацитов, а также титано-ниобиевых фаз и пирохлоров, ассоциирующих с монацитами из щелочных метасоматитов и БКВ. Минералы были вмонтированы в эпоксидные шашки. Электронно-зондовое рентгеноспектральное определение Th, U, Pb и химический состав монацита получены на растровом электронном микроскопе Tescan Vega II XMU с энергодисперсионным (INCAx-sight) и волновым (INCA wave 700) рентгеновскими спектрометрами

при ускоряющем напряжении 20 кВ, ток зонда 200 нА, угол отбора рентгеновского излучения 35° (ИЭМ РАН г. Черноголовка). Возраст монацита рассчитывали методом CHIME (chemical Th-U-total Pb isochron method) (Suzuki, Adachi, 1991). Для построения изохроны использовали программу Isoplot 3.66 (Ludwig, 1999).

Результаты исследований

Верхне-Щугорское рудное поле расположено в верхнем течении р. Щугор (правый приток р. Выми). Щелочные метасоматиты развивались по метатерригенно-карбонатным отложениям быстринской серии в пределах Северной Залежи рудного поля. Редкометалльно-редкоземельные руды Верхне-Щугорского проявления представлены ассоциацией колумбита, новых титано-ниобиевых фаз (Udoratina et al., 2023), пирохлора (в том числе Pb-пирохлора) и монацита.

На Среднем Тимане монацит широко распространен в карбонатитах, фенитизированных магматических и метатерригенных породах Четласского Камня, где он образует различные формы (отдельные кристаллы, прожилки, гнезда в карбонатитах, щелочных пикритах четласского комплекса), а также в породах жильного (Q-Carb, Q-Fsp_Carb, Q-Fsp с Gemt+Get) одноименного комплекса и фенитах в пределах Косьюского рудного узла. Рудные фениты (калиевые и натриевые) развиваются в обрамлении магматитов и дизъюктивных зон по первично метаосадочным породам четласской серии – кварцитопесчаникам и кварцитам светлинской, новобобровской, визингской свит (Ивенсен, 1964; Ковальчук и др., 2013; Удоратина и др., 2015; Nedosekova et al., 2021).

В отличие от близко расположенных рудных полей Косьюского рудного узла (Октябрьское, Новобобровское, Нижне-Мезенское проявления), где субстратом служат метатерригенные породы на Верхне-Щугорском проявлении, щелочные метасоматиты (фениты) развиваются по существенно карбонатному субстрату – первично карбонатно-терригенным породам быстринской серии.

Отложения быстринской серии, соответствующие морским более глубоководным, перекрывают мелководные отложения четласской серии. Возраст подстилающих метатерригенных пород четласской серии позднерифейский (Удоратина и др., 2017), возраст отложений быстринской серии обоснован находками строматолитов и соответствует позднерифейскому. Уровень метаморфизма соответствует зеленосланцевой фации. Возраст прорывающих метаосадочные позднерифейские отложения магматических пород соответствует уровню 600 млн лет (Андреичев, Степаненко, 1983).

Возраста монацитов из калиевых фенитов Косьюского рудного узла, полученные ранее методом Th-U-Pb (CHIME), составляют 552 ± 31 млн лет (Новобобровское) и 564 ± 27 млн лет (Нижне-Мезенское) (Удоратина и др., 2015). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста (млн лет) по микроклину фенитов 564.0 ± 7.8 (Новобобровское (Удоратина и др., 2021)) и две стадии 541 ± 6 и 513 ± 4 (Октябрьское (Удоратина и др., 2020)) рудных полей.

На проявлении, вскрытом скважинами в вертикальном профиле, наблюдаются щелочные метасоматиты кварц-эгирин-микроклин-альбит-карбонатного состава, сменяющиеся вверх по разрезу бокситами. Бокситоносная формация отнесена здесь к редкометалльно-глиноземистой субформации (Лихачев, 1993). Бокситы, содержащие рудные минералы, в том числе и монацит, имеют светло-серый цвет, рыхлую текстуру, тем не менее прожилки с рудными минералами сохраняют свое положение при отборе образцов из керна.

Монацит является носителем лантаноидов и отмечается в щелочных метасоматитах в виде кристаллов или лучистых сноповидных агрегатов, концентрирующихся в виде редкой вкрапленности, прожилков и небольших гнездовых скоплений (рис. 1), ассоциирует с пирохлором, колумбитом, рутилом, баритом. Щелочные метасоматиты характеризуются яркой окраской, обусловленной полосчатостью, наблюдается чередование калиево-полевошпатовых, альбит-эгириновых прослоев. Калиевый полевой шпат по рентгеноструктурным данным является *низким микроклином* с рассчитанной температурой кристаллизации 445°С (Куликова и др., 2022).

