

Возраст габбро-долеритов массива Сопки Каменные (Северный Тиман) по результатам U-Pb (SIMS) датирования циркона

Андреичев В.Л.^{id}, Соболева А.А.^{id}

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, izo@geo.komisc.ru

Аннотация. Рассмотрены результаты U-Pb (SIMS, SHRIMP-RG) датирования цирконов из габбро-долеритов, ассоциируемых с гранитами массива Сопки Каменные (Северный Тиман), цирконовый возраст которых установлен ранее и составляет 727–723 млн лет. Он отличается от возраста цирконов из других интрузивных пород Северного Тимана, формировавшихся в интервале 617–600 млн лет, куда включается и возраст гранитов (613 ± 6 млн лет) и контактирующих с ними габбро-долеритов (617 ± 6 млн лет) массива Большой Камешек. Различие в возрасте двух массивов, имеющих сходную геологическую позицию, настораживало, поэтому для объективной оценки возраста пород массива Сопки Каменные был проведен U-Pb анализ цирконов из габбро-долеритов. По 10 зернам получен конкордантный возраст 726 ± 8 млн лет, который вместе с возрастом гранитов указывает на отдельный эпизод магматизма на территории Северного Тимана в криогении, тогда как все другие неопротерозойские интрузивные породы этого региона сформировались в эдиакарии. Эти магматические события коррелируются с началом распада суперконтинента Родиния (800–720 млн лет) и его завершением, имевшем место в интервале 630–550 млн лет.

Ключевые слова: Северный Тиман, фундамент, интрузивный магматизм, циркон, U-Pb возраст, SIMS, SHRIMP.

Age of gabbro-dolerites from the Sopki Kamennyye pluton (the Northern Timan) according to the results of U-Pb (SIMS) zircon dating

Andreichev V.L.^{id}, Soboleva A.A.^{id}

Institute of Geology, FRC Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar, izo@geo.komisc.ru

Abstract. The article presents the first U-Pb (SIMS, SHRIMP-RG) data on the age of zircons from gabbro-dolerites composing alongside with previously dated granites (727–723 Ma) the Sopki Kamennyye pluton in the Northern Timan. It differs from the age of zircons from other intrusive rocks of the Northern Timan formed in the range of 617–600 Ma, which includes the age of granites (613 ± 6 Ma) and associated gabbro-dolerites (617 ± 6 Ma) of the Bolshoy Kameshek pluton. Such a significant difference in the age of these two plutons with a similar geological position was unclear. Therefore, in order to objectively estimate the age of the rocks of the Sopki Kamennyye pluton, we carried out a U-Pb analysis of zircons from gabbro-dolerites. Isotopic data from ten zircon grains show a mean concordant age at 726 ± 8 Ma. This age together with the age of granites, indicates a separate episode of magmatism within the Northern Timan in the Cryogenian whereas all other Neoproterozoic intrusive rocks of this area were formed in the Ediacaran period. These magmatic events correlate with the beginning of Rodinia supercontinent breakup (800–720 Ma) and its completion occurred at 630–550 Ma.

Keywords: Northern Timan, basement, intrusive magmatism, zircon, U-Pb age, SIMS, SHRIMP.

Введение

Северный Тиман представляет собой горстообразный выступ верхнедокембрийского фундамента Печорской (Тимано-Печорской) плиты, в пределах которого распространены доступные непосредственному наблюдению различные по составу магматические породы: долериты, габбро-долериты, оливин-керсутитовые габбро, граниты, сиениты, щелочные габброиды (Ивенсен, 1964; Костюхин, Степаненко, 1987; Мальков, 1972; Скрипниченко, 1978; Смирнов, 1982). Все они прорывают метатерригенные отложения неопротерозойской барминской серии и перекрываются известняками лlandoверийского яруса нижнего силура (рис. 1).

