

УДК 550.93:234.853

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-5-601-608

Цирконы пермского возраста (280–290 млн лет) из интрузивных магматических пород в рифейских толщах Южного Урала

А. А. Краснобаев¹, В. Н. Пучков¹, Н. Д. Сергеева², С. В. Бушарина¹

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: puchkv2@mail.ru

²Институт геологии УФИЦ РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, e-mail: riphey@ufaras.ru

Поступила в редакцию 29.03.2021 г., принята к печати 30.04.2021 г.

Объект исследования. Магматические образования, развитые в полосе распространения нижней (вулканогенно-осадочной) части айской свиты нижнего рифея Тараташской антиклинали на Южном Урале. **Результаты.** Впервые получена нижнепермская SHRIMP-датировка (288.6 ± 3.1 млн лет U-Pb методом по циркону из монцогаббро) для дайки, рвущей базальты нижнепалеозойского (420–450 млн лет) возраста. **Выводы.** На восточном склоне Урала находится цепочка близких по возрасту массивов нижнепермского Степнинского монцогаббро-граносиенит-гранитного комплекса, включающего в себя Уйскую, Вандышевскую, Бирюковскую и Степнинскую интрузии возрастом 281 ± 2 , 280 ± 2 и 286 ± 2 млн лет соответственно (U-Pb методом по циркону, SHRIMP-II, VSEGEI), а также полученные ранее датировки 281 ± 4 млн лет (изохронный Rb-Sr метод) и 283 ± 2 млн лет (изотопный Pb-Pb метод по циркону). Степнинский комплекс описан ранее как плюмзависимый. Рассмотренная в статье дайка монцогаббро, несмотря на некоторую удаленность от Степнинского комплекса, находится на простирании цепочки степнинских интрузий, близка к ним по составу, возрасту и может быть отнесена к тому же плюмовому событию. Предположение о плюмовом характере комплекса высказывалось нами уже давно, исходя из наложенного характера цепочки интрузий по отношению к более ранним, коллизионным уральским структурам. По геохимическим особенностям (монцогаббро) дайка укладывается в один из двух главных эталонных трендов степнинского комплекса – монцонитовый (монцогаббро, монцодиориты, сиениты).

Ключевые слова: циркон, U-Pb метод, монцогаббро, базальт, рифей, пермский возраст, Южный Урал

Источник финансирования

Исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (тема гос. задания № 0246-2019-0087) и Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург (тема гос. задания АААА-А18-118052590032-6)

Zircons of the Permian age (280–290 Ma) from intrusive magmatic rocks in Riphean structure of the Southern Urals

Artur A. Krasnobaev¹, Viktor N. Puchkov¹, Nina D. Sergeeva², Sofia V. Busharina¹

¹A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia, e-mail: puchkv2@mail.ru

²Institute of Geology UFRS RAS, 16/2 K. Marx st., Ufa 450077, Russia, e-mail: riphey@ufaras.ru

Received 29.03.2021, accepted 30.04.2021

Research subject. Magmatic complexes that are developed in the lower (volcanogenic-sedimentary) part of the Ai Formation of the Lower Riphean of the Taratash anticline in the Southern Urals. **Results.** For the first time, the Lower Permian SHRIMP dating (288.6 ± 3.1 Ma by U-Pb method on zircon from monzogabbro) was obtained for a dike cutting the basalts of the Lower Paleozoic (420–450 Ma) age. **Conclusions.** On the eastern slope of the Urals there is a chain of massifs which are close in the age. The chain belongs to the Lower Permian Stepninskiy monzogabbro-granosyenite-granite complex, represented by the Uiski, Vandyshevski, Biryukovski and Stepninski intrusions with the age of 281 ± 2 , 280 ± 2 and 286 ± 2 Ma, correspondingly (U-Pb method after zircons, SHRIMP-II, VSEGEI) and earlier obtained dates 281 ± 4 Ma (Rb-Sr isochrone) and 283 ± 2 Ma (isotope Pb-Pb method after zircons). The Stepninski complex was described earlier as plume-dependent. The monzogabbro dike, described in this paper, although being at a considerable distance from the