Монацит в БКВ наследуется от пород субстрата (щелочных метасоматитов). В БКВ отмечается выщелоченный монацит (формирует нередко губчатые (пластинчатые) агрегаты). Монацит по данным микронзондового анализа (мас., %) является цериевым (Ce_2O_3 до 26), но отмечается

и устойчиво высокое содержание Nd_2O_3 до 19. Все изученные монациты ториевые, содержания ThO_2 достигает 6 (табл. 1, рис. 2; на рис. 2 приведены также положения точек составов монацитов из близ расположенных щелочных метасоматитов рудных полей Косьюского рудного узла).

В химическом составе монацита преобладает Се, характерно высокое содержание Th. Значения измеренных точечных Th-U-Pb возрастов монацитов лежат в широком интервале 929–240 млн лет,

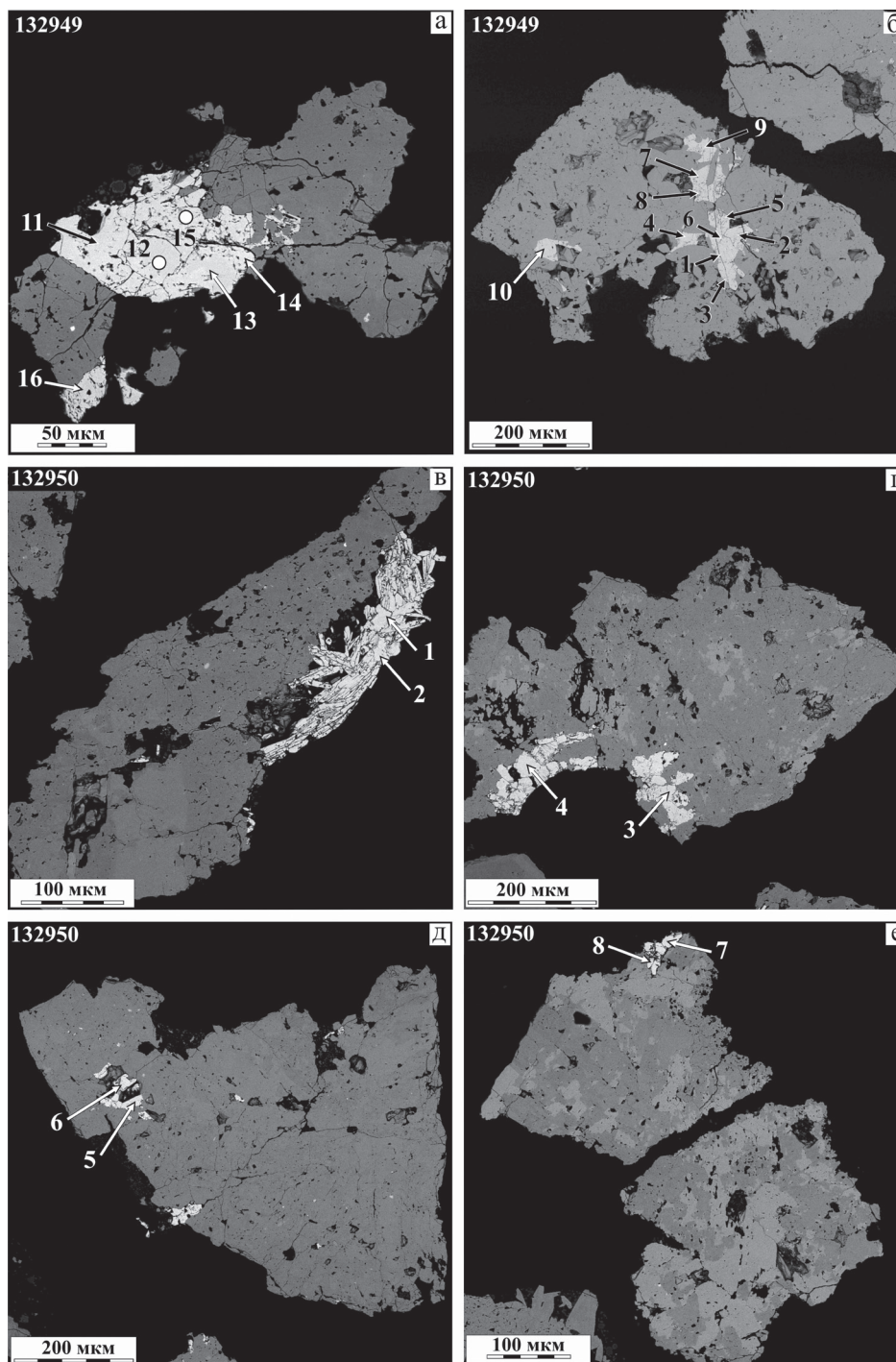
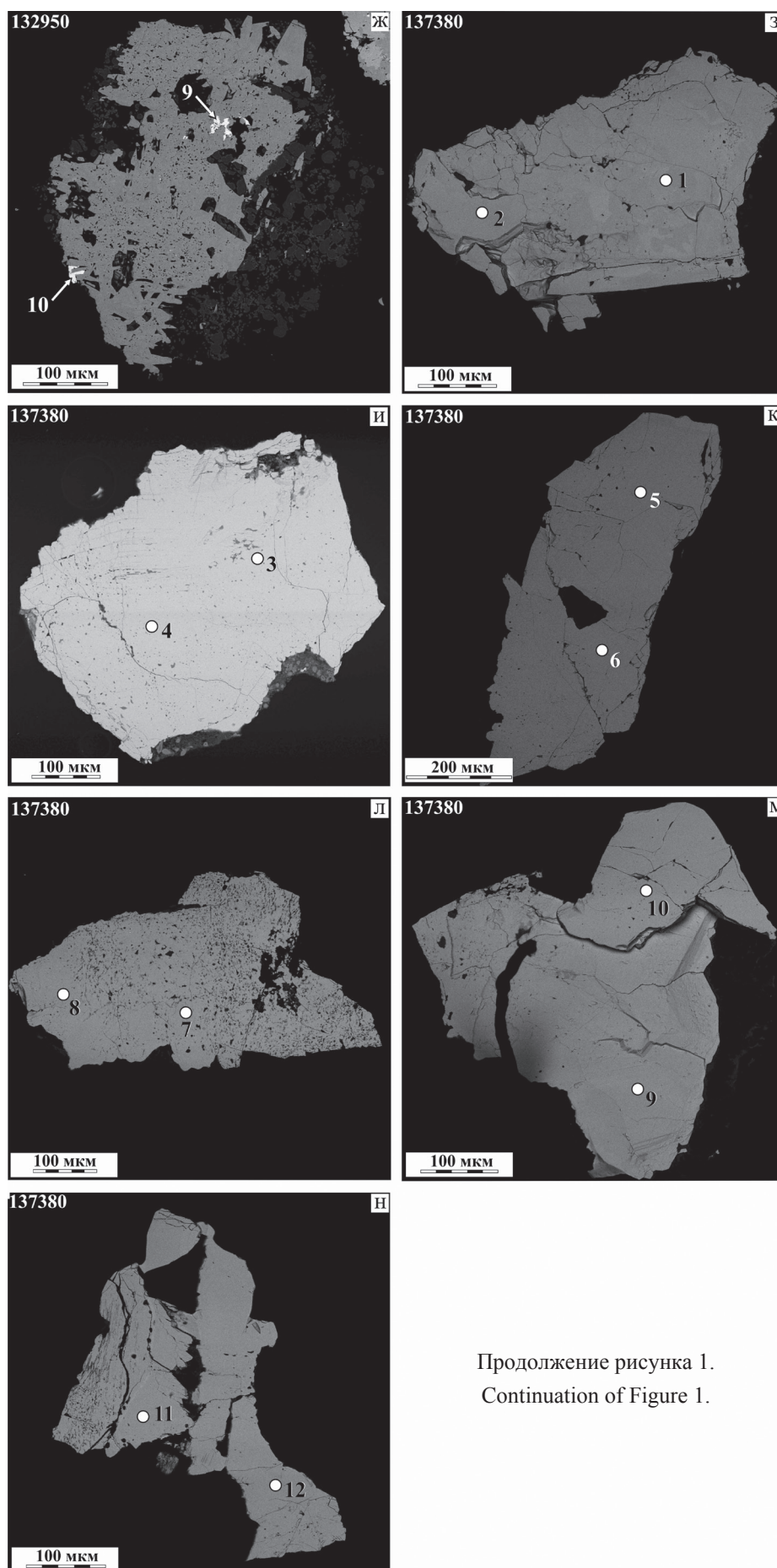


Рис. 1. Монацит БКВ, аншлифы, изображения в обратно рассеянных электронах. 132949 (а–б) и 132950 (в–ж) в сростках с титано-ниобиевыми фазами; 137380 (з–н) монофракция монацита. Номера точек соответствуют номерам в таблице 1.

