



Монацит щелочных рудных метасоматитов Нижнемезенского рудного поля (Средний Тиман): Th-U-Pb-данные

О. В. Удоратина¹, А. А. Вирюс², И. В. Козырева¹

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; udoratina@geo.komisc.ru; kozyreva@geo.komisc.ru

²Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка; mukhanova@iem.ac.ru

Монацит из редкометалльно-редкоземельных щелочных метасоматитов Нижнемезенского проявления Среднего Тимана имеет преимущественно цериевый состав ($\text{Ce}_2\text{O}_3 > \text{La}_2\text{O}_3$). Средневзвешенная величина точечного (Th-U-Pb, CHIME) возраста монацитов составила (564 ± 27) млн лет, возраст монацитов, полученный по изохроне $\text{ThO}_2^*-\text{PbO}$, равен (566 ± 127) млн лет. Монациты близки по времени формирования к монацитам Новобобровского рудного поля и вендским магматическим образованиям (ультраосновным породам и карбонатитам четласского комплекса), сформированным в результате плюмового импульса.

Ключевые слова: монацит, Th-U-Pb-метод, Средний Тиман.

Monazite of alkaline ore metasomatites of the Lower Mezen ore field (Middle Timan): Th-U-Pb-data

O. V. Udoratina¹, A. A. Viryus¹, I. V. Kozyreva¹

¹Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Institute of experimental mineralogy RAS, Chernogolovka

Monazite from rare-metal-rare-earth alkaline metasomatites of the Lower Mezen occurrence of the Middle Timan has a predominantly cerium composition ($\text{Ce}_2\text{O}_3 > \text{La}_2\text{O}_3$). The weighted average value of the point (Th-U-Pb, CHIME) age of monazites was (564 ± 27) Ma, the age of monazites, obtained from the $\text{ThO}_2^*-\text{PbO}$ isochrone, is (566 ± 127) Ma. The age of the monazite is close in time to the monazites of the Novobobrovsky ore field and the Vendian igneous formations (ultramafic rocks and carbonatites of the Chetlas Complex) formed as a result of a plume pulse.

Keywords: monazite, Th-U-Pb-method, Middle Timan.

Введение

Монацит является одним из ведущих минералов комплексных редкометалльно-торий-редкоземельных руд Нижнемезенского рудного поля (Косьюский рудный узел, Четласский Камень, Средний Тиман).

По данным предшественников и нашим данным, монацит в различных проявлениях Косьюского рудного узла наблюдается как в карбонатитах и породах жильного комплекса (кварц-карбонатных, кварц-полевошпатовых жилах с гетитом и гематитом), так и в фенитах, развитых по метатерригенным породам, вмещающим оруденение (четлаская серия: светлинская, новобобровская, визингская свиты), а также в магматических ультраосновных породах (лампрофирах, щелочных пикритах) четласского комплекса (Ивенсен, 1964; Ковальчук и др., 2013; Nedosekova et al., 2021).

Возраст пород субстрата (метатерригенные породы визингской свиты) — позднерифейский (Удоратина и др., 2017), возраст магматических пород соответствует уровню 600 млн лет: ($600 \pm 15(30)$) — K-Ar-метод по флогопитам (Андреичев, Степаненко, 1983; (598.1 ± 6.2) млн лет — Ar-Ar-метод по флогопиту (Удоратина и др., 2023). Возраст монацита из щелочных метасоматитов Новобобровского рудного по-

ля, полученный ранее методом Th-U-Pb (CHIME), составляет (552 ± 31) млн лет (Удоратина и др., 2015). Также ранее получен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст (млн лет) по микроклину щелочных метасоматитов Новобобровского (564.0 ± 7.8) и Октябрьского (две стадии — 541 ± 6 и 513 ± 4) рудных полей (Удоратина и др., 2020, 2021).

Целью исследований является установление времени формирования комплексной редкометалльно-редкоземельной минерализации Нижнемезенского проявления по рудному минералу — монациту.

Методы исследования

Исследовались аншлифы из рудных зон: фениitized (микроклинизированных) кварцитопесчаников (MEZ-1-1, 2015 г.) и брекчированных микроклинитов (KM4-2, 2016 г.). Аншлифы (диаметр 2.5×0.5 см) представляют собой фрагменты сколков штучных образцов (размер $10 \times 5 \times 2$ см), запрессованных в эпоксидную смолу и отполированных со стороны образца. Штучные образцы отобраны по полотну расчистки стык в стык на протяжении 2 м зачищенного участка канавы. Для исследования отобраны участки с видимым ожелезнением (обохренностью), отличающиеся от неизмененных, вмещающих «рудную зону» серых

Для цитирования: Удоратина О. В., Вирюс А. А., Козырева И. В. Монацит щелочных рудных метасоматитов Нижнемезенского рудного поля (Средний Тиман): Th-U-Pb-данные // Вестник геонаук. 2023. 7(343). С. 17–26. DOI: 10.19110/geov.2023.7.2

For citation: Udoratina O. V., Viryus A. A., Kozyreva I. V. Monazite of alkaline ore metasomatites of the Lower Mezen ore field (Middle Timan): Th-U-Pb-data. Vestnik of Geosciences, 2023, 7(343), pp. 17–26, doi: 10.19110/geov.2023.7.2

кварцитопесчаников розовато-бежевым цветом, наличием отчетливой брекчированной структуры. Предварительно для выявления скрытой зональности состав минералов, слагающих рудную зону, исследован на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm² Oxford instruments. На СЭМ Thermo Fischer Scientific Axia ChemiSEM с выдвигаемым детектором катодолюминесценции RGB с диапазоном обнаружения длин волн 350–850 нм получены катодолюминесцентные изображения монацита (ЦКП «Геонаука», Сыктывкар, А. С. Шуйский). Здесь же определены порообразующие компоненты (классическим химическим анализом, О. В. Кокшарова) и содержание редких, рассеянных и редкоземельных элементов (ICP MS, Г. В. Игнатьев).

Определение элементного состава монацитов выполняли методом электронно-зондового рентгено-спектрального анализа (ЭЗРСА) на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Tescan Vega II XMU с энергодисперсионным (ЭДС) INCAx-sight и волновым (ВДС) INCA wave 700 рентгеновскими спектрометрами (ИЭМ РАН, Черноголовка). Поскольку для установления возраста монацитов методом CHIME необходимо определить содержания Th, U, Pb, для повышения чувствительности ЭЗРСА был выбран режим работы РЭМ INCA Energy, который позволяет одновременно работать с ЭДС и ВДС. Таким образом, содержания Th, U, Pb определяли с помощью ВДС, используя кристалл-анализатор PЕТ. В качестве аналитических линий были выбраны: для Th — $\text{Th}\alpha_{1,2}$, для U — $\text{U}\alpha_{1,2}$, Pb — $\text{Pb}\alpha_{1,2}$. Фон измеряли симметрично с двух сторон от аналитических линий. Время набора интенсивности на аналитической линии $\text{Th}\alpha_{1,2}$ составляло 30 с, фон по 15 с, на линии $\text{U}\alpha_{1,2}$ — 80 с, фон по 40 с., на линии $\text{Pb}\alpha_{1,2}$ — 50 с, фон по 25 с. В качестве стандартов для определения содержания Th использовали ThO_2 , U — UO_2 , Pb — PbTe . Остальные элементы, входящие в состав монацитов, определяли с помощью ЭДС. Время набора энергодисперсионного спектра составляло 100 с. Измерения на ВДС и ЭДС выполняли одновременно при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе поглощенных электронов 50 нА, размере зонда 2 мкм и рабочем расстоянии 25 мм. Результаты ЭЗРСА монацитов представлены в табл. 1, где также приведены используемые при количественном анализе эталоны. Пределы обнаружения по 2 σ -критерию составляли: для Th — 0.09, U — 0.02, Pb — 0.03 (мас. %). Возраст монацита рассчитывали методом CHIME (chemical Th-U-total Pb isochron method, Suzuki, Adachi, 1991). Для расчета средневзвешенной величины точечного возраста использовали программу Isoplot 3.66 (Ludwig, 1999).

