

УДК 550.93:234.853

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-3-277-283

## Полихронная (360–2940 млн лет) цирконология “рифейских” метабазальтов хребта Большой Миасс (Южный Урал)

А. А. Краснобаев<sup>1</sup>, В. Н. Пучков<sup>1</sup>, Н. Д. Сергеева<sup>2</sup>, С. В. Бушарина<sup>1</sup>, Н. Н. Фаррахова<sup>1</sup>, С. А. Дьякова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: atlantida21@mail.ru

<sup>2</sup>Институт геологии УФИЦ РАН, 450078, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

Поступила в редакцию 11.01.2022 г., принята к печати 15.02.2022 г.

**Объект исследования.** Вулканогенные образования навыйского комплекса айской свиты нижнего рифея Тараташского антиклинория на Южном Урале. **Результаты.** Получены U-Pb датировки цирконов из метабазальтов навыйского комплекса, отражающие их возрастную специфику. По изотопным параметрам цирконы пробы K2247 делятся на две группы. Первая объединяет древние кристаллы с возрастом  $T_1 = 2943 \pm 31$  и  $T_2 = 2713 \pm 49$  млн лет, вторая – существенно более молодые с возрастом кристаллов  $T_3 = 451.6 \pm 9.1$  и  $T_4 = 366.4 \pm 6.0$  млн лет, при этом рифейских цирконов в пробе K2247 не обнаружено. **Выводы.** Полученные датировки метабазальтов на западном склоне Урала среди рифейских толщ свидетельствуют о том, что палеозойский магматизм имел место не только на восточном склоне Урала, но и в определенной мере на западном и проявлялся неоднократно.

**Ключевые слова:** циркон, U-Pb метод, метабазальт, рифей, палеозой, изотопный возраст, Южный Урал

### Источник финансирования

Исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа (тема гос. задания FMRS-2022-0013) и Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург (тема гос. задания AAAA-A19-119072990020-6)

## Polychronous (360–2940 Ma) zirconology of the “Riphean” metabasalts of the Bolshoi Miass (Southern Urals)

Artur A. Krasnobayev<sup>1</sup>, Viktor N. Puchkov<sup>1</sup>, Nina D. Sergeeva<sup>2</sup>, Sof'ya V. Busharina<sup>1</sup>, Nadezhda N. Farrakhova<sup>1</sup>, Svetlana A. Dyakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia, e-mail: atlantida21@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Geology of the Ufimian Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 16/2 K Marx st., 450078 Ufa, Russia

Received 11.01.2022, accepted 15.02.2022

**Research subject.** Volcanogenic formations of the Navysh complex of the Ai Formation in the Taratash anticlinorium of the Southern Urals, which have been thought to be Lower Riphean. **Results.** The U-Pb dating of zircons from metabasalts of the Navysh complex were obtained, reflecting specific characteristics of their age. The isotope parameters of zircons of the K2247 sample divide them into two groups. The first group unites the ancient crystals aged  $T_1 = 2943 \pm 31$  and  $T_2 = 2713 \pm 49$  Ma, while crystals in the second group belongs to a much age –  $T_3 = 451.6 \pm 9.1$  and  $T_4 = 366.4 \pm 6.0$  Ma. No Riphean crystals were found in sample K2247. **Conclusions.** The dates obtained for the supposed Riphean complexes have shown that the Paleozoic magmatism took place not only in the eastern slope of the Urals, but also in the western slope. This process occurred several times.

**Keywords:** zircon, U-Pb method, metabasalt, Riphean, Paleozoic, isotopic age, Southern Urals

### Funding information

The work was performed within the state task of the Institute of Geology of the RAS Ufimian Federal Research Centre (FMRS-2022-0013) and the UBRAS Institute of Geology and Geochemistry (AAAA-A19-119072990020-6)

**Для цитирования:** Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.И., Фаррахова Н.Н., Дьякова С.А. (2022) Полихронная (360–2940 млн лет) цирконология “рифейских” метабазальтов хребта Большой Миасс (Южный Урал). *Литосфера*, 22(3), 277–283. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-277-283>

**For citation:** Krasnobayev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Farrakhova N.N., Dyakova S.A. (2022) Polychronous (360–2940 Ma) zirconology of the “Riphean” metabasalts of the Bolshoi Miass (Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, 22(3), 277–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-277-283>

© А.А. Краснобаев, В.Н. Пучков, Н.Д. Сергеева, С.И. Бушарина, Н.Н. Фаррахова, С.А. Дьякова, 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы полихронности цирконов навыйского комплекса айской свиты нижнего рифея в Тараташском антиклинории (Южный Урал) были рассмотрены ранее в наших работах (Краснобаев и др., 2018, 2020, 2021), где на основе датировок по цирконам из магматических пород в айской свите сделаны выводы о полихронности не только цирконов, но и вулканитов навыйского комплекса и о возрастной эволюции Урала как единой системы с глубокого докембрия и до верхнего палеозоя.