Fig. 1. Monazite (bauxite-bearing weathering crust), polished sections, images in backscattered electrons. 132949 (a–b) and 132950 (c–g) in seedlings with titanium-niobium phases; 137380 (s–n) monofraction of monazite. The point numbers correspond to the numbers in table 1.



Продолжение рисунка 1.
 Continuation of Figure 1.

Таблица 1. Результаты исследований монацитов
 Table 1. The results of studies monazite

№ Т.Н.	ThO ₂ *	PbO	Возраст, млн лет	Формулы монацитов
132949				
1	4.92	0.11	525	(Ce _{0.40} La _{0.13} Nd _{0.22} Th _{0.05} Sm _{0.07} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.03} Fe _{0.006} Eu _{0.02} Pb _{0.001} U _{0.00002}) _{1.00} (P _{1.00}) _{1.00} O ₄
2	3.72	0.08	505	(Ce _{0.39} La _{0.13} Nd _{0.22} Th _{0.04} Sm _{0.08} Pr _{0.05} Gd _{0.03} Ca _{0.02} Fe _{0.008} Eu _{0.02} Pb _{0.001} U _{0.0001}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.01}) _{1.00} O ₄
3	4.69	0.11	550	(Ce _{0.40} La _{0.13} Nd _{0.23} Th _{0.05} Sm _{0.07} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.03} Fe _{0.009} Eu _{0.02} Pb _{0.001}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.02}) _{1.002} O ₄
4	3.74	0.09	564	(Ce _{0.40} La _{0.13} Nd _{0.22} Th _{0.04} Sm _{0.07} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.02} Fe _{0.01} Eu _{0.02} Pb _{0.001} U _{0.0001}) _{1.00} (P _{1.00}) _{1.00} O ₄
7	3.86	0.08	487	(Ce _{0.40} La _{0.12} Nd _{0.23} Th _{0.04} Sm _{0.07} Pr _{0.05} Gd _{0.03} Ca _{0.02} Fe _{0.02} Eu _{0.02} Pb _{0.001}) _{1.00} (P _{0.98} Al _{0.008}) _{0.998} O ₄
8	4.57	0.14	701	(Ce _{0.39} La _{0.13} Nd _{0.23} Th _{0.05} Sm _{0.08} Pr _{0.05} Gd _{0.03} Ca _{0.03} Fe _{0.005} Eu _{0.01} Pb _{0.002} U _{0.00008}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.004}) _{0.994} O ₄
9	3.68	0.07	447	(Ce _{0.40} La _{0.13} Nd _{0.23} Th _{0.04} Sm _{0.08} Pr _{0.05} Gd _{0.04} Ca _{0.02} Fe _{0.01} Eu _{0.02} Pb _{0.0008} U _{0.0001}) _{1.00} (P _{0.98} Al _{0.006}) _{0.986} O ₄
10	4.43	0.1	529	(Ce _{0.38} La _{0.12} Nd _{0.22} Th _{0.05} Sm _{0.08} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.03} Fe _{0.009} Eu _{0.02} Pb _{0.001} U _{0.0001}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.11}) _{1.01} O ₄
11	6.74	0.16	557	(Ce _{0.36} La _{0.13} Nd _{0.20} Th _{0.07} Sm _{0.09} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.04} Fe _{0.002} Eu _{0.02} Pb _{0.002} U _{0.00004}) _{1.00} (P _{1.00} Al _{0.002}) _{1.002} O ₄