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-5-601-608>

For citation: Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2021) Zircons of the Permian age (280–290 Ma) from intrusive magmatic rocks in Riphean structure of the Southern Urals. *Lithosphere (Russia)*, **21**(5), 601–608. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-5-601-608>

© А.А. Краснобаев, В.Н. Пучков, Н.Д. Сергеева, С.В. Бушарина, 2021

Stepninsky complex, is situated at a strike of the chain of the stepninsky intrusions, is close to them by the composition and age and can be ascribed to the same plume episode. The idea of the plume character of the complex was expressed by us relatively long ago based on a superimposed character of the chain of the intrusions over the earlier, collisional Uralian structures. As for the geochemical character (monzogabbro) the dike conforms with one of two standard trends of the Stepninsky complex – monzonite (monzogabbro, monzodiorites, syenites).

Keywords: zircon, U-Pb method, monzogabbro, basalt, Riphean, Permian age, Southern Urals

Funding information

The studies were carried out in accordance with the plans of research work of the Institute of Geology of the Ufa Federal Research Center of the RAS (subject of state assignment No. 0246-2019-0087) and the Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg (subject of the state assignment AAAA-A18-118052590032-6)

ВВЕДЕНИЕ

В разрезе по р. Ушат на западном крыле Тараташской антиклинали на Южном Урале (рис. 1) впервые получена нижнепермская датировка (288.6 ± 3.1 млн лет) U-Pb методом по циркону (SHRIMP-II) из дайки монцогаббро, прорывающей базальты нижнепалеозойского (420–450 млн лет (Краснобаев и др., 2018)) возраста, расположенные в полосе развития нижней (вулканогенно-осадочной) части айской свиты нижнего рифея, вулканы которой имеют датировку 1752 млн лет по циркону (U-Pb метод, SHRIMP-II (Краснобаев и др., 2013)).

Цирконы (пр. K2286 с координатами $55^{\circ}43'49.5''$ с.ш. и $059^{\circ}49'99.6''$ в.д.) выделены из темно-серого с зеленоватым оттенком монцогаббро офитовой структуры, по тонким трещинкам в котором развит ортоклаз. Порода сильно изменена: беспорядочно расположенные кристаллы плагиоклаза (65–70%) практически полностью замещены хлоритом, кварцем, пелитом, карбонатом, а пироксен (25–30%) – микрозернистым эпидотом. По составу и содержанию петрогенных компонентов (табл. 1) на классификационной диаграмме TAS порода отвечает монцогаббро.

Изотопные анализы цирконов (табл. 2) и их датирование U-Pb методом с помощью ионного микрозонда SHRIMP-II по известной методике (Williams, 1998) выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

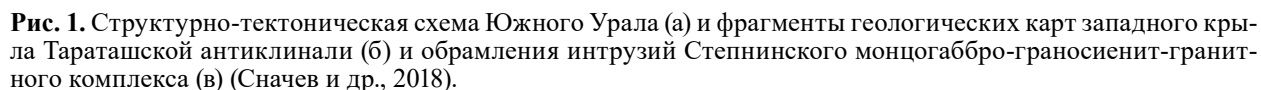
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цирконы. Отчетливый идиоморфизм кристаллов нарушен влиянием тектоники и растворения, в результате чего незначительно изменен их облик (рис. 2, кр. 1, 4, 5). Разномасштабная магматического типа зональность цирконов указывает на переменные условия кристаллизации. Об этом свидетельствует и сосуществование зон, как лишенных чередующихся слоев (кр. 1.1, 2.1), так и с наличием зональных участков переменной толщины (мощности) (кр. 1, 4, 6). Зоны могут и сохранять устойчивость состава, и меняться за счет примеси (CL).

Поскольку чередование светлых-темных зон существенно меняется, а темные чаще соответствуют ранним генерациям (кр. 1.1, 2.1), распространено в кристаллах и инверсионное распределение U и Th в пределах основных параметров корреляционного взаимоотношения. Крупные твердые включения в кр. 5 относятся к первичным, поскольку оказывают влияние на дальнейшее развитие зональности. Поздние процессы (дробление и растворение) иногда срезают первичную зональность.