Впервые к выводам о полихронности не только вулканогенных пород, но и всего комплекса образований айской свиты привели К-Аг-датировки вулканитов в интервале 400–600 млн лет (Ленных, Петров, 1974). Свидетельством полихронности вулканитов навыйского комплекса айской свиты служат результаты петрографических, геохимических и изотопных исследований, которые позволили выделить в составе вулканитов две серии значительно различающихся магматитов (Хотылев, Тевелев, 2017; Ронкин, Лепехина, 2008). Вещественные особенности выделенных серий объясняются разными источниками магматических расплавов (Тевелев и др., 2014).

Новые данные, полученные в результате изотопно-геохронологического изучения цирконов из вулканогенных пород айской свиты (пр. К2247 с координатами 55°28'10" с. ш. и 059°38'23" в. д.), дополнили и уточнили выводы, сделанные нами ранее.

Проба К2247 отобрана на западном склоне хр. г. Бол. Миасс (высотная отметка 756.5 м) в поле распространения вулканогенно-осадочных пород навыйской подсвиты айской свиты (рис. 1), где metabазальты обнажены в невысоких (20–30 см) коренных выходах шириной 5–7 м. Непосредственные контакты metabазальтов с подстилающими и перекрывающими образованиями не наблюдались.

Цирконы пр. К2247 выделены из metabазальтового порфирида среднезернистого, зеленовато-серого, массивного, разбитого трещинами на грубые блоки и плиты. Metабазальтовый порфирит содержит вкрапленники пироксена и плагиоклаза, таблитчатые кристаллы последнего (размером 3 × 6 мм) хорошо видны на свежем сколе породы.

Составы петрогенных оксидов в массовых процентах и содержание редких элементов в граммах на тонну metabазальтового порфирида даны в табл. 1. Определение химического состава пород проведено в аналитической лаборатории Института геологии УФИЦ РАН (г. Уфа) и редких элементов – на масс-спектрометре Elan-6100 Perkin Elmer масс-спектральным методом и на спектрометре Optima-4300 DV Perkin Elmer атомно-эмиссионным методом в лаборато-

риях ФГУП “ВИМС” (Москва). На классификационной диаграмме TAS по составу и содержанию петрогенных компонентов порода попадает в поле щелочных базальтов.

Изотопное датирование цирконов U-Pb методом с помощью ионного микрозонда SHRIMP-II по известной методике (Williams, 1998) выполнено в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), результаты изотопных исследований приведены в табл. 2. Интерпретация изотопно-геохронологических материалов в статье представлена А.А. Краснобаевым и полностью отвечает его редакции.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

**Цирконы** пр. К2247 даже по внешним признакам (рис. 2) легко делятся на два типа. К первому (I) относятся мелкие округлые прозрачные, с розоватым оттенком кристаллы (2, 4, 6), ко второму (II) – крупные зерна, стеклянноподобные, с четким идиоморфизмом (1, 3), часто с крупными включениями, объединяющими твердые и флюидные фазы.