12	1.60	0.02	292	(Ce _{0.43} La _{0.20} Nd _{0.24} Th _{0.02} Sm _{0.04} Pr _{0.05} Gd _{0.07} Ca _{0.09} Fe _{0.002} Eu _{0.007} Pb _{0.0003}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.005}) _{1.005} O ₄
13	1.46	0.03	479	(Ce _{0.41} La _{0.19} Nd _{0.26} Th _{0.01} Sm _{0.05} Pr _{0.07} Gd _{0.01} Ca _{0.007} Eu _{0.006} Pb _{0.0003} U _{0.00005}) _{1.00} (P _{0.98} Al _{0.004}) _{0.984} O ₄
14	1.48	0.03	473	(Ce _{0.42} La _{0.19} Nd _{0.24} Th _{0.02} Sm _{0.05} Pr _{0.06} Gd _{0.01} Ca _{0.007} Eu _{0.004} Pb _{0.003}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.006}) _{1.00} O ₄
15	7.02	0.18	602	(Ce _{0.34} La _{0.13} Nd _{0.23} Th _{0.07} Sm _{0.09} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.04} Fe _{0.003} Eu _{0.02} Pb _{0.002} U _{0.00005}) _{1.00} (P _{1.00}) _{1.00} O ₄
16	1.86	0.03	377	(Ce _{0.42} La _{0.19} Nd _{0.23} Th _{0.02} Sm _{0.05} Pr _{0.05} Gd _{0.02} Ca _{0.006} Fe _{0.004} Eu _{0.01} Pb _{0.003}) _{1.00} (P _{0.99}) _{1.00} O ₄
132950				
1	6.33	0.15	556	(Ce _{0.34} La _{0.15} Nd _{0.21} Th _{0.06} Sm _{0.07} Pr _{0.05} Gd _{0.02} Ca _{0.04} Fe _{0.007} Eu _{0.01} Pb _{0.002} U _{0.00004}) _{1.00} (P _{0.98} Al _{0.007} Si _{0.004}) _{0.9} 91O ₄
2	8.09	0.2	580	(Ce _{0.34} La _{0.15} Nd _{0.22} Th _{0.09} Sm _{0.07} Pr _{0.05} Gd _{0.03} Ca _{0.05} Fe _{0.02} Eu _{0.02} Pb _{0.003} U _{0.0007}) _{1.00} (P _{0.97} Si _{0.009}) _{0.979} O ₄
3	2.57	0.08	726	(Ce _{0.40} La _{0.17} Nd _{0.25} Th _{0.03} Sm _{0.06} Pr _{0.06} Gd _{0.02} Ca _{0.01} Fe _{0.01} Eu _{0.01} Pb _{0.001}) _{1.00} (P _{0.99}) _{0.99} O ₄
4	2.95	0.07	555	(Ce _{0.41} La _{0.18} Nd _{0.23} Th _{0.03} Sm _{0.06} Pr _{0.04} Gd _{0.02} Ca _{0.02} Fe _{0.006} Eu _{0.007} Pb _{0.0008} U _{0.0001}) _{1.00} (P _{1.00}) _{1.00} O ₄
5	1.40	0.02	383	(Ce _{0.34} La _{0.19} Nd _{0.25} Th _{0.01} Sm _{0.07} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.01} Fe _{0.003} Eu _{0.02} Pb _{0.003}) _{1.00} (P _{1.02} Al _{0.004}) _{1.024} O ₄
6	2.83	0.05	416	(Ce _{0.35} La _{0.19} Nd _{0.24} Th _{0.01} Sm _{0.08} Pr _{0.03} Gd _{0.04} Ca _{0.009} Fe _{0.02} Eu _{0.02} Pb _{0.00001}) _{1.00} (P _{1.00} Al _{0.004}) _{1.004} O ₄
7	1.69	0.04	552	(Ce _{0.33} La _{0.15} Nd _{0.27} Th _{0.03} Sm _{0.09} Pr _{0.04} Gd _{0.03} Ca _{0.02} Fe _{0.02} Eu _{0.03} Pb _{0.0006} U _{0.0002}) _{1.00} (P _{0.99} Al _{0.006}) _{1.00} O ₄