U-Th. Пример прямой корреляционной взаимозависимости U и Th в цирконах (рис. 3) характеризует их магматическую природу. Варианты соотношения этих элементов отражают сложные условия кристаллизации расплава. Представителями простой взаимосвязи U и Th в ранних-поздних генерациях в объеме единичных зерен являются кристаллы 1 и 2 (отрицательная взаимосвязь) и кристалл 4 (положительная). Кристаллы с одноактной инверсией поведения U и Th с переходом через промежуточную зону иллюстрируются кристаллом 5 (с минимальным содержанием) и кристаллом 6 (с максимальным). Указанные варианты эволюции состава цирконов отражают основные свойства расплава, состав которого, хотя и меняется ускоренным (по данным геохронологии) темпом, но не выходит за пределы его усредненного состава. Посторонних источников, влияющих на состав расплава, не обнаружено.

Возраст (рис. 4). В табл. 2 представлены все основные данные о возрасте цирконов монцогаббро. Содержания U и Th достаточно высокие, изотопные анализы – удивительно однотипные (кроме кр. 3.1). В координатах 6/8–7/5 заметно некоторое смещение анализов ниже конкордии, что отражает открытие изотопных систем, близкое к возрасту и образованию (автометаморфизм). Наиболее корректные данные при этом получаются при использовании координаты 7/6–238/206, что и демонстрируется на рис. 4. Для 14 кристаллов возраст T_1 уверенно определяется равным 287.4 ± 2.6 млн лет. Если учитывать только кристаллы с минимальными нарушениями (10), то наиболее корректная датировка T цирконов монцогаббро составит 288.6 ± 3.1 млн лет, что относится к самому монцогаббро.



а. Границы структурно-тектонических подразделений: 1 – первого порядка; 2 – второго порядка; 3 – главнейшие разломы: 1 – Зильмердакский, 2 – Зюраткульский, 3 – Главный Уральский, 4 – Миасский; 4 – районы исследования, обозначенные цифрами в кружках (1 – западное крыло Тараташской антиклинали; 2 – район Степнинского монцогаббро-граносиенит-гранитного комплекса). Структурно-тектонические подразделения: I – Восточно-Европейская платформа; II – Предуральский краевой прогиб; III – Уральская складчатая система: III₁ – Западно-Уральская мегазона внешней складчатости, III₂ – Центрально-Уральская мегазона (поднятия), III₃ – Магнитогорская мегазона (мегасинклиний), III₄ – Восточно-Уральская мегазона (поднятия).

б. 1 – архей-раннепротерозойские образования тараташского комплекса, 2–4 – отложения нижнего рифея: 2, 3 – айской свиты (2 – навыйшская и 3 – чудинская подсвиты) и 4 – саткинской свиты; 5 – нерасчлененные отложения верхнего рифея; 6 – отложения фанерозоя; 7 – дайка монцогаббро; 8 – вулканогенные породы; 9 – стратиграфические контакты: а – согласные, б – несогласные; 10 – тектонические контакты; 11 – место отбора пробы на циркон и ее номер.

в. Стратиграфические подразделения: 1–3 – карбона (толщи: 1 – биргильдинская, 2 – сосновская, 3 – березиновская); 4–9 – девона (толщи: 4 – арсинская, 5 – краснокаменная, 6 – копаловская, 7 – аджатаровская, 8 – сукхтелинская, 9 – карагайская); 10 – булатовская толща девона и силура; 11 – шеметовская толща ордовика; 12 – еремкинская толща протерозоя. Магматические комплексы: 13 – петропавловский габбро-диорит-гранодиоритовый; 14 – ахуново-карагайский лейкогранитовый; 15 – джабыкско-санарский гранитный; 16–19 – степнинский: 16 – монцогаббро первой фазы, 17 – монцодиориты первой фазы, 18 – кварцевые монцодиориты и сиенито-диориты второй фазы, 19 – граниты третьей фазы; 20 – куликовский гипербазитовый; 21 – цифры в белых кружках, массивы: 1 – Уйский, 2 – Вандышевский, 3 – Бирюковский, 4 – Степнинский.

Fig. 1. Structural-tectonic diagram of the Southern Urals (a) and fragments of geological maps of the western wing of the Taratash anticline (б) and framing of intrusions of the Stepninsky monzogabbro-granosyenite-granite complex (в) (Snachev et al., 2018).