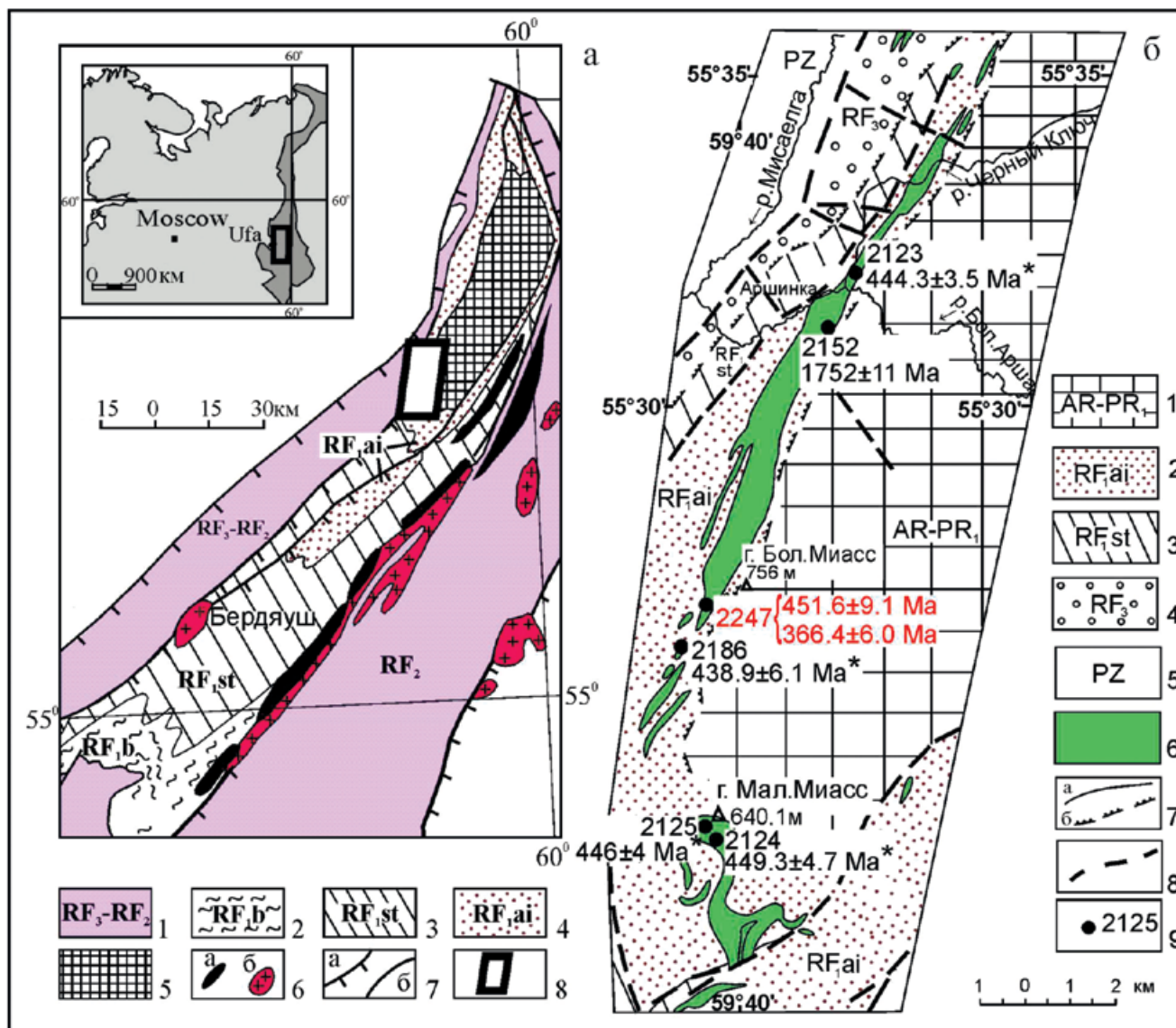
Представители I типа обладают крайне слабой CL или ее отсутствием, вероятно обусловленной метамиктностью (в связи с их древним возрастом). В проходящем свете они достаточно однородные, лишь иногда осложнены трещинами (кр. 2), порожденными тектоникой и растворением. Признаков абразии у цирконов I типа не обнаружено.

Кристаллы II типа характеризуются сложной эволюцией. Кристалл 1 обладает классической зональностью магматического типа с выделением и чередованием укрупненных слоевых зон. В нем сосуществуют, по крайней мере, четыре стадии образования, зафиксировавшие изменения состава среды кристаллизации.

Кристалл 3 представляет собой иной вариант II типа, выделяется крупными размерами (до 0.15 мм), повышенным удлинением, обилием твердо-жидких включений, иногда связанных с окружающей средой. При этом включения, расположенные параллельно удлинению, на растущих гранях играют роль минералов-уровней, где и были “усвоены” растущим кристаллом.

**U-Th-T.** Составы ранних генераций кристаллов подобны (рис. 3), что, возможно, объясняется их общим субстратом, лишь в различной степени переработанным.

У кристаллов I типа проявляется слабая тенденция возрастания содержания Th с одновременным снижением содержания U при переходе от древнейшего зерна к более молодому (6→4→2), а ранние генерации кристаллов II типа по распределению этих элементов практически совпадают (1.1, 3.1).



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Тараташского антиклинария Южного Урала (а) и фрагмент геологической карты района гор Бол. и Мал. Миасс (б) (Краснобаев и др., 2020, с изменениями и дополнениями).