8	3.09	0.07	534	(Ce _{0.41} La _{0.19} Nd _{0.22} Th _{0.02} Sm _{0.04} Pr _{0.06} Gd _{0.007} Ca _{0.01} Fe _{0.02} Pb _{0.004}) _{1.00} (P _{1.02} Al _{0.002}) _{1.00} O ₄
137380				
1	3.81	0.11	675	(Ce _{0.36} La _{0.12} Nd _{0.30} Th _{0.04} Sm _{0.05} Pr _{0.07} Gd _{0.01} Ca _{0.02} Fe _{0.004} Eu _{0.006} Pb _{0.001} U _{0.0005}) _{1.00} (P _{1.02}) _{1.02} O ₄
2	1.84	0.06	758	(Ce _{0.38} La _{0.13} Nd _{0.30} Th _{0.02} Sm _{0.05} Pr _{0.06} Gd _{0.008} Ca _{0.01} Eu _{0.01} Pb _{0.0008} U _{0.0001}) _{1.00} (P _{1.01} Al _{0.01}) _{1.02} O ₄
3	1.90	0.06	738	(Ce _{0.38} La _{0.13} Nd _{0.32} Th _{0.02} Sm _{0.04} Pr _{0.05} Gd _{0.01} Ca _{0.01} Eu _{0.001} Pb _{0.0008} U _{0.0002}) _{1.00} (P _{1.04} Al _{0.005}) _{1.045} O ₄
4	1.29	0.05	897	(Ce _{0.38} La _{0.13} Nd _{0.31} Th _{0.01} Sm _{0.05} Pr _{0.06} Gd _{0.01} Ca _{0.002} Fe _{0.009} Eu _{0.004} Pb _{0.0006} U _{0.00006}) _{1.00} (P _{1.02} Al _{0.01}) _{1.03} O ₄
6	1.46	0.05	798	(Ce _{0.42} La _{0.14} Nd _{0.29} Th _{0.01} Sm _{0.03} Pr _{0.06} Gd _{0.003} Ca _{0.006} Fe _{0.001} Eu _{0.004} Pb _{0.0007} U _{0.0002}) _{1.00} (P _{1.02} Al _{0.001}) _{1.003} O ₄
7	3.95	0.11	652	(Ce _{0.37} La _{0.13} Nd _{0.30} Th _{0.04} Sm _{0.04} Pr _{0.06} Gd _{0.01} Ca _{0.01} Eu _{0.01} Pb _{0.001} U _{0.0007}) _{1.00} (P _{1.00} Al _{0.004} Si _{0.01}) _{1.014} O ₄
8	1.74	0.02	269	(Ce _{0.38} La _{0.14} Nd _{0.30} Th _{0.02} Sm _{0.05} Pr _{0.06} Gd _{0.02} Ca _{0.01} Fe _{0.003} Eu _{0.02} Pb _{0.0002} U _{0.0002}) _{1.00} (P _{1.00}) _{1.00} O ₄
9	1.50	0.06	929	(Ce _{0.38} La _{0.13} Nd _{0.28} Th _{0.01} Sm _{0.05} Pr _{0.07} Gd _{0.01} Ca _{0.008} Fe _{0.009} Eu _{0.01} Pb _{0.0007} U _{0.0002}) _{1.00} (P _{1.03} Al _{0.002}) _{1.032} O ₄
10	1.88	0.03	374	(Ce _{0.41} La _{0.15} Nd _{0.30} Th _{0.02} Sm _{0.04} Pr _{0.06} Gd _{0.008} Ca _{0.006} Fe _{0.0004} Eu _{0.005} Pb _{0.0003} U _{0.0004}) _{1.00} (P _{1.00}) _{1.00} O ₄
11	2.24	0.05	522	(Ce _{0.37} La _{0.12} Nd _{0.31} Th _{0.02} Sm _{0.06} Pr _{0.06} Gd _{0.01} Ca _{0.01} Eu _{0.009} Pb _{0.0006} U _{0.0004}) _{1.00} (P _{1.01} Al _{0.005}) _{1.015} O ₄
12	1.96	0.02	240	(Ce _{0.362} La _{0.11} Nd _{0.34} Th _{0.02} Sm _{0.04} Pr _{0.06} Gd _{0.01} Ca _{0.01} Eu _{0.008} Pb _{0.0003} U _{0.0007}) _{1.00} (P _{1.01} Al _{0.01}) _{1.02} O ₄
562±43 млн лет				