Результаты

Опробованное Нижнемезенское проявление (рудное поле) в верховьях р. Мезень (рис. 1, а, б) наряду с другими рудными полями (Октябрьское, Новобобровское, Верхнебобровское, Косьюское) на Четласском Камне Среднего Тимана составляют Косьюский рудный узел.

Особенностями развития комплексной редкометалльно-редкоземельной минерализации в пределах

рудного узла являются: 1) приуроченность к тектоническим нарушениям северо-восточного направления (к этой же системе относятся и дайковые тела щелочных пикритов, связанных с карбонатитами, а также породы одноименного жильного комплекса (альбититов, кварц-полевошпатовых, кварц-полевошпатокарбонатных с гетитом, гематитом и связанных с ними фенитов); 2) развитие этих нарушений и зон минерализации в кварцитопесчаниках четласской серии: светлинской (Октябрьское), светлинской и новобобровской (Новобобровское), визингской (Косьюское, Нижнемезенское) свит.

На Нижнемезенском проявлении, на вскрытых расчистками, канавами и шурфами участках рудная минерализация приурочена к зонам неоднократного катаклаза как вмещающих метапесчаников позднерифейской визингской свиты, так и собственно кварц-полевошпатовых жил четласского жильного комплекса (рис. 1, с). Жильные образования прослежены на первые десятки метров по простиранию и первые метры по мощности. Монациты отобраны из пород «Большой жилы», вскрытых поверхностной горной выработкой (расчисткой по ранней канаве). Тело «Большой жилы» сложено катаклазированным материалом, четко контактирующим с вмещающими кварцитопесчаниками, при этом фиксируется, что неизмененные серые кварцитопесчаники сменяются фенитизированными (микроклизированными кварцитопесчаниками), которые, в свою очередь, включают в себя тело жильной формы, сложенное интенсивно катаклазированными фенитизированными породами бежевого, бежево-красного цвета — калишпатизированными и ожелезненными кварцитопесчаниками, а также обломками собственно калиевого полевого шпата (рис. 2, а–с). И обломки, и межкатаклазное пространство насыщены рудными минералами, что указывает на неоднократность проявления процессов рудообразования, а также газонасыщенность, т. е. гетерогенность рудного флюида-раствора. Калиевый полевой шпат, наблюдающийся в обломках, слагающих жилу, по рентгеноструктурным данным является промежуточным микроклином с рассчитанной температурой кристаллизации 450–510 °С (Куликова и др., 2022).

Рудные минералы представлены монацитом, колумбитом. Порода сложена кварц-полевошпато-сланцевой (присутствует мусковит, флогопит, янжунингит) матрицей, в которой рассеяны многочисленные оксиды/гидроксиды железа, апатит и многочисленные фосфаты, окончательная диагностика которых не закончена, а также рудные минералы (монацит и колумбит). Содержание порообразующих редких, рассеянных и редкоземельных элементов в обробованных породах приведено в табл. 2.

Следует отметить, что в породе наблюдается очень большое количество различных фосфатов и гидрофосфатов: от Sr-фторапатита и монацита до серий гидрофосфатов железа (иногда в смеси с Al, Sr), а также смешанных Fe-Th- и Th-Ca-гидрофосфатов переменного состава. Отмечается сульфатная минерализация — ярозит, а также комплексные Fe-A-сульфофосфаты, зачастую также с торием. Встречены фазы Nb-Th-состава, мелкий циркон (детритовый). Наблюдается калиевая безалюминиевая и безводная высокофтористая