а. 1–4 – отложения рифея: 1 – среднего и верхнего нерасчлененные, 2–4 – нижнего (2 – бакальской, 3 – саткинской, 4 – айской свит); 5 – тараташский метаморфический комплекс (AR–PR<sub>1</sub>); 6 – магматические породы: а – габбро, б – граниты; 7 – границы: а – тектонические, б – стратиграфические; 8 – положение фрагмента геологической карты “б”.

б. 1 – тараташский метаморфический комплекс (AR–PR<sub>1</sub>); 2–5 – отложения: 2 – айской, 3 – саткинской свит нижнего рифея, 4 – верхнего рифея, 5 – палеозоя; 6 – вулканогенные породы; 7, 8 – границы: 7 – стратиграфические согласные (а) и несогласные (б), 8 – тектонические; 9 – места отбора цирконовых проб и их номера.

Возрастные датировки, обозначенные звездочкой, приведены по (Краснобаев и др., 2020).

**Fig. 1.** Schematic geological map of the Taratash anticlinorium of the Southern Urals (а) and a fragment of the geological map of the Bol. and Mal. Miass (б) (Krasnobaev et al., 2020, with changes and additions).

а. 1–4 – Riphean sediments: 1 – Middle and Upper undivided; 2–4 – Lower (2 – Bakal, 3 – Satka, 4 – Ai Formations); 5 – Taratash metamorphic complex (AR–PR<sub>1</sub>); 6 – igneous rocks: а – gabbro, б – granites; 7 – boundaries: а – tectonic, б – stratigraphic; 8 – position of a fragment of a geological map “б”.

б. 1 – Taratash metamorphic complex (AR–PR<sub>1</sub>); 2–5 – deposits: 2 – Ai, 3 – Satka Formations of the Lower Riphean, 4 – Upper Riphean, 5 – Paleozoic; 6 – volcanic rocks; 7, 8 – boundaries: 7 – stratigraphic conform (а), unconform (б); 8 – tectonic; 9 – places of sampling for zircons and their numbers.

Age dates, marked with asterisks, are given according to (Krasnobaev et al., 2020).

**Таблица 1.** Результат химического анализа метабазальта (пр. K2247) навышского комплекса, гора Бол. Миасс**Table 1.** The result of the chemical analysis of metabasalt (sample K2247) of the Navysh complex, mount Bol. Miass

Компо- нент	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	П.п.п.
	47.0	0.99	14.00	4.46	7.69	8.00	0.02	8.60	3.75	2.70	0.01	2.72
Li	Be	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge
22.542	0.251	50.229	5882.9	335.512	149.51	1633.37	52.275	76.22	96.184	61.713	15.87	1.603
Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	La
101.86	18.221	36.411	1.432	0.112	0.118	0.132	0.767	0.304	H.o.	0.212	331.127	3.319
Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
1.143	5.749	1.891	0.765	2.69	0.452	3.116	0.684	2.133	0.306	2.038	0.303	1.084

Примечание. Химический состав петрогенных оксидов приведен в вес. %, содержание редких элементов – в г/т. Н.о. – не определялось.

Note. Chemical composition of petrogenic oxides are given in wt%, contents of rare elements – in ppm. H.o. – not defined.

**Таблица 2.** U-Pb возраст цирконов из метабазальтов (пр. K2247)**Table 2.** U-Pb age of zircons from metabasalts (sample K2247)