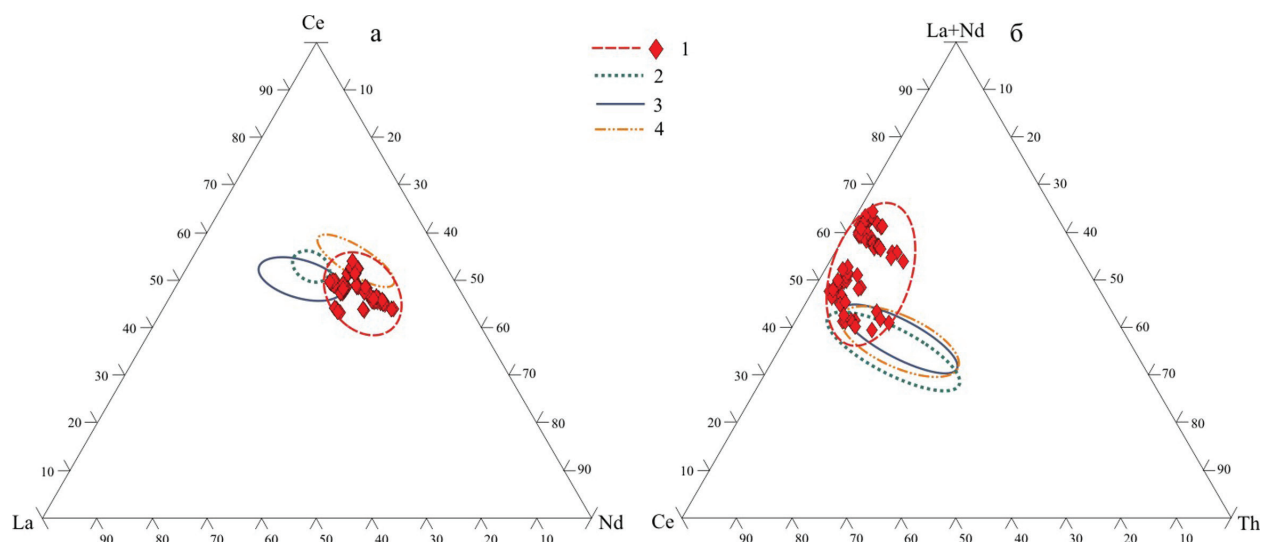


Рис. 2. Состав исследуемых монацитов на диаграммах La-Ce-Nd (а) и Ce-(La+Nd)-Th (б). Условные обозначения, рудные поля: 1 – Верхне-Щугорское, 2 – Октябрьское, 3 – Нижне-Мезенское, 4 – Новобобровское.

Fig. 2. The composition of monazites on the La-Ce-Nd (a) and Ce-(La+Nd)-Th (b) diagrams. Symbols, ore fields: 1 – Verkhne-Shchugorskoe, 2 – Oktyabrskoe, 3 – Nizhne-Mezenskoe, 4 – Novobobrovskoe.

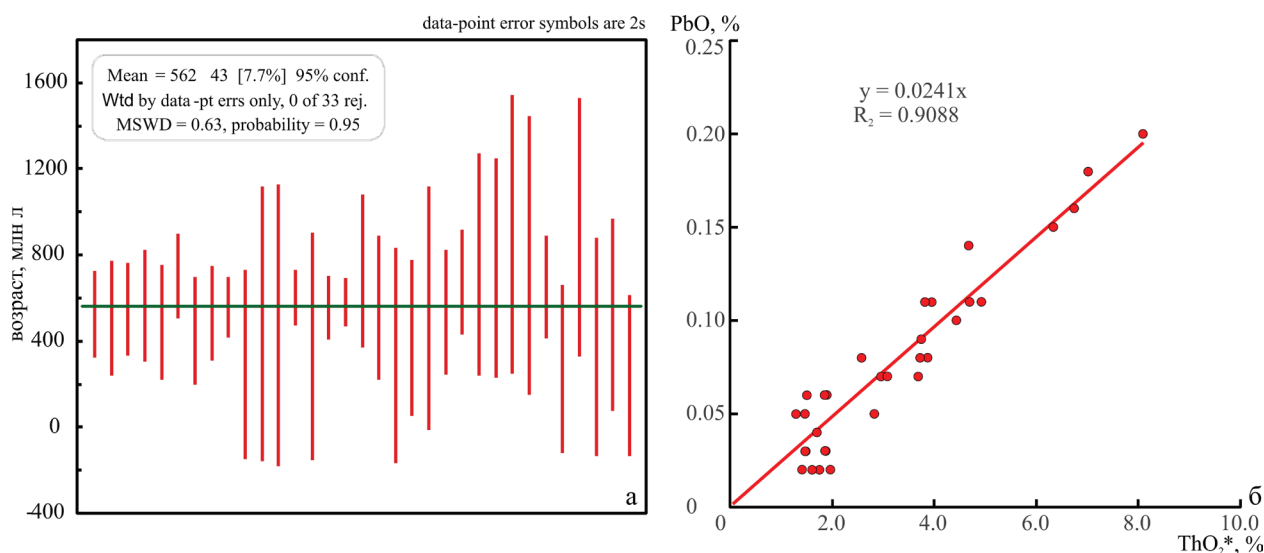


Рис. 3. Геохронологические данные по монацитам. Разброс значений точечных Th-U-Pb возрастов и их средневзвешенная величина (а). ThO_2^* – PbO изохронна (б).

Fig. 3. Geochronological data on monazites. Scatter of point Th-U-Pb ages and their weighted average (а). ThO_2^* – PbO isochronous (b).