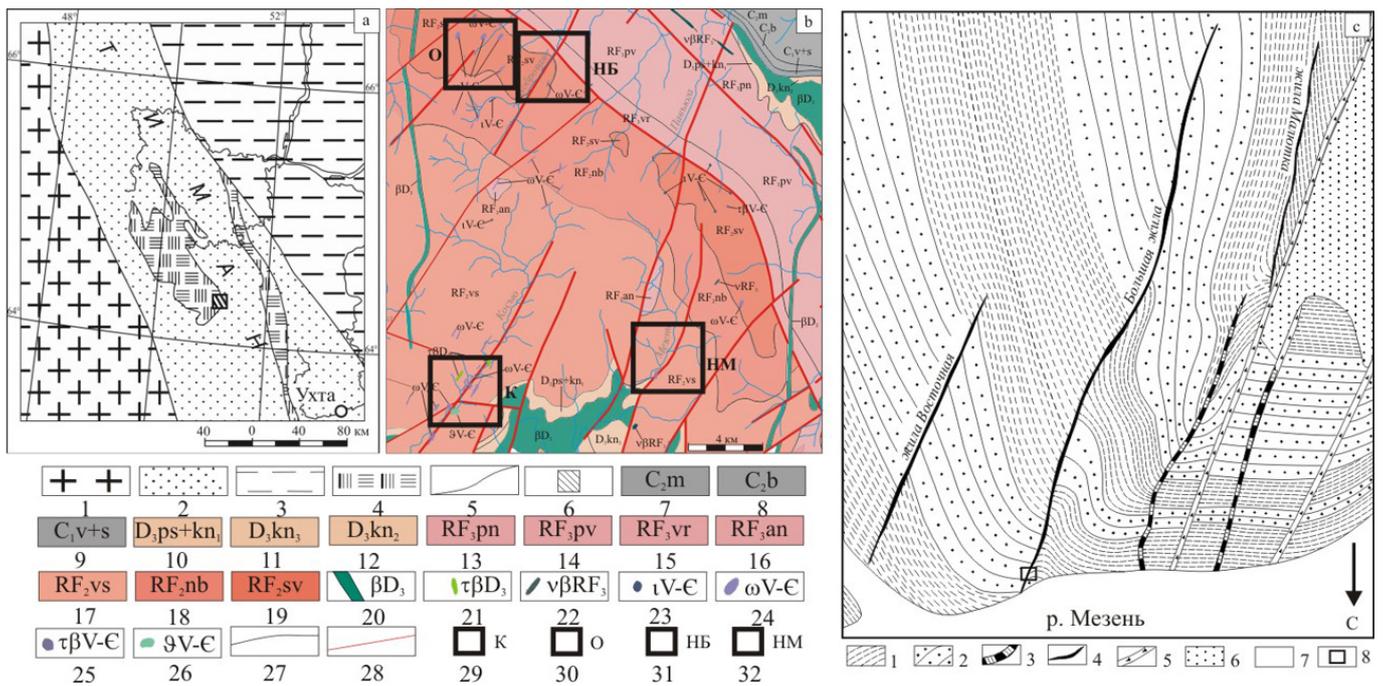


Рис. 1. Геологическая позиция района исследований на Среднем Тимане: **а** — схема тектонического строения Среднего Тимана: 1 — Восточно-Европейский кратон; 2 — Тиман; 3 — Ижемская зона; 4 — выходы на поверхность комплексов фундамента; 5 — границы зон; 6 — район развития опробованных пород визингской и светлинской свит; **б** — фрагмент геологической карты (м-б 1 : 200 000, Государственная..., 1993): 7, 8 — известняки; 9 — аргиллиты, глины, алевролиты, известняки, доломиты; 10 — песчаники, алевролиты, аргиллиты; 11 — песчаники, алевролиты, аргиллиты, глины; 12 — туфы, туффиты; 13 — *паунская свита*, сланцы, алевролиты, известняки, доломиты; 14 — *павьюгская свита*, доломиты, известняки, часто со строматолитами; 15 — *ворыквинская свита*, доломиты, известняки, сланцы, мергели, редко алевролиты и кварцитопесчаники; 16 — *аньюгская свита*, гравелиты, кварцитопесчаники, сланцы; 17 — *визингская свита*, кварцитопесчаники, сланцы, алевролиты, редко туффиты; 18 — *новобобровская свита*, сланцы, алевролиты; 19 — *светлинская свита*, кварцитопесчаники, алевролиты, сланцы, редко гравелиты. Комплексы: 20 — среднетиманский метадолеритовый, метадолериты, дайки; 21–24 — четлаский кимберлит-пикритовый: 21 — кимберлиты, кимберлитоподобные породы, трубки, дайки; 22 — пикриты, дайки; 23 — щелочные базальтоиды, дайки; 24 — карбонатиты, шток; 25, 26 — канино-тиманский долеритовый: 25 — базальты, долериты, покровы, силлы; 26 — трахибазальты, дайки, силлы; 27 — границы между разновозрастными образованиями; 28 — тектонические контакты. Рудные поля (29–32): 29 — Косьюское, 30 — Октябрьское, 31 — Новобобровское, 32 — Нижнемезенское; **с** — фрагмент схематической карты участка (Ивенсен, 1964): 1 — сланцы, 2 — кварциты, 3 — дайки лампрофиров, 4 — кварц-полевошпат-эгириновые жилы, 5 — зона брекчий, 6 — девонские отложения, 7 — аллювий, 8 — зачистка

Fig. 1. Geological position of the study area on the Middle Timan: **a** — scheme of the tectonic structure of the Middle Timan: 1 — East European craton; 2 — Timan; 3 — Izhma zone; 4 — exits to the surface of the basement complexes; 5 — boundaries of zones; 6 — the area of development of the tested rocks of the Vizing and Svetlinskaya suites. **b** — fragment of the geological map of the sampling area (scale 1 : 200 000, Gosudarstvennaya ..., 1993): 7, 8 — limestones; 9 — mudstones, clays, siltstones, limestones, dolomites; 10 — sandstones, siltstones, mudstones; 11 — sandstones, siltstones, mudstones, clays; 12 — tuffs, tuffites; 13 — *Paun Formation*, shales, siltstones, limestones, dolomites; 14 — *Pavyug Formation*, dolomites, limestones, often with stromatolites; 15 — *Vorykva Formation*, dolomites, limestones, shales, marls, rarely siltstones and quartzite sandstones; 16 — *Anyug Formation*, gravelstones, quartzite sandstones, shales; 17 — *Vizingskaya Formation*, quartzite sandstones, shales, siltstones, rarely tuffites; 18 — *Novobobrovskaya Formation*, shales, siltstones; 19 — *Svetlinskaya Formation*, quartzite sandstones, siltstones, shales, rarely gravelstones. Complex: 20 — Middle Timan metadolerite, metadolerites, dikes; 21–24, Chetlas kimberlite-picrite: 21 — kimberlites, kimberlite-like rocks, pipes, dikes; 22 — picrites, dikes; 23 — alkaline basaltoids, dikes; 24 — carbonatites, stock; 25, 26 — Kanino-Timansky dolerite: 25 — basalts, dolerites, covers, forces; 26 — trachybasalts, dikes, sills; 27 — boundaries between formations of different ages; 28 — tectonic contacts. Ore fields (29–32): 29 — Kosyusko, 30 — Oktyabrskoye, 31 — Novobobrovskoye, 32 — Lower Mezen; **c** — fragment of a schematic map of the site (Ivensen, 1964): 1 — shales, 2 — quartzites, 3 — lamprophyre dikes, 4 — quartz-feldspar-egirine veins, 5 — breccia zone, 6 — Devonian deposits, 7 — alluvium, 8 — clearing

Таблица 1. Результаты ЭЗРСА монацитов (обр. МZ1-1, КМ4) в мас. % для каждого элемента
Table 1. ESARS results for monazites (sample MZ1-1, KM4) in wt. % for each element