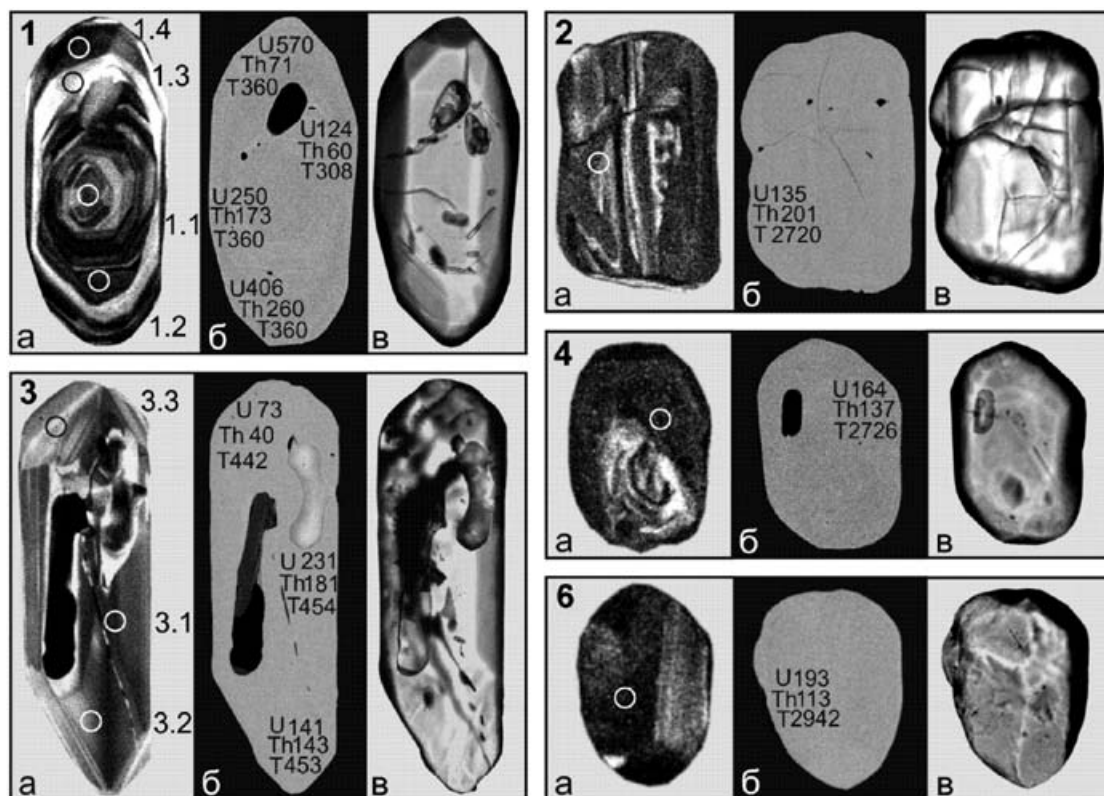
Проба	% <sup>206</sup> Pb <sub>c</sub>	U, г/т	Th, г/т	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb*, г/т	(1) <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Age	(1) <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Age	D %	(1) <sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb*	± %	(1) <sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*	± %	(1) <sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	± %	(1) <sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	± %	Rh <sub>o</sub>
K2247-1.4	0.11	570	71	0.13	28.1	359.8 ±5.6	349 ±41	-3	17.42	1.6	0.05347	1.8	0.423	2.4	0.0574	1.6	0.658
K2247-1.1	0.15	250	173	0.71	12.6	366.3 ±6	344 ±66	-6	17.1	1.7	0.0534	2.8	0.43	3.3	0.05847	1.7	0.510
K2247-1.3	0.22	124	60	0.50	6.27	367.7 ±6.7	322 ±94	-12	17.04	1.9	0.0528	4.1	0.428	4.5	0.0587	1.9	0.410
K2247-1.2	0.11	406	260	0.66	20.6	369.6 ±5.9	308 ±50	-17	16.95	1.6	0.0525	2.2	0.427	2.7	0.05901	1.6	0.601
K2247-3.2	0.21	73	40	0.57	4.44	442.6 ±8.7	443 ±100	0	14.07	2	0.0558	4.6	0.546	5	0.0711	2	0.405
K2247-3.1	0.15	141	143	1.05	8.85	453.3 ±7.8	438 ±72	-3	13.73	1.8	0.0556	3.3	0.559	3.7	0.0728	1.8	0.480
K2247-3.3	0.00	231	181	0.81	14.5	454.7 ±7.3	435 ±50	-4	13.68	1.7	0.0556	2.3	0.56	2.8	0.0731	1.7	0.593
K2247-2.1	0.05	135	201	1.55	60.7	2720 ±36	2708 ±11	0	1.905	1.6	0.1861	0.66	13.47	1.8	0.5248	1.6	0.926
K2247-4.1	0.03	164	137	0.86	74.3	2726 ±36	2795 ±11	3	1.9	1.6	0.1962	0.69	14.24	1.8	0.5264	1.6	0.919
K2247-6.1	0.09	193	113	0.61	95.8	2942 ±38	2943.7 ±8.7	0	1.729	1.6	0.215	0.54	17.14	1.7	0.5782	1.6	0.947

Примечание. Погрешность ±1σ, Pb<sub>c</sub> и Pb\* – общий и радиогенный Pb. Погрешность калибровки стандарта – 0.42%. (1) – коррекция по <sup>204</sup>Pb. D – дискордантность. Rh<sub>o</sub> – коэффициент корреляции.

Note. Error ±1σ, Pb<sub>c</sub> and Pb\* – are common and radiogenic Pb. Error of standard gauge is 0.42%. (1) – correction on <sup>204</sup>Pb. D – discordance. Rh<sub>o</sub> – correlation coefficient.