с высокой степенью погрешности определения (2σ) порядка ± 214 млн лет (рис. 3). Высокие погрешности и широкий интервал точечных возрастов объясняется тем, что в большинстве монацитов низкие содержания Pb и U порядка 0.06–0.02 % масс. Такие низкие концентрации всегда определяют с высокой погрешностью, которая соответственно увеличивает погрешность определения возраста. Средневзвешенная величина точечного Th-U-Pb возраста монацитов составила 562 ± 43 млн лет. Возраст монацитов, полученный по изохроне ThO_2^* – PbO, равен 590 ± 69 млн лет.

Выводы

Монациты Верхне-Щугорского рудного поля по своему составу отличаются от монацитов рудных полей Косьюского рудного узла (Октябрьского, Новобобровского, Нижне-Мезенского): в них относительно других более неодиимовый состав (до 20 мас. %). Результаты химического микрозондового Th-U-Pb датирования, как показано выше, имеют большую погрешность и могут слу-

жить лишь приблизительно оценочными, что связано как с неоднородным составом монацитов, так и с особенностями метода. Установленный при Th-U-Pb датировании возраст монацита составил 562 ± 43 млн лет, что согласуется (в пределах погрешности) ко времени формирования магматических пород четласского комплекса щелочных пикритов и карбонатитов (~600 млн лет).

Литература

1. Андреичев В.Л., Степаненко В.И. Возраст карбонатитового комплекса Среднего Тимана // Рудообразование и магматизм севера Урала и Тимана. Сыктывкар. 1983. С. 83–87. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 41).
2. Ивенсен Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.-Л.: Наука, 1964. 126 с.
3. Ковальчук Н.С., Шумилова Т.Г., Степаненко В.И. Редкоземельная минерализация в карбонатитах Косьюского массива (Средний Тиман) // ЗРМО. № 3. 2013. С. 109–132.
4. Куликова К.В., Удоратина О.В., Макеев Б.А., Шуйский А.С. Калиевый полевой шпат рудных щелочных метасоматитов (Средний Тиман) // Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН. Серия: Наука о Земле. 2022. № 2 (54). С. 41–46. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2022-2-41-46>.
5. Лихачев В.В. Редкометалльность бокситоносной коры выветривания Среднего Тимана. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. 224 с.
6. Удоратина О.В., Бурцев И.Н., Никулова Н.Ю., Хубанов В.Б. Возраст метапесчаников верхнедевонской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2017. Вып. 5. С. 15–32.
7. Удоратина О.В., Вириус А.А., Козырева И.В., Швецова И.В., Капитанова В.А. Возраст монацитов жильной серии четласского комплекса (Средний Тиман): Th-U-Pb данные // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар. № 3. 2015. С. 23–29.
8. Удоратина О.В., Травин А.В., Бурцев И.Н., Куликова К.В. Новобобровское рудное поле (Четласский Камень, Средний Тиман): Ar-Ar данные // Геосферные исследования. 2021. № 2. С. 21–28. <https://doi.org/10.17223-25421379-19-2>.
9. Удоратина О.В., Травин А.В., Бурцев И.Н., Куликова К.В., Губарев И.А. Октябрьское рудное поле (Средний Тиман): Ar-Ar данные // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 534–538. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.103>.
10. Ludwig K.R. User's manual for ISOPLOT/EX, version 2. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center: Spec. Publ. N0. 1a. 1999. 120 p.
11. Nedosekova I., Vladykin N., Udoratina O., Belyatsky B. Ore and geochemical specialization and substance sources of the Ural and Timan carbonatite complexes (Russia): insights from trace element, Rb-Sr and Sm-Nd isotope data // Minerals 2021. V. 11. No. 711. P. 1–41. <https://doi.org/10.3390/min11070711>.
12. Suzuki K., Adachi M. The chemical Th-U-total Pb isochron ages of zircon and monazite from the gray granite of the Hida Terrane, Japan // The Journal of Earth and Planetary Sciences. 1991. V. 38. Nagoya University. P. 11–38.
13. Udoratina O.V., Varlamov D.A., Makeev B.A., Lutoev V.P., Shuyskiy A.S. Ti-Fe-Nb Mineral Phases from the Boxiton Bearing Weather Bark of the Verkhne-Shchugorsky Deposit (Middle Timan) // Marin, Y. (eds) XIII General Meeting of the Russian Mineralogical Society and the Fedorov Session. 2023. P. 110–116. GMRMS 2021. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23390-6_15.