а. The boundaries of the structural-tectonic subdivisions: 1 – first order; 2 – second order; 3 – main faults: 1 – Zilmerdak, 2 – Zyuratkul, 3 – Main Uralian, 4 – Miassky; 4 – study areas, indicated by numbers in circles (1 – western wing of the Taratash anticline; 2 – the area of the Stepninsky monzogabbro-granosyenite-granite complex). Structural-tectonic subdivisions: I – East European platform; II – Preuralian foredeep; III – Uralian folded system: III₁ – West Uralian megazone of marginal folding, III₂ – Central Uralian megazone (uplift), III₃ – Magnitogorsk megazone (megasyntorium), III₄ – East Uralian megazone (uplift).

б. 1 – Archean-Early Proterozoic formations of the Taratash complex, 2–4 – deposits of the Lower Riphean: 2, 3 – Ai Formation (2 – Navysh and 3 – Chudinskaya subformations) and 4 – Satka Formation; 5 – undivided sediments of the Upper Riphean; 6 – Phanerozoic deposits; 7 – monzogabbro dike; 8 – volcanic rocks; 9 – stratigraphic contacts: a – conform, б – unconform; 10 – tectonic contacts; 11 – place of sampling for zircon, its number and age.

в. Stratigraphic subdivisions. 1–3 – Carboniferous (strata: 1 – Birgildinskaya, 2 – Sosnovskaya, 3 – Berezinovskaya); 4–9 – Devonian (strata: 4 – Arsinskaya, 5 – Krasnokamenskaya, 6 – Kopalovskaya, 7 – Adzhatarovskaya, 8 – Sukhtelinskaya, 9 – Karagai); 10 – Bulatovskaya strata of the Devonian and Silurian; 11 – Ordovician Shemetovskaya strata; 12 – Yermenskaya strata of the Proterozoic. Magmatic complexes: 13 – Petropavlovsk gabbro-diorite-granodiorite; 14 – Akhunovo-Karagai leukogranite; 15 – Dzhabysk-Sanar granite; 16–19 – Stepninski: 16 – monzogabbro of the first phase, 17 – monzodiorite of the first phase, 18 – quartz monzodiorite and syenite-diorite of the second phase, 19 – granite of the third phase; 20 – Kulikovskiy ultramafic; 21 – numbers in white circles, massifs: 1 – Uiski, 2 – Vandyshevskiy, 3 – Biryukovskiy, 4 – Stepninski.

Возраст кристалла 3.1 (453 ± 8 млн лет по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, см. табл. 2) свидетельствует об участии ордовикских магматических процессов в формировании основной вулканогенной зоны Урала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палеозойские датировки для магматических пород, распространенных на западном склоне Урала среди рифейских толщ, указывают на возрастную эволюцию Урала как единой системы с глубокого докембрия (более 2500 млн лет) до верхнего палеозоя (280–290 млн лет). Связующим для Западного и Восточного склонов Урала являлся интервал 450–420 млн лет, с которого Урал уже выглядел как консолидированная единая горная система, в которой на Восточном склоне “усвоены” все более ранние блоки (фрагменты) различной природы, а на Западном развивалась активность вулканитов близкого возраста, нарушавших принятую последовательность в системе нижнего, среднего и верхнего рифея. Так, в полосе развития вулканитов рифейского возраста оказались палеозойские вулканогенные и интрузивные образования, что свидетельствует о существовании одних и тех же каналов поступления магматического расплава в период от докембрия до верхнего палеозоя.

Полученная нижнепермская датировка (288.6 ± 3.1 млн лет, U-Pb метод) по циркону из монцогаббро в разрезе р. Ушат на западном склоне Южного Урала и формирование на восточном склоне нижнепермского Степнинского монцогаббро-граносиенит-гранитного комплекса, включающего в себя Уйскую, Вандышевскую, Бирюковскую и Степнинскую интрузии возрастом 281 ± 2 , 280 ± 2 и 286 ± 2 млн лет соответственно (U-Pb метод по циркону, SHRIMP-II, ВСЕГЕИ (Пучков, 2018)), а также полученные ранее датировки 281 ± 4 млн лет (изохронный Rb-Sr метод) и 283 ± 2 млн лет (изотопный Pb-Pb методом по циркону) (Сначев и др., 2018; Веа, 2005) свидетельствуют о завершении эволюции магматизма в виде эпизода, последовавшего за окончанием коллизионного этапа формирования уралид, во всех, восточных и западных, зо-