При этом механизмы их эволюции (3.1–3.2–3.3 и 1.1–1.2–1.3–1.4) качественно разнятся, что обусловлено условиями их кристаллизации. Для кристалла 3 характерен типичный вариант эволюции с уменьшением содержания U и Th в процессе роста и кристаллизационной дифференциации

расплава. Развитие кристалла 1 уже более сплошное и включает в себя инверсию состава (1.2–1.3, 1.3–1.4). Весьма показательно, что сложные и продолжительные процессы эволюции не повлияли на возраст ранних генераций кристаллов, что может быть связано со снижением температуры расплава.



**Рис. 2.** Микроморфология цирконов из метабазальтов (пр. K2247).

Цифры – номера кристаллов, кратеров, содержание U и Th, г/г. Т – возраст (по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ). а – CL (катодолуминесценция), б – BSE (обратнорассеянные электроны), в – оптика, проходящий свет.

**Fig. 2.** Micromorphology of zircons from metabasalts (sample K2247).

Numbers – numbers of crystals, craters, content of U and Th (ppm). T – age (by  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ). a – CL (cathodoluminescence), б – BSE (backscattered electron), в – optics, transmitted light.

Расположение датировок в координатах U–Т не только отражает реальные взаимоотношения между зернами, но и образует характерные для них возрастные уровни.

**Возраст.** Цирконы по изотопным параметрам также делятся на две группы (рис. 4). Первая снова объединяет древние кристаллы 2, 4 и 6, вторая – более молодые – 1, 3. Самым древним с возрастом  $T_1 = 2943 \pm 31$  млн лет является кристалл 6, а с учетом его высокой сохранности (нулевой дискордантности) он с большой вероятностью отражает возраст своего образования. Подобная ситуация и с кристаллом 2 с  $T_2 = 2713 \pm 49$  млн лет.

Группа II представлена кристаллами 1 и 3. На рис. 4а они расположены вблизи начала координат и для наглядности показаны в других координатах (см. рис. 4б). Здесь они четко обособляются друг от друга и уверенно датируются, поскольку характеризуются несколькими анализами каждый.

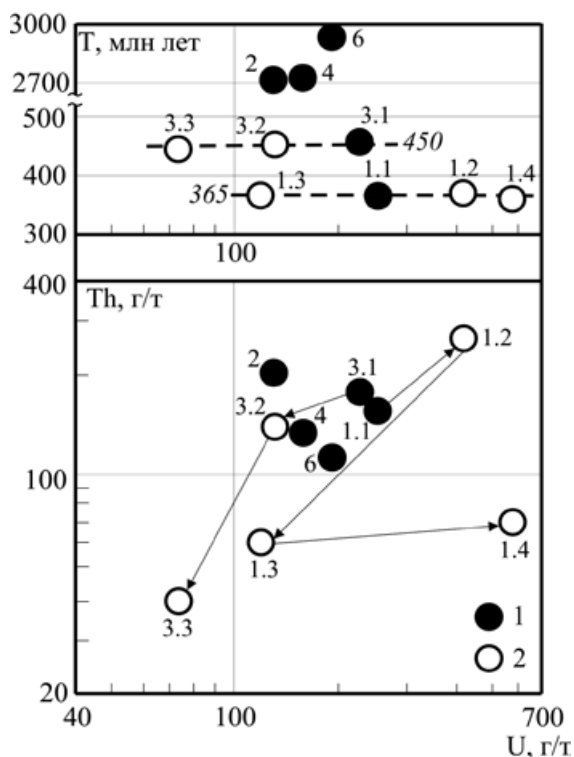
Возраст кристалла 3  $T_3 = 451.6 \pm 9.1$  млн лет, кристалла 1 –  $T_4 = 366.4 \pm 6.0$  млн лет, т. е. их от-

меченная возрастная специфика (см. рис. 2) уверенно проявилась и при учете других изотопных соотношений.

Последовательность возрастных характеристик цирконов –  $T_1 = 2943 \pm 31$ ,  $T_2 = 2713 \pm 49$ ,  $T_3 = 451.6 \pm 9.1$  и  $T_4 = 366.4 \pm 6.0$  млн лет – фрагментарно отражает отдельные моменты геологической истории западного склона Урала. При этом собственно рифейских цирконов в метабазальтах пр. K2247 не обнаружено.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Датировки метабазальтов хр. Бол. Миасс, расположенного среди нижнерифейских толщ, практически соответствуют некоторым известным на западном склоне Урала событиям и комплексам (тараташскому субстрату, ордовикскому вулканизму, верхнедевонскому плюму). Однако они оказались вообще лишены рифейских магматических пород, что может быть объяснено,