№	ЭДС / EDS										ВДС / WDS					Расчет / Estimate	
	Si	P	Ca	Fe	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Pb	Th	U	O	Сумма / Sum
MZ1-1																	
1	0.7 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	—	1.9 ± 0.6	13.6 ± 0.7	22.0 ± 0.9	1.4 ± 0.8	6.9 ± 0.8	2.3 ± 0.8	—	1.6 ± 0.7	0.25 ± 0.03	8.85 ± 0.16	0.04 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.20
2	0.7 ± 0.2	12.4 ± 0.3	0.3 ± 0.1	1.6 ± 0.3	2.2 ± 0.6	13.7 ± 0.7	20.8 ± 0.9	0.5 ± 0.7	6.2 ± 0.8	1.3 ± 0.8	—	1.0 ± 0.7	0.32 ± 0.03	11.31 ± 0.17	0.09 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.40
3	0.7 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.9 ± 0.6	12.6 ± 0.7	21.6 ± 0.9	1.9 ± 0.8	7.1 ± 0.8	1.2 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.33 ± 0.03	11.65 ± 0.18	0.08 ± 0.02	26.6 ± 1.0	99.40
4	0.6 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.7 ± 0.3	1.9 ± 0.6	13.3 ± 0.7	21.8 ± 0.9	1.7 ± 0.8	6.8 ± 0.8	1.2 ± 0.8	—	1.1 ± 0.7	0.29 ± 0.03	10.77 ± 0.17	0.07 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.50
5	0.6 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	1.2 ± 0.3	2.4 ± 0.6	12.8 ± 0.7	21.5 ± 0.9	1.5 ± 0.8	6.4 ± 0.8	1.4 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.30 ± 0.03	11.29 ± 0.18	0.08 ± 0.02	26.7 ± 1.0	99.90
6	0.7 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.3	2.2 ± 0.6	12.6 ± 0.7	21.1 ± 0.9	1.1 ± 0.8	5.8 ± 0.8	1.6 ± 0.8	—	1.7 ± 0.7	0.32 ± 0.03	12.30 ± 0.19	0.09 ± 0.02	26.6 ± 1.0	99.30
7	0.3 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	1.1 ± 0.3	1.8 ± 0.6	13.6 ± 0.7	21.6 ± 0.9	2.0 ± 0.8	7.0 ± 0.8	2.0 ± 0.8	—	1.4 ± 0.7	0.23 ± 0.03	9.17 ± 0.16	0.08 ± 0.02	26.6 ± 1.0	99.70
8	0.5 ± 0.2	12.7 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.0 ± 0.6	14.7 ± 0.8	23.3 ± 0.9	1.6 ± 0.8	7.3 ± 0.8	1.8 ± 0.8	1.1 ± 0.7	1.1 ± 0.7	0.17 ± 0.03	7.00 ± 0.14	0.03 ± 0.02	27.1 ± 1.0	100.00
9	0.5 ± 0.2	12.6 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.2 ± 0.6	14.2 ± 0.8	23.1 ± 0.9	2.3 ± 0.8	7.8 ± 0.8	1.4 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.20 ± 0.03	7.91 ± 0.15	0.05 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.90
10	0.5 ± 0.2	12.6 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	1.5 ± 0.6	13.9 ± 0.7	22.0 ± 0.9	1.6 ± 0.8	7.1 ± 0.8	2.4 ± 0.8	1.3 ± 0.7	1.4 ± 0.7	0.21 ± 0.03	7.68 ± 0.14	0.04 ± 0.02	26.9 ± 1.0	100.00
11	0.7 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.7 ± 0.3	2.0 ± 0.6	13.3 ± 0.7	21.7 ± 0.9	1.8 ± 0.8	7.0 ± 0.8	1.6 ± 0.8	—	1.1 ± 0.7	0.24 ± 0.03	9.24 ± 0.16	0.05 ± 0.02	27.2 ± 1.0	99.60
12	0.5 ± 0.2	12.8 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	2.0 ± 0.6	13.8 ± 0.7	22.1 ± 0.9	1.6 ± 0.8	7.5 ± 0.8	1.4 ± 0.8	—	1.4 ± 0.7	0.27 ± 0.03	8.41 ± 0.15	0.05 ± 0.02	27.1 ± 1.0	99.90
13	0.5 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.3	1.9 ± 0.6	13.4 ± 0.7	21.5 ± 0.9	1.5 ± 0.8	6.8 ± 0.8	2.0 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.28 ± 0.03	10.38 ± 0.17	0.09 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.50
14	0.5 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	2.0 ± 0.6	13.4 ± 0.7	21.8 ± 0.9	2.0 ± 0.8	6.7 ± 0.8	2.1 ± 0.8	—	1.1 ± 0.7	0.26 ± 0.03	9.72 ± 0.16	0.08 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.70
15	0.5 ± 0.2	12.7 ± 0.3	0.1 ± 0.1	0.8 ± 0.3	1.3 ± 0.6	14.9 ± 0.7	23.9 ± 0.9	1.4 ± 0.8	7.5 ± 0.8	1.2 ± 0.8	—	1.2 ± 0.7	0.17 ± 0.03	6.71 ± 0.13	0.05 ± 0.02	27.0 ± 1.0	99.60
KM4-2																	
1	0.2 ± 0.2	12.9 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.3	0.7 ± 0.6	12.3 ± 0.7	22.6 ± 0.9	2.5 ± 0.8	10.7 ± 0.8	3.3 ± 0.9	—	1.6 ± 0.8	0.09 ± 0.03	4.84 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.0 ± 1.0	99.60
2	0.2 ± 0.2	13.0 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.6	12.6 ± 0.7	23.6 ± 0.9	1.8 ± 0.8	9.8 ± 0.8	2.4 ± 0.9	1.0 ± 0.7	1.6 ± 0.8	0.11 ± 0.03	4.66 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.2 ± 1.0	100.00
3	0.2 ± 0.2	12.7 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.9 ± 0.6	12.1 ± 0.7	22.6 ± 0.9	1.8 ± 0.8	9.8 ± 0.8	2.9 ± 0.9	1.0 ± 0.7	2.0 ± 0.8	0.14 ± 0.03	6.20 ± 0.13	0.04 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.90
4	0.2 ± 0.2	13.0 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.7 ± 0.6	12.5 ± 0.7	22.9 ± 0.9	1.7 ± 0.8	11.1 ± 0.9	2.6 ± 0.9	—	1.7 ± 0.8	0.11 ± 0.03	5.33 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.1 ± 1.0	99.60
5	0.3 ± 0.2	12.8 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.7 ± 0.3	0.8 ± 0.6	11.8 ± 0.7	22.1 ± 0.9	1.5 ± 0.8	9.1 ± 0.8	3.7 ± 0.9	0.9 ± 0.7	2.5 ± 0.8	0.13 ± 0.03	6.01 ± 0.12	0.03 ± 0.02	27.0 ± 1.0	99.70
6	0.4 ± 0.2	12.9 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.2 ± 0.6	11.8 ± 0.7	22.4 ± 0.9	2.1 ± 0.8	10.5 ± 0.8	3.4 ± 0.9	0.8 ± 0.7	2.1 ± 0.8	0.12 ± 0.03	4.53 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.1 ± 1.0	99.70
7	0.2 ± 0.2	12.7 ± 0.3	1.0 ± 0.1	1.6 ± 0.3	—	11.3 ± 0.7	21.0 ± 0.9	2.1 ± 0.8	8.4 ± 0.8	2.0 ± 0.9	0.9 ± 0.7	1.5 ± 0.8	0.06 ± 0.03	9.63 ± 0.17	0.10 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.90
8	0.4 ± 0.2	11.6 ± 0.3	0.8 ± 0.1	2.7 ± 0.3	1.4 ± 0.6	10.1 ± 0.7	20.1 ± 0.9	1.7 ± 0.7	7.8 ± 0.8	2.6 ± 0.8	0.9 ± 0.7	1.9 ± 0.8	0.25 ± 0.03	10.45 ± 0.16	0.07 ± 0.02	26.2 ± 1.0	99.00
9	0.4 ± 0.2	12.6 ± 0.3	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.3	1.6 ± 0.6	8.2 ± 0.7	17.8 ± 0.9	2.4 ± 0.7	10.8 ± 0.8	3.8 ± 0.9	0.8 ± 0.7	2.8 ± 0.8	0.19 ± 0.03	9.91 ± 0.17	0.09 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.80
10	0.4 ± 0.2	12.3 ± 0.3	1.6 ± 0.1	1.8 ± 0.3	1.4 ± 0.6	6.6 ± 0.7	15.1 ± 0.9	1.9 ± 0.7	8.6 ± 0.8	3.7 ± 0.8	1.4 ± 0.7	2.7 ± 0.8	0.24 ± 0.03	14.87 ± 0.22	0.13 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.70
Эталонны / Standards																	
SiO ₂	CePO ₄	CaSiO ₄	Fe	SrF ₂	LaPO ₄	CePO ₄	PrPO ₄	NdPO ₄	SmPO ₄	EuPO ₄	GdPO ₄	PbTe	ThO ₂	UO ₂			

Примечание: Доверительный интервал рассчитан по 2σ-критерию. Кислород рассчитан по стехиометрии. «→» — ниже предела обнаружения.
Note: The confidence interval was calculated using the 2σ-criterion. Oxygen is calculated by stoichiometry. "→" — below the detection limit.