Таблица 1. Химический состав породы дайки пермского возраста на р. Ушат (Южный Урал), мас. %
Table 1. Chemical composition Of the Permian dike rock on the Ushat River (Southern Urals), wt %

№ п. л.	Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Сумма
1	K2286	47.00	4.60	16.50	2.90	8.26	0.19	2.84	6.80	2.24	1.88	0.77	5.51	99.69
2	K2286-1	46.00	2.70	14.40	5.40	8.36	0.19	2.80	9.00	2.90	2.50	1.05	4.14	99.44

Примечание. Определение химического состава пород проведено в аналитической лаборатории Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа.

Note. Determination of the chemical composition of rocks was carried out in the analytical laboratory of the Institute of Geology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the RAS; s. Ufa

Таблица 2. U-Pb возраст цирконов монцгоббро K2286
Table 2. U-Pb age of monzogabbro zircons K2286

Проба	% ²⁰⁶ Pb _c	г/г U	г/г Th	²³² Th/ ²³⁸ U	г/г ²⁰⁶ Pb*	(¹) ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U Age	Total ²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±%	Total ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±%	(¹) ²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb*	±%	(¹) ²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	(¹) ²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	(¹) ²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±%	Ошибка- исправ- ление
K2286-1.1	0.20	382	472	1.28	14.5	278.2 ±4.5	22.63	1.6	0.0529	2.3	22.68	1.6	0.0513	2.9	0.312	3.3	0.0441	1.6	0.495
K2286-6.2	0.30	745	758	1.05	28.6	280.8 ±4.3	22.39	1.6	0.05583	1.6	22.46	1.6	0.0534	2.3	0.3279	2.8	0.04452	1.6	0.556
K2286-5.2	0.00	84	85	1.05	3.21	281.8 ±5.9	22.38	2.1	0.0504	5.2	22.38	2.1	0.0504	5.2	0.31	5.7	0.04469	2.1	0.379
K2286-4.2	0.30	147	130	0.91	5.69	283 ±5.3	22.21	1.9	0.051	3.9	22.28	1.9	0.0485	5	0.3	5.4	0.04488	1.9	0.352
K2286-2.2	0.24	527	495	0.97	20.4	283.8 ±4.4	22.16	1.6	0.0517	2	22.22	1.6	0.0498	2.6	0.3092	3.1	0.04501	1.6	0.522
K2286-6.1	2.62	80	60	0.78	3.22	288.1 ±6.7	21.3	2.1	0.0869	4	21.88	2.4	0.0662	13	0.417	13	0.0457	2.4	0.177
K2286-1.2	0.18	262	211	0.83	10.3	288.3 ±4.8	21.83	1.7	0.0532	2.8	21.86	1.7	0.0518	3.2	0.327	3.6	0.04574	1.7	0.473
K2286-2.3	0.35	121	67	0.57	4.79	289.3 ±5.6	21.71	2	0.0532	4.2	21.79	2	0.0503	5.5	0.318	5.8	0.0459	2	0.337
K2286-5.3	0.00	457	647	1.46	18.1	290.5 ±4.6	21.69	1.6	0.0536	2.2	21.69	1.6	0.0536	2.2	0.3404	2.7	0.0461	1.6	0.598
K2286-2.1	0.12	828	1025	1.28	33	292.4 ±4.5	21.53	1.6	0.05346	1.6	21.55	1.6	0.05254	1.8	0.3361	2.4	0.0464	1.6	0.665
K2286-5.1	0.38	463	1173	2.62	18.5	292.9 ±4.6	21.43	1.6	0.0511	2.2	21.52	1.6	0.048	3.3	0.308	3.7	0.04648	1.6	0.437
K2286-4.1	3.09	149	152	1.05	6.17	294.4 ±5.7	20.74	1.8	0.1003	2.7	21.4	2	0.0762	8.4	0.491	8.6	0.04673	2	0.232
K2286-4.3	0.32	451	360	0.82	18.2	294.7 ±4.8	21.31	1.7	0.0517	2.9	21.38	1.7	0.0491	3.7	0.317	4.1	0.04678	1.7	0.415
K2286-6.3	0.00	216	124	0.59	8.74	296.2 ±5.1	21.27	1.8	0.0655	4.7	21.27	1.8	0.0655	4.7	0.425	5	0.04702	1.8	0.350
K2286-3.1	0.18	128	87	0.70	8.03	453 ±8	13.71	1.8	0.0582	3.1	13.74	1.8	0.0568	3.5	0.57	3.9	0.0728	1.8	0.466