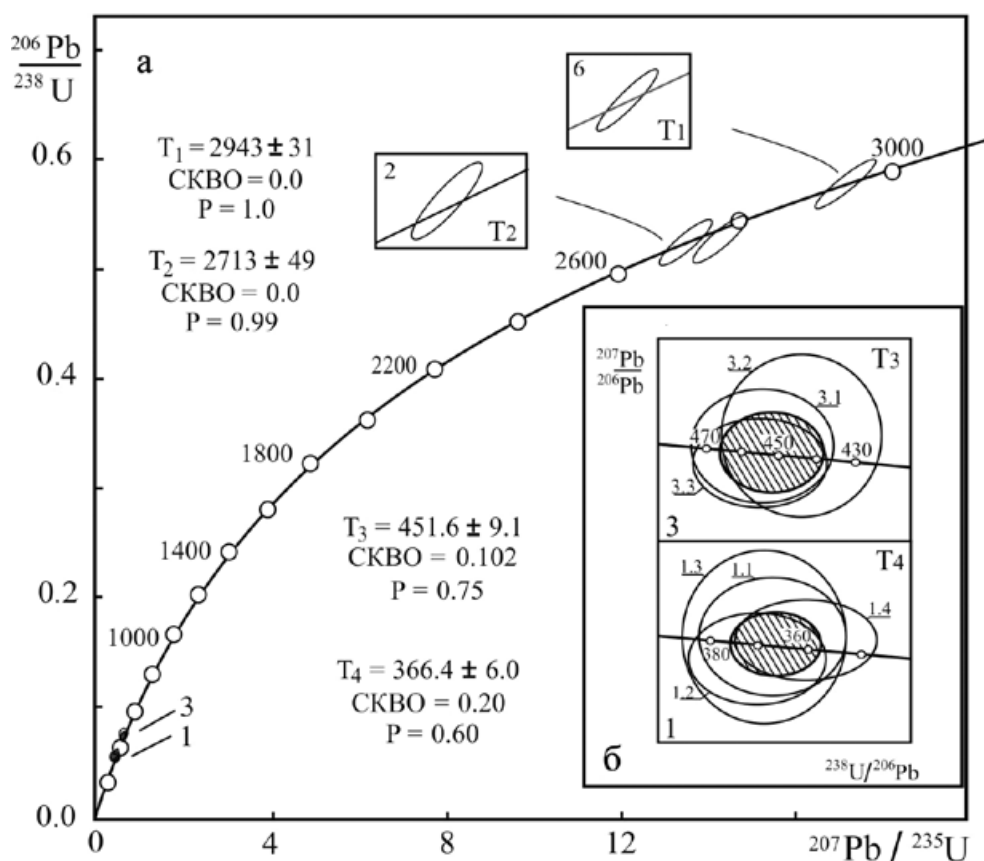
**Рис. 3.** Взаимоотношения U, Th (г/г) и T (млн лет), по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  в цирконах метабазальтов (пр. K2247).

Ранние 1, поздние 2 генерации соединены стрелками.

**Fig. 3.** Relationships of U, Th (ppm) and T (Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ) in metabasalt zircons (sample K2247).

Early 1, late 2 generations, connected by arrows.

в частности, сложной надвиговой тектоникой и плохой обнаженностью. Ситуация с отсутствием цирконов с рифейскими датировками в пр. K2247 может быть связана с последовательным (от нижнего докембрия до верхнего палеозоя) проявлением вулканогенных процессов в регионе, которые происходили на одних и тех же участках, перекрывая вулканогенные образования предшествующих извержений. Вероятно, на современной поверхности выравнивания породы ранних извержений вскрыты эрозией фрагментарно. Для объяснения причин сосуществования полихронных вулканитов в навышском комплексе нижнего ри-



**Рис. 4.** U-Pb возраст цирконов из метабазальтов (K2247).

a —  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  —  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ , б —  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  —  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ .

**Fig. 4.** U-Pb age of metabasalts zircons (s. K2247).

a —  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  —  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ , б —  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  —  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ .

фея, а такая ситуация отмечена нами и для вулканогенных пород в среднем (машакский комплекс) и завершающем (игонинский метабазальтовый комплекс) рифее, необходимы дальнейшие исследования и магматических комплексов, и геодинамических условий их образования и преобразования на площади распространения отложений рифея. Для осадочных отложений, включающих в себя разновозрастные вулканогенные породы, пока нет данных об их рифейском или палеозойском возрасте. Однако в более северном участке западного края Тараташского поднятия (район р. Ушат) доказано присутствие терригенных и вулканогенных отложений айской свиты (Краснобаев и др., 2020; Романюк и др., 2019).