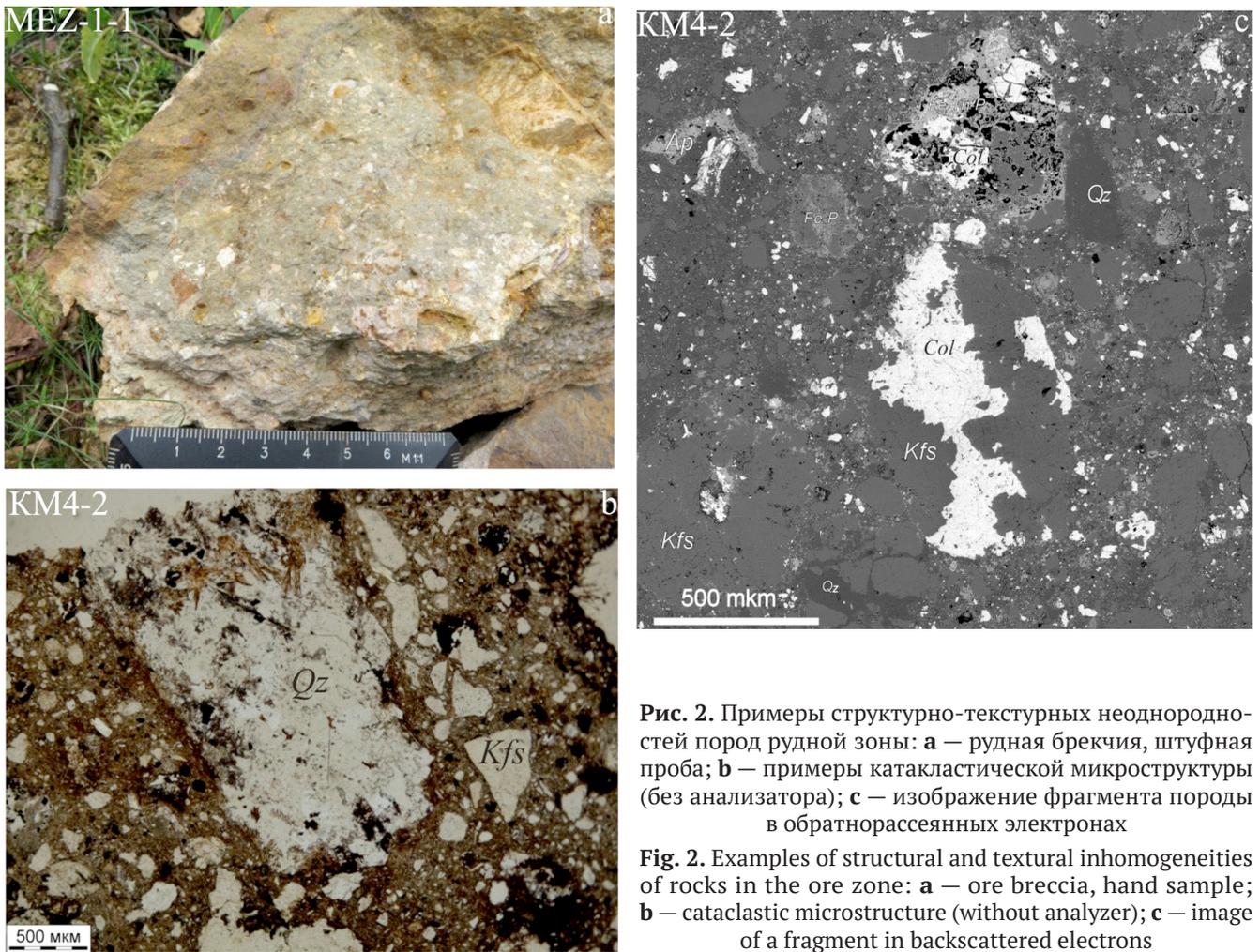


Рис. 2. Примеры структурно-текстурных неоднородностей пород рудной зоны: **а** — рудная брекчия, штучная проба; **б** — примеры катакlastической микроструктуры (без анализатора); **с** — изображение фрагмента породы в обратнорассеянных электронах

Fig. 2. Examples of structural and textural inhomogeneities of rocks in the ore zone: **a** — ore breccia, hand sample; **b** — cataclastic microstructure (without analyzer); **c** — image of a fragment in backscattered electrons

Таблица 2. Химический (мас. %) состав и содержание (г/т) редких, рассеянных и редкоземельных элементов в породах

Table 2. Chemical (wt. %) composition and content (g/t) of rare, trace and rare earth elements in rocks

Компоненты Components	SiO ₂	TiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	H ₂ O	CO ₂
MEZ1-1	63.88	0.28	12.25	3.64	1.81	0.05	0.51	0.20	0.63	11.20	0.61	3.59	0.74	< 0.1
KM4-2	66.68	1.23	9.37	4.26	1.66	0.36	0.96	0.58	0.43	7.26	0.84	2.26	0.60	< 0.1
Элементы Elements	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y
MEZ1-1	140	3.1	5.8	2.8	26	1.5	7.3	7.0	27	11	5.1	160	210	27
KM4-2	340	8.4	16	93	88	6.0	14	15	140	9.0	6.5	130	960	340
Элементы Elements	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
MEZ1-1	440	5300	0.36	2.5	9.3	0.67	820	54	90	9.8	38	18	8.4	24
KM4-2	720	19000	1.6	3.4	23	1.6	900	110	250	35	170	110	58	200
Элементы Elements	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U
MEZ1-1	3.5	13	1.6	3.7	0.49	3.5	0.58	10	0.56	17	63	0.55	2100	1.6
KM4-2	36	140	17	30	3.4	20	2.8	14	1.4	47	100	2.9	3300	13

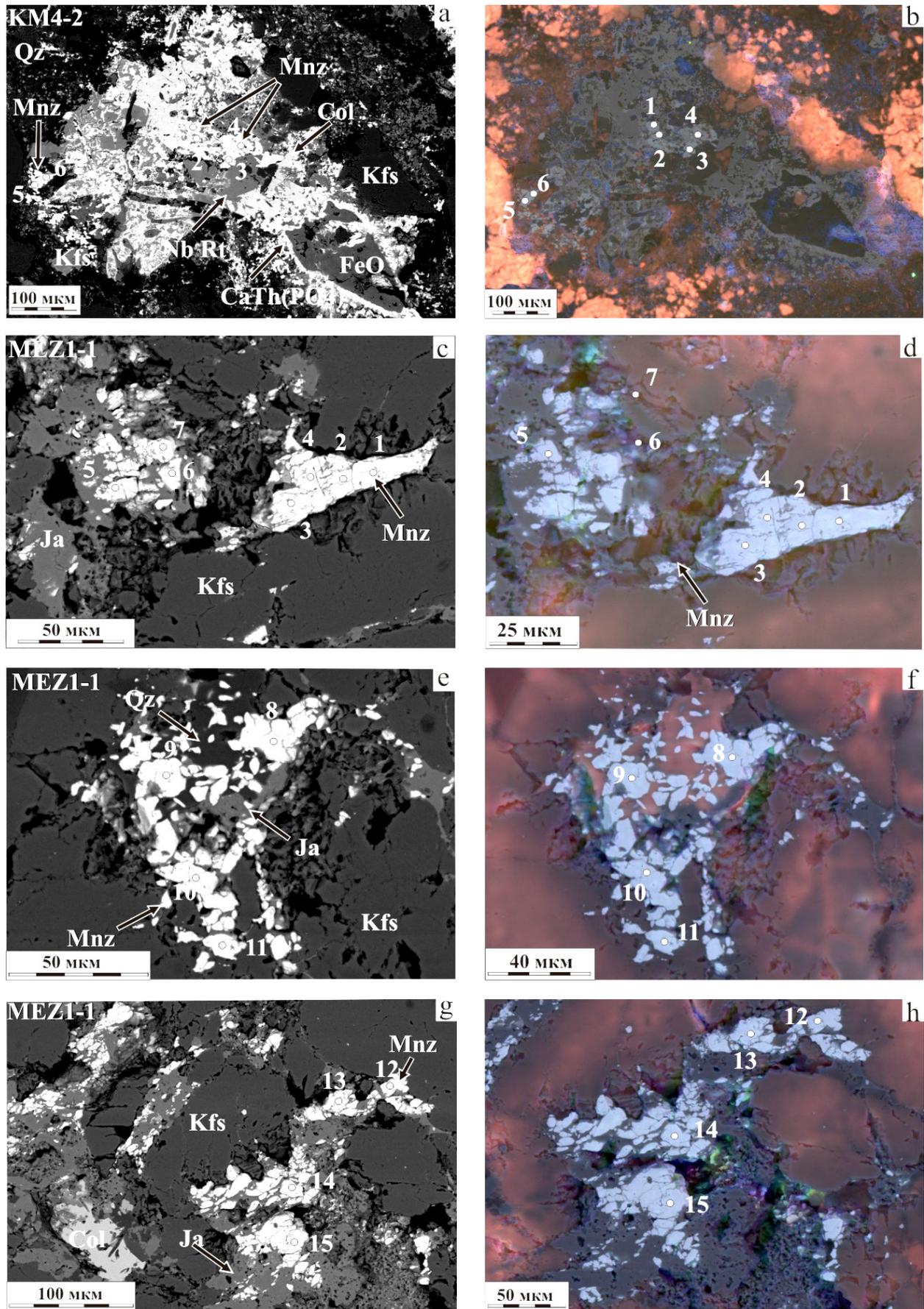


Рис. 3. Монацит рудных брекчий «Большая жила», шлифы. Номера точек соответствуют номерам в табл. 1.
a, c, e, g — изображения в обратнорассеянных электронах; b, d, f, h — катодолуминесцентные изображения
Fig. 3. Monazite of ore breccias Bolshaya zhila, polished sections. The point numbers correspond to the numbers in Table 1.
a, c, e, g — backscattered electron images; b, d, f, h — cathodoluminescent images