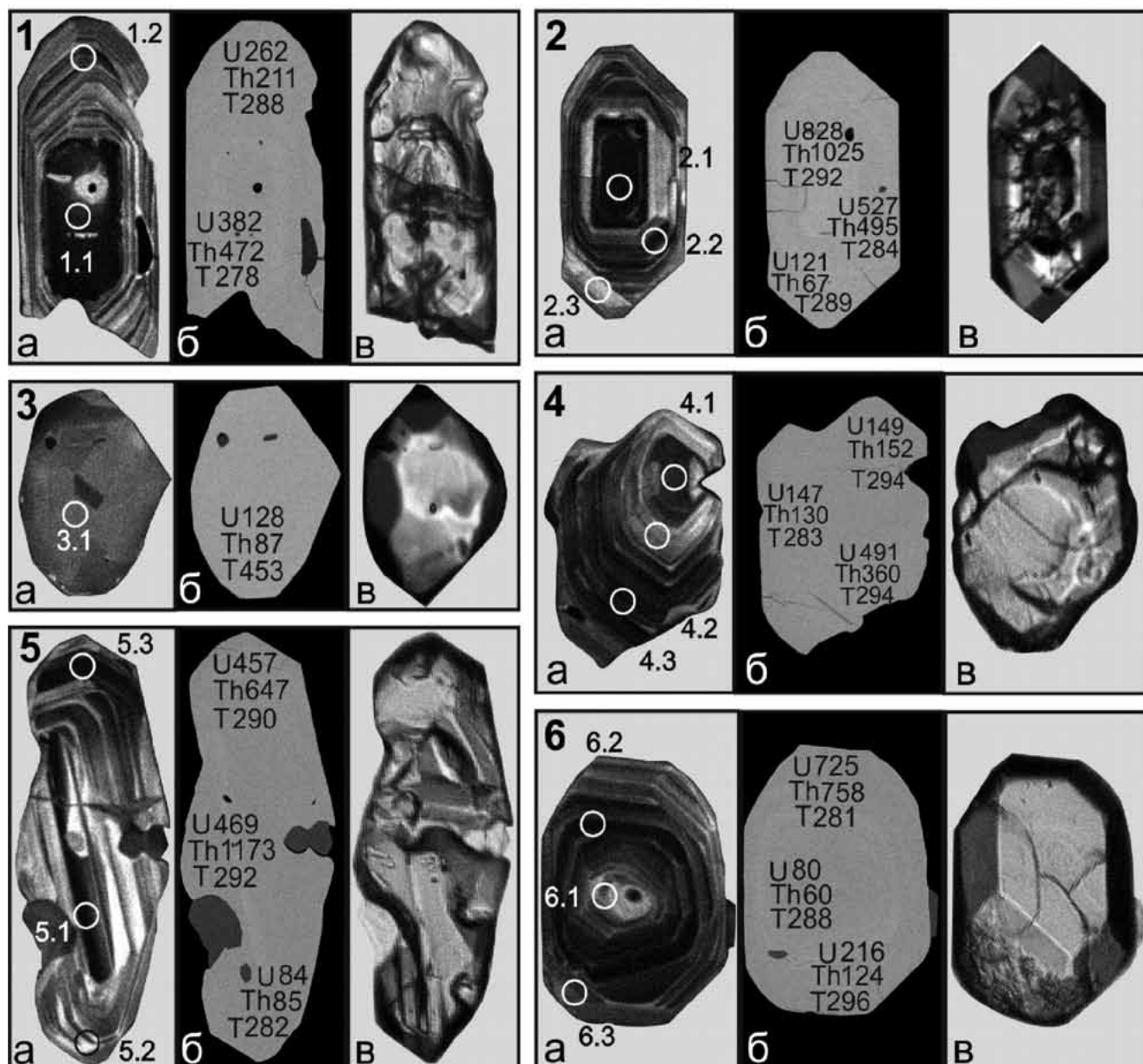


Рис. 2. Минералого-геохимические и возрастные особенности цирконов монцогаббро (пр. K2286).