Полученные датировки на западном склоне Урала среди рифейских толщ показывают широкие масштабы развития палеозойских процессов не только в пределах центральной зоны Урала, где они являются созидающими, но и на его западном склоне, где они развиты в незначительном объеме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018) Полихронная цирконология навыйшских вулканитов айской свиты (Южный Урал). *Докл. АН*, **478**(1), 74–80.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2020) Полихронные цирконы вулканитов Навыйшского комплекса айской свиты нижнего рифея (Южный Урал). *Георесурсы*, **22**(4), 101–112. DOI: 10.18599/grs.2020.4.101-112
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2021) Цирконы пермского возраста (280–290 млн лет) из интрузивных магматических пород в рифейских толщах Южного Урала. *Литосфера*, **21**(5), 601–608. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-5-601-608
- Ленных В.И., Петров В.И. (1974) О калиевых щелочных базальтоидах в обрамлении тараташского комплекса. *Вулканизм Южного Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 146–164.
- Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Паверман В.И., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. (2019) Локальный источник обломочного материала для пород айской свиты (основание разреза стратотипа нижнего рифея, Башкирское поднятие, Южный Урал) по результатам U/Pb-датирования (LA-ICP-MS) детритовых цирконов. *Докл. АН*, **484**(1), 77–82.
- Ронкин Ю.Л., Лепехина О.П. (2008) Новые U-Pb SHRIMP II данные о возрасте вулканитов айской свиты бурзянской серии Башкирского мегаантиклинория и проблема возраста нижней границы рифея. *Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли*. Мат-лы V Всерос. литол. совещ. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 203–207.
- Тевелев Ал.В., Кошелева И.А., Хотылев А.О. Тевелев Арк.В., Прудников И.А. (2014) Особенности строения и эволюции Айского вулканического рифейского комплекса (Южный Урал). *Вестн. Московского ун-та. Сер. Геол.*, **4**(5), 19–28.
- Хотылев А.О., Тевелев Ал.В. Геохимические особенности вулканитов раннерифейского Навыйшского комплекса (Южный Урал) (2017) *Вестн. Московского ун-та. Сер. Геол.*, **4**(6), 28–34.
- Williams I.S. (1998) U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe. *Applications in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Rev. Econ. Geol.*, (7), 1–35.

#### REFERENCES

- Khotylev A.O., Tevelev Al.V. (2017) Geochemical characteristics of the Navysh volcanic complex (Southern Ural). *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 4 Geol.*, (6), 28–34. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2018) Polychronous zirconology of the Ai Formation Navysh volcanics (Southern Urals). *Dokl. AN*, **478**(1), 74–80. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2020) Polychronous zircons of the volcanic rocks of the Ai Formation Navysh complex Lower Riphean (South Urals). *Georesursy*, **22**(4), 101–112. (In Russ.) DOI: 10.18599/grs.2020.4.101-112
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2021) Permian zircons (280–290 Ma) from intrusive igneous rocks in the Riphean strata of the Southern Urals. *Lithosphere (Russia)*, **21**(5), 601–608. (In Russ.) DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-5-601-608
- Lennykh V.I., Petrov V.I. (1974). On the potassium alkaline basaltoids in the frame of the Taratash complex. *Volcanism of the South Urals*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 146–164. (In Russ.)
- Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Powerman V.I., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N. (2019) Local source of clastic material for rocks of the Ai Formation (base of the Lower Riphean stratotype section, Bashkirian Uplift, Southern Urals) based on the results of U/Pb dating (LA-ICP-MS) of detrital zircons. *Dokl. AN*, **484**(1), 77–82. (In Russ.)
- Ronkin Ju.L., Lepikhina O.P. (2008) Novye U-Pb SHRIMP II data about age of volcanic rocks of the Ai Formation Burziyan sere in Bashkir meganticlonoium and age problem of Riphean lower border. *Types of sedimentogenesis and lithogenesis and their evolution in the history of the Earth: Materials V All-Russian Lithol. Conf.* Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 203–207. (In Russ.)
- Tevelev Al.V., Kosheleva I.A., Khotylev A.O. Tevelev Ark.V., Prudnikov I.A. (2014) Specific of construction and evolution of Ai Riphean volcanic complex (Southern Urals) *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 4 Geol.*, (5), 19–28. (In Russ.)
- Williams I.S. (1998) U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe. *Applications in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Rev. Econ. Geol.*, (7), 1–35.