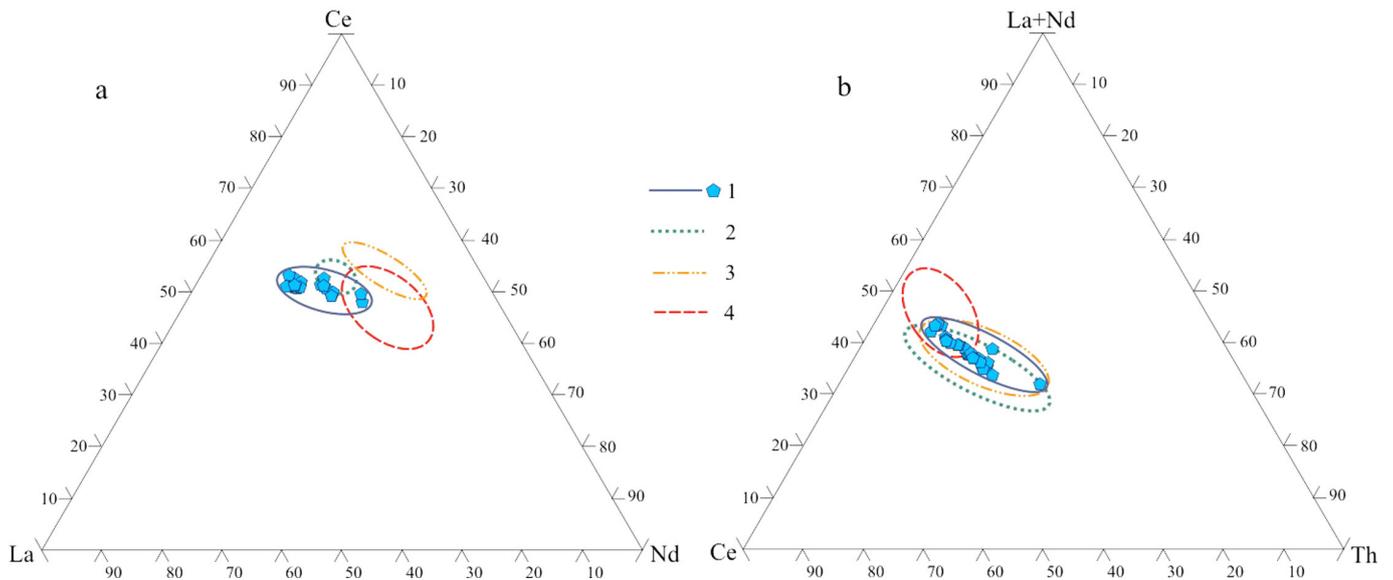


Рис. 4. Состав монацитов на диаграммах La-Ce-Nd (а) и Ce-(La+Nd)-Th (б). Для сопоставления химических составов монацитов показаны контуры составов монацитов из щелочных метасоматитов рудных полей Косьюского рудного узла. Условные обозначения, рудные поля: 1 — Нижнемезенское, 2 — Октябрьское, 3 — Новобобровское, 4 — Верхнешугорское

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

слюда янжумингит $\text{KMg}_{2.5}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, формирующая лейсты до 50 мкм (Удоратина и др., 2018). Поскольку подобная слюда была встречена ранее на Новобобровском проявлении, возможно, именно она является типоморфным минералом рудных щелочных метасоматитов.

Редкометалльные минералы представлены зональным колумбитом (Fe-колумбитом и Mn-колумбитом) 1 мкм ÷ 1 мм и высокониобиевым рутилом, вплоть до ильменорутила (до 17 мас. % Nb_2O_5) размерностью от микронных выделений до 50–60 мкм.

Редкоземельные минералы представлены монацитом. Монацит (рис. 3) образует мелкие (размером первые десятки мкм) агрегаты различной формы, удлиненные (изометричные на срезе) кристаллы, ассоциирующие с Fe-колумбитом, Nb-рутилом, F-апатитом, гидрофосфатами Fe, Al, Sr, Th, Ca. Как видно на снимках (рис. 3), все измеренные монациты развиваются в межкатаклазовом пространстве между обломками калиевого полевого шпата (микроклина) и являются наиболее поздними по формированию относительно, например, колумбита. В целом мы считаем, что процессы крайне близки во времени и вряд ли будут отличаться в рамках погрешности.

По своему химическому составу монацит цериевый ($\text{Ce}_2\text{O}_3 > \text{La}_2\text{O}_3$) содержит (мас. %): La_2O_3 — 7.6–17.4, Ce_2O_3 — 17.3–28, Nd_2O_3 — 7.5–12.5, ThO_2 — 5–14 (табл. 1, рис. 4). Неоднородность наблюдаемого химического состава монацитов в колебаниях содержаний La, Ce, Nd, Th никак не проявлена на снимках в обратноотраженных электронах и на катодолюминесцентных изображениях (рис. 3).

Наблюдаемые минералогические особенности отражены в химическом и геохимическом составе пород, фрагменты которых отобраны для Th-U-Pb датирования (табл. 2). Согласно этим данным, химический состав породы близок к составу калиевого по-

левого шпата, так как в основном сложен им, и в этих породах содержания рудных элементов ΣREE и Nb достигают высоких значений: тысячи (268.6–1182.2), десятков тысяч (5300–19000) г/т.

Значения измеренных точечных Th-U-Pb-возрастов монацитов лежат в интервале 697–406 млн лет, погрешность определения (2σ) порядка ± 100 млн лет (табл. 3, рис. 5). Средневзвешенная величина точечного Th-U-Pb-возраста монацитов составила (564 ± 27) млн лет. Возраст монацитов, полученный по изохроне $\text{ThO}_2^* - \text{PbO}$, равен (566 ± 127) млн лет.

Выводы

Исследуемые монациты по своему составу отличаются от монацитов других рудных полей Октябрьского, Новобобровского, Верхнешугорского. Относительно других в монацитах Нижнемезенского проявления более лантановый и менее ториевый состав. Полученные в результате электронно-зондового рентгеноспектрального Th-U-Pb-датирования данные имеют большую погрешность, чем при датировании обычными геохронологическими методами. Это связано с достаточно высокими ошибками определения низких содержаний урана и свинца в монацитах. Как видно из табл. 3, содержания урана близки к пределам обнаружения, соответственно, относительная ошибка определения урана составляла в среднем 20 %. Относительные ошибки определения свинца — 10 %, тория — 1.8 %. В совокупности все эти погрешности повлияли на ошибку определения возраста, которая составила 22 % относительных. Изохронный возраст монацита (566 ± 127) млн лет, установленный при Th-U-Pb-датировании, близок ко времени формирования четласского комплекса щелочных пикритов и карбонатитов (это уровень ~600 млн лет), с которыми, как предполагают исследователи, связан генетически

Таблица 3. Рассчитанный возраст и формулы монацитов (обр. MZ1-1, KM4)
Table 3. Calculated age and formulas of monazites (sample MZ1-1, KM4)