Содержания U и Th – г/г; T – возраст, млн лет (по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$). а – CL, б – BSE, в – оптика, проходящий свет. Цифры – номера кристаллов и кратеров (см. табл. 2).

Fig. 2. Mineralogical-geochemical and age characteristics of monzogabbro zircons (s. K2286).

Contents of U and Th – ppm, T – age, Ma (by $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$). а – CL, б – BSE, в – optics, transmitted light. Numbers – numbers of crystals and craters (see Table 2).

нах Урала. Таким образом, Урал стал единым, с общими этапами развития на протяжении более чем 2000 км и по всему широтному разрезу в связи с плюмовым эпизодом, описанным как степнинский (Puchkov et al., 2021). Рассмотренная в статье дайка монцогаббро, несмотря на некоторую удаленность от Степнинского комплекса, находится на прости-

рани цепочки степнинских интрузий, близка к ним по составу, возрасту и может быть отнесена к тому же плюмовому событию. Предположение о плюмовом характере комплекса мы высказывали давно, исходя из наложенного характера цепочки интрузий по отношению к более ранним, коллизонным уральским структурам. По геохимическим

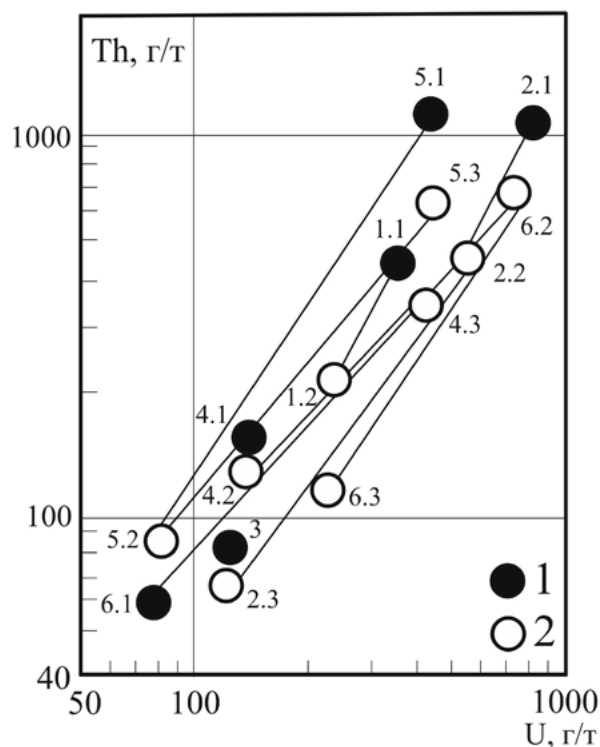


Рис. 3. U и Th в цирконах монцогаббро (пр. K2286).

1, 2 – номера кристаллов (см. табл. 2), стрелками соединены ранние–поздние генерации.

Fig. 3. U and Th in monzogabbro zircons (s. K2286).

1, 2 – numbers of crystals (see Table 2), arrows connect early–late generations.

особенностям (монцогаббро) дайка, описанная в статье, укладывается в один из двух главных эталонных трендов степнинского комплекса – монцонитовый (монцогаббро, монцодиориты, сиениты).

Материалы этой статьи оказались в числе последних из завершенных А.А. Краснобаевым в наших совместных исследованиях. Какие идеи не успел воплотить этот неутомимый в творческой работе ученый с оригинальным и очень нестандартным подходом к решению проблем в геологической науке, нам уже не узнать. Но остается добрая память и благодарность судьбе за долгие и плодотворные годы сотрудничества с Артуром Антониновичем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н. (2013) Цирконология навашских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале. *Докл. АН*, **448**(4), 437–442.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018) Полихронная цирконология навашских вулканитов айской свиты (Южный Урал). *Докл. АН*, **478**(1), 74–80.
- Пучков В.Н. (2018) Плюм-зависимый гранит-риолитовый магматизм. *Литосфера*, **18**(5), 692–705.
- Сначев А.В., Пучков В.Н., Сначев В.И. (2018) Новые данные по условиям кристаллизации монцодиорит-гранитных массивов восточного склона Южного Урала. *Докл. АН*, **481**(5), 544–547.

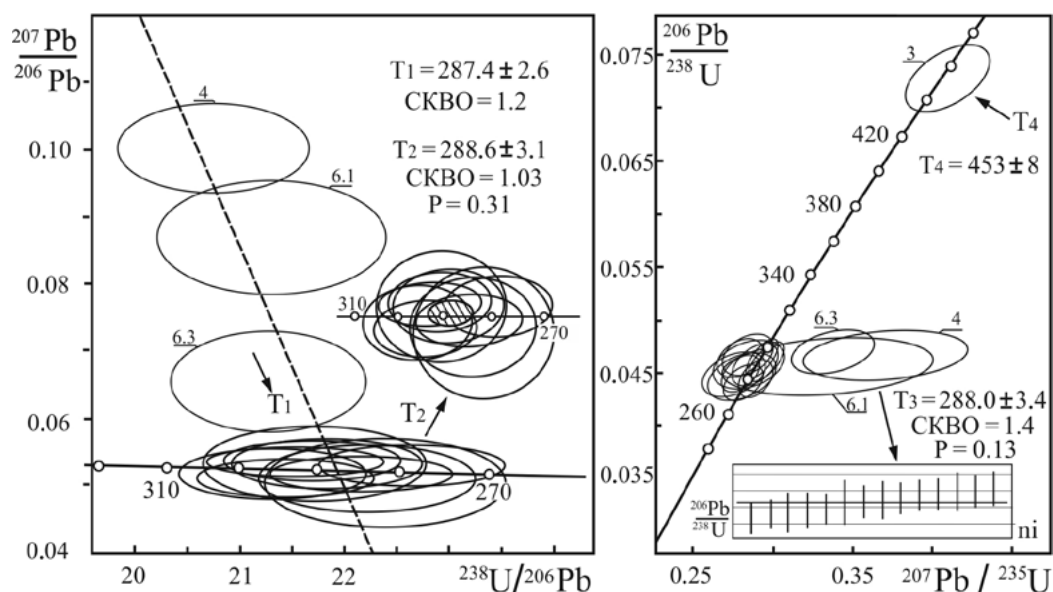


Рис. 4. U-Pb возраст цирконов монцогаббро (пр. K2286).

Fig. 4. U-Pb age of monzogabbro zircons (s. K2286).

- Bea F., Fershtater G.B., Montero P., Smirnov V.N., Molina J.F. (2005) Deformation-Driven Differentiation of Granite Magma: The Stepninsk Pluton of the Uralides, Russia. *Lithos*, **81**, 209-233.
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. (2021). The importance and difficulties of identifying mantle plumes in orogenic belts: An example based on the fragmented large igneous province (LIP) record in the Ural fold belt. *Precamb. Res.*, 361, 106186. <https://doi.org/precambres.2021.106186>
- 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

- Bea F., Fershtater G. B., Montero P., Smirnov V.N., Molina J.F. (2005) Deformation-Driven Differentiation of Granite Magma: The Stepninsk Pluton of the Uralides, Russia. *Lithos*, **81**, 209-233.
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2018) Polychronous zirconology of the Navysh volcanics of the Ai Formation (Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **478**(1), 74-80. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Lepekhina E.N. (2013) Zirconology of the Navysh volcanics of the Ai Formation and the problem of the age of the lower boundary of the Riphean in the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **448**(4), 437-442. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2018) Plume-dependent granite-rhyolite magmatism. *Litosfera*, **18**(5), 692-705. (In Russ.)
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. (2021). The importance and difficulties of identifying mantle plumes in orogenic belts: An example based on the fragmented large igneous province (LIP) record in the Ural fold belt. *Precamb. Res.*, 361, 106186. <https://doi.org/precambres.2021.106186>
- Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I. (2018) New data on the crystallization conditions of monzodiorite-granite massifs on the eastern slope of the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **481**(5), 544-547. (In Russ.)
- Williams I.S. (1998) U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe. In: *Applications in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Rev. Econ. Geol.*, **7**, 1-35.