№ т.н.	ThO ₂ *	PbO	Возраст, млн лет Age, Ma	Формулы монацитов / Formulas of monazites
MZ1-1				
1	10.03	0.26	608.4±113	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,09} Sr _{0,05} Sm _{0,04} Pr _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,0004}) _{0,93} (P _{1,00} Si _{0,06} Al _{0,01}) _{1,07} O ₄
2	12.02	0.31	605.2±93	(Ce _{0,33} La _{0,22} Th _{0,11} Nd _{0,10} Fe _{0,07} Sr _{0,06} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Pr _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Si _{0,06}) _{1,06} O ₄
3	12.88	0.33	601.6±86	(Ce _{0,35} La _{0,21} Nd _{0,11} Th _{0,11} Sr _{0,05} Pr _{0,03} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,004} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Si _{0,06}) _{1,06} O ₄
4	11.81	0.30	596.4±95	(Ce _{0,35} La _{0,21} Nd _{0,11} Th _{0,10} Sr _{0,05} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,95} (P _{1,00} Si _{0,05} Al _{0,01}) _{1,05} O ₄
5	12.60	0.31	578±89	(Ce _{0,34} La _{0,21} Th _{0,11} Nd _{0,10} Sr _{0,06} Fe _{0,05} Pr _{0,02} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,95} (P _{1,00} Si _{0,05}) _{1,05} O ₄
6	13.72	0.34	582±81	(Ce _{0,34} La _{0,21} Th _{0,12} Nd _{0,09} Sr _{0,06} Fe _{0,02} Pr _{0,02} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,004} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Si _{0,06}) _{1,06} O ₄
7	10.60	0.25	554.4±109	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,09} Sr _{0,03} Fe _{0,04} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Mn _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,03}) _{1,04} O ₄
8	7.95	0.19	561.2±137	(Ce _{0,37} La _{0,24} Nd _{0,11} Th _{0,07} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Eu _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,0003}) _{0,95} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,04}) _{1,05} O ₄
9	9.18	0.21	538±129	(Ce _{0,37} La _{0,30} Nd _{0,12} Th _{0,08} Pr _{0,04} Sr _{0,03} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,001}) _{0,95} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,04}) _{1,05} O ₄
10	8.61	0.22	600±124	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,07} Sr _{0,04} Sm _{0,04} Pr _{0,03} Fe _{0,02} Eu _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,0004}) _{0,93} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,06}) _{1,07} O ₄
11	10.40	0.25	564.8±102	(Ce _{0,34} La _{0,21} Nd _{0,11} Th _{0,09} Sr _{0,05} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,91} (P _{1,00} Al _{0,03} Si _{0,06}) _{1,09} O ₄
12	9.40	0.28	697.21±118	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,12} Th _{0,08} Sr _{0,05} Pr _{0,03} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Si _{0,04}) _{1,04} O ₄
13	11.64	0.29	585.2±97	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,10} Sr _{0,05} Sm _{0,03} Fe _{0,02} Pr _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Al _{0,003} Si _{0,04}) _{1,043} O ₄
14	10.94	0.27	579.6±96	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,10} Th _{0,09} Sr _{0,05} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Fe _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Al _{0,003} Si _{0,04}) _{1,06} O ₄
15	7.41	0.18	570.4±148	(Ce _{0,38} La _{0,24} Nd _{0,12} Th _{0,06} Sr _{0,03} Fe _{0,03} Pr _{0,02} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Eu _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Si _{0,04}) _{1,04} O ₄
KM4-2				
1	5.57	0.10	423.8±194	(Ce _{0,36} La _{0,20} Nd _{0,17} Sm _{0,05} Th _{0,05} Pr _{0,04} Sr _{0,02} Fe _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Mn _{0,001} Pb _{0,001} U _{0,0003}) _{0,99} (P _{1,00} Si _{0,01}) _{1,01} O ₄
2	5.15	0.12	547.6±201	(Ce _{0,37} La _{0,20} Nd _{0,15} Sm _{0,04} Th _{0,04} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Sr _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,001} U _{0,0002}) _{0,98} (P _{1,00} Si _{0,02}) _{1,02} O ₄
3	7.13	0.15	494.8±145	(Ce _{0,36} La _{0,20} Nd _{0,15} Th _{0,06} Sm _{0,04} Pr _{0,03} Gd _{0,03} Ca _{0,02} Sr _{0,02} Fe _{0,02} Eu _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,0004}) _{0,98} (P _{1,00} Si _{0,02} Al _{0,004}) _{1,024} O ₄
4	6.00	0.12	470.4±191	(Ce _{0,36} La _{0,20} Nd _{0,17} Th _{0,05} Sm _{0,04} Pr _{0,03} Sr _{0,02} Fe _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Mn _{0,004} Pb _{0,001} U _{0,0003}) _{0,99} (P _{1,00} Si _{0,01} Al _{0,004}) _{1,01} O ₄
5	6.82	0.14	483.2±152	(Ce _{0,35} La _{0,19} Nd _{0,14} Th _{0,06} Sm _{0,06} Gd _{0,04} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Ca _{0,02} Sr _{0,02} Eu _{0,01} Mn _{0,006} Pb _{0,001} U _{0,0003}) _{0,97} (P _{1,00} Si _{0,02} Al _{0,001}) _{1,03} O ₄
6	5.25	0.13	581.2±212	(Ce _{0,36} La _{0,19} Nd _{0,16} Sm _{0,05} Th _{0,04} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Gd _{0,03} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} U _{0,002}) _{0,97} (P _{1,00} Si _{0,03}) _{1,03} O ₄
7	10.27	0.22	504.0±111	(Ce _{0,33} La _{0,18} Nd _{0,13} Th _{0,09} Fe _{0,06} Ca _{0,04} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Sr _{0,02} Gd _{0,02} Eu _{0,01} Pb _{0,001} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Si _{0,03} Al _{0,01}) _{1,04} O ₄
8	11.62	0.20	406.0±97	(Ce _{0,32} La _{0,16} Nd _{0,12} Fe _{0,11} Th _{0,10} Mn _{0,04} Sm _{0,04} Ca _{0,03} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Gd _{0,03} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,98} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,01}) _{1,02} O ₄

556±127 млн лет (Ma)

Примечание. ThO₂* — пересчитанный ThO₂ с учетом содержания урана.

Note. ThO₂* — ThO₂ recalculated taking into account the content of uranium.

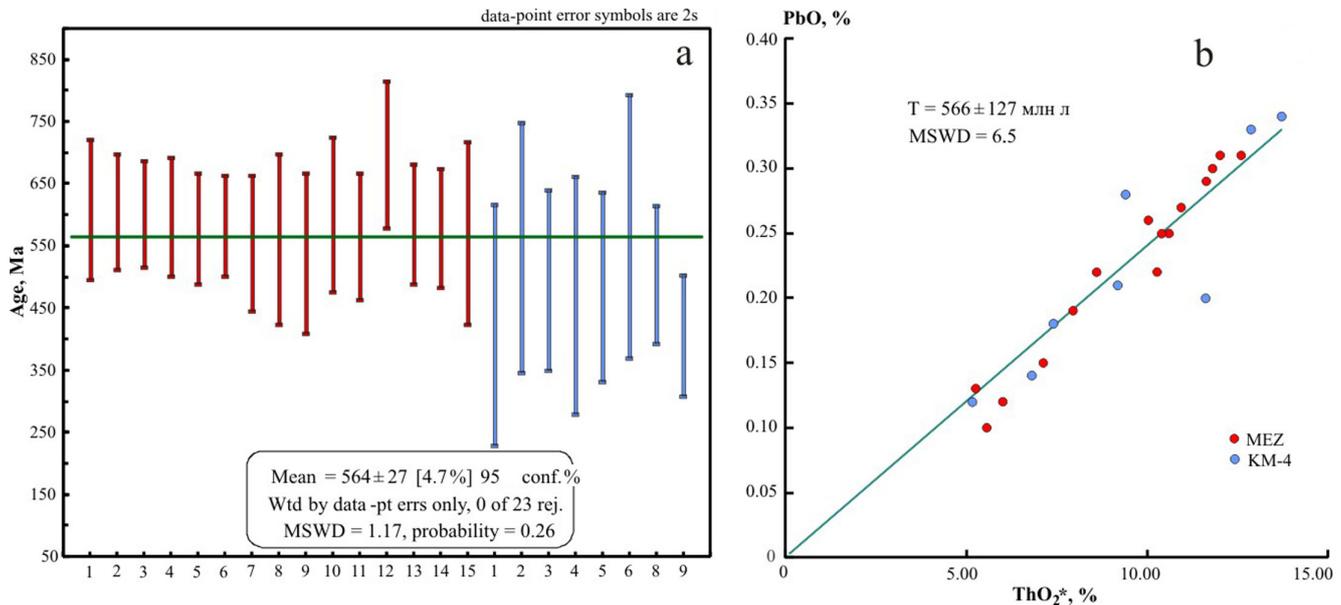


Рис. 5. Геохронологические данные по монацитам. Разброс значений точечных Th-U-Pb-возрастов и их средневзвешенная величина (a); ThO₂* – PbO изохронна (b)

Fig. 5. Geochronological data on monazites. Scatter of point Th-U-Pb-ages and their weighted average (a); ThO₂* – PbO isochronous (b)

(в рудных полях отсутствуют иные магматические тела). Формирование пород четласского магматического комплекса рассматривается как результат проявления плюмового импульса в позднем протерозое – раннем кембрии на окраине Восточно-Европейской платформы (Степаненко, 2022).

Литература / References

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).
 Andreichev V. L., Stepanenko V. I. *Vozrast karbonatitovogo kompleksa Srednego Timana* (Age of the carbonatite complex of the Middle Timan). Mineralization and magmatism of the North of the Urals and Timan. Syktyvkar, 1983, pp. 83–87. (Proc. Inst Geology, Komi Branch, USSR Academy of Sciences. Vol. 41).

Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1 : 200 000. Лист Q-39-XXXIII–XXXIV (Баракы – Бобровая) / В. М. Пачуковский, Х. О. Траат, Р. Я. Мищенко, Н. А. Довжиков. Л.: ВСЕГЕИ, 1993.
 State geological map of the Russian Federation scale 1 : 200 000. Sheet Q-39-XXXIII–XXXIV (Barracks – Bobrovaya). V. M. Pachukovsky, H. O. Traat, R. Ya. Mishchenko, N. A. Dovzhikov. Leningrad: VSEGEI, 1993.

Ивсен Ю. П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.-Л.: Наука, 1964. 126 с.
 Ivensen Y. P. *Magmatizm Timana i poluostrova Kanin* (Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula). Moscow-Leningrad: Science, 1964, 126 p.

Ковальчук Н. С., Шумилова Т. Г., Степаненко В. И. Редкоземельная минерализация в карбонатитах Косьюского массива (Средний Тиман) // ЗРМО. №. 3. 2013. С. 109–132.
 Kovalchuk N. S., Shumilova T. G., Stepanenko V. I. *Redkozemel'naya mineralizatsiya v karbonatitakh Kos'yuskogo*

massiva (Sredniy Timan) (Rare earth mineralization in carbonatites of the Kosyu massif (Middle Timan)). ZRMO, No. 3, 2013, pp. 109–132.

Куликова К. В., Удоратина О. В., Макеев Б. А., Шуйский А. С. Калиевый полевой шпат рудных щелочных метасоматитов (Средний Тиман) // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2022. № 2 (54). С. 41–46 (Науки о Земле). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-41-46
 Kulikova K. V., Udoratina O. V., Makeev B. A., Shuisky A. S. *Kalievyy polevoy shpat rudnykh chelochnykh metasomatitov (Sredniy Timan)* (Potassium feldspar of ore alkaline metasomatites (Middle Timan)). Proceedings of the Komi SC UB RAS. Earth Sciences Series, 2022, No. 2 (54), pp. 41–46. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-41-46

Степаненко В. И. Пространственные закономерности позднпротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона // Вестник геонаук. 2022. № 3. С. 16–24. DOI: 10.19110/geov.2022.3.2
 Stepanenko V. I. *Prostranstvennyye zakonomernosti pozdneproterozoysko-kembriyskikh endogennykh protsessov Kanino-Timano-Pechorskogo regiona* (Spatial patterns of Late Proterozoic-Cambrian endogenous processes in the Kanino-Timan-Pechora region). Vestnik of Geosciences, 2022, No. 3, pp. 16–24. DOI: 10.19110/geov.2022.3.2

Удоратина О. В., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2017. Вып. 5. С. 15–32.
 Udoratina O. V., Burtsev I. N., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. *Vozrast metapeschanikov verkhnedokembriyskoy chetlaskoy serii Srednego Timana na osnovanii U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov* (Age of metasandstones of the Upper Precambrian Chetlas Group of the Middle Timan based on U-Pb-dating of detrital zircons). Bul. MOIP, Dep. Geol, 2017, Issue 5, pp. 15–32.

Удоратина О. В., Варламов Д. А., Куликова К. В., Бурцев И. Н., Макеев Б. А. Рудные минералы Мезенского место-

- рождения (Средний Тиман): новые данные // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018): Материалы минер. семинара с межд. участием. Сыктывкар, 2018. С. 213—214.
- Udoratina O. V., Varlamov D. A., Kulikova K. V., Burtsev I. N., Makeyev B. A. *Rudnyye mineraly Mezenskoye mestorozhdeniye (Sredniy Timan)* (Ore minerals of Mezen deposit (Middle Timan): new data). Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin readings — 2018). Pro. miner. seminar with int. learn., Syktyvkar, 2018, pp. 213—214.
- Удоратина О. В., Вирюс 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. 2015. № 3. С. 23—29.
- Udoratina O. V., Viryus A. A., Kozyreva I. V., Shvetsova I. V., Kapitanova V. A. *Vozrast monatsitov zhil'noy serii chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan)* (Age of monazites from the vein series of the Chetlas complex (Middle Timan): Th-U-Pb data). Vestnik of the Institute of Geology, Komi SC UB RAS, No. 3, 2015, pp. 23—29.
- Удоратина О. В., Шмакова А. М., Травин А. В., Шуйский А. С. Ультраосновные породы рудных полей Среднего Тимана: петрогеохимические и геохронологические данные // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2023. № 2(60). С. 26—42. (Науки о Земле). <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2023-2-26-42>
- Udoratina O. V., Shmakova A. M., Travin A. V., Shuisky A. S. *Ul'traosnovnyye porody rudnykh poley Srednego Timana: petrogeokhimicheskiye i geokhronologicheskiye dannyye* (Ultramafic rocks of ore fields in the Middle Timan: petrogeochemical and geochronological data). Proceedings of the Komi SC UB RAS, Earth Sciences Series, No. 2(60), 2023, pp. 26—42. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2023-2-26-42>
- 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. DOI [10.17223-25421379-19-2](https://doi.org/10.17223-25421379-19-2)
- Udoratina O. V., Travin A. V., Burtsev I. N., Kulikova K. V. *Novobobrovskoye rudnoye pole (Chetlasskiy Kamen', Sredniy Timan): Ar-Ar-dannyye* (Novobobrovskoye ore field (Chetlassky Kamen, Middle Timan)). Geospheric research, 2021, No. 2, pp. 21—28. DOI [10.17223-25421379-19-2](https://doi.org/10.17223-25421379-19-2)
- 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. DOI [10.31241/FNS.2020.17.103](https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.103)
- Udoratina O. V., Travin A. V., Burtsev I. N., Kulikova K. V., Gubarev I. A. *Oktyabr'skoye rudnoye pole (Sredniy Timan): Ar-Ar-dannyye* (October ore field (Middle Timan): Ar-Ar data). Proceedings of the Fersman scientific session of GI KSC RAS, 2020, 17, pp. 534—538. DOI [10.31241/FNS.2020.17.103](https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.103)
- Ludwig K. R. User's manual for ISOPLOT/EX, version 2. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center: Spec. Publ. No. 1a. 1999. 120 p.
- Nedosekova I., Vladynkin 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-Ndisotope data // Minerals 2021. 11. 711. P. 1—41. DOI [10.3390/min11070711](https://doi.org/10.3390/min11070711)
- 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. vol. 38. Nagoya University, P. 11—38.

Поступила в редакцию / Received 07.02.2023