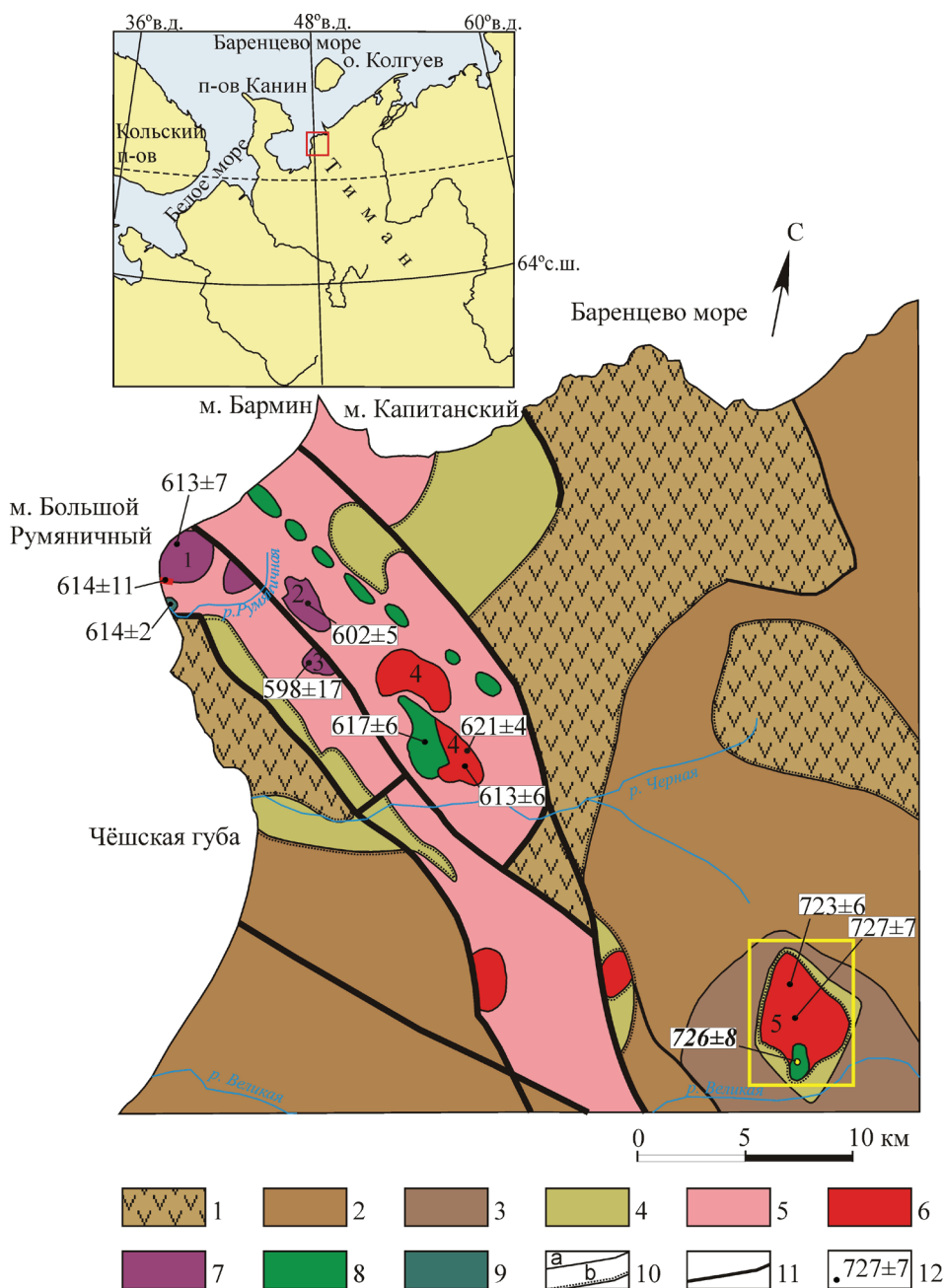


Рис. 1. Схема геологического строения Северного Тимана по (Оловянишников, 2004):

1 – верхнедевонские базальты; 2 – среднедевонские песчаники и конгломераты; 3 – нижнедевонские алевролиты, песчаники, глины; 4 – нижнесилурийские известняки с прослоями алевролитов и песчаников; 5 – сланцы, кварциты, кварцитопесчаники барминской серии; 6 – граниты, 7 – сиениты, 8 – метагаббро-долериты и долериты, 9 – оливин-керсутитовые габбро, 10 – геологические границы: согласные и границы интрузивных тел (а), несогласные (b); 11 – главные разломы; 12 – точки, в которых был определен U-Pb возраст циркона. Цифрами обозначены массивы: 1 – Большой Румяничный, 2 – Крайний Камешек, 3 – Малый Камешек, 4 – Большой Камешек, 5 – Сопки Каменные. Опубликованные U-Pb возрасты цирконов (млн лет) подписаны около массивов.

Fig.1. Schematic geological structure of the Northern Timan (Olovyanishnikov, 2004): 1 – Upper Devonian basalt; 2 – Middle Devonian sandstone, conglomerate; 3 – Lower Devonian siltstone, sandstone, clay; 4 – Lower Silurian limestone with siltstone and sandstone interlayers; 5 – shale, quartzite, quartzite like sandstone of the Neoproterozoic Barmin Group; 6 – granite; 7 – syenite; 8 – metagabbro-dolerite, dolerite; 9 – olivine-kersutite gabbro; 10 – geological boundaries: a – between units with conformable bedding, and boundaries of intrusive bodies, b – unconformity; 11 – principal faults. Numbers refer to plutons: 1 – Cape Bolshoy Rumyanichny, 2 – Krayny Kameshek, 3 – Malyy Kameshek, 4 – Bolshoy Kameshek, 5 – Sopki Kamennyye. Published U-Pb zircon ages (Ma) are shown next to the plutons.

Долериты образуют маломощные – до 1–2, реже до 5 м – дайки и силлы протяженностью от нескольких десятков метров до 300–500 м. Габбро-долериты находятся в ассоциации с гранитами массивов Большой Камешек и Сопки Каменные, где они слагают штокообразные тела площадью до 2 км², а также образуют дайкообразное тело в районе мыса Бармин и вскрыты рядом скважин в зоне Барминского разлома. Сиениты распространены в районе мыса Большого Румяничного и слагают сопки Крайний Камешек и Малый Камешек. Оливин-керсутитовые габбро наблюдаются в единственном выходе (150'120 м) в районе устья р. Румяничной, а также в виде ксенолитов среди сиенитов массива мыса Большого Румяничного и массива Крайний Камешек. Щелочные габброиды образуют серию даек в сланцах и сиенитах на участке протяженностью ~5 км от мыса Большой Румяничный до выхода оливин-керсутитовых габбро.

За исключением долеритов и щелочных габброидов к настоящему времени все другие разновидности магматических пород охарактеризованы U-Pb цирконовыми датировками (рис. 1), полученными посредством масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS). Первые данные установлены на ионном микрозонде SHRIMP-II в начале XXI века в только что созданном Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ. По зернам циркона из оливин-керсутитовых габбро получен возраст 614 ± 2 млн лет, из сиенитов массива мыса Большой Румяничный – 613 ± 7 млн лет, а из габбро-долеритов, контактирующих с гранитами массива Большой Камешек – 617 ± 6 млн лет (Larionov et al., 2004). В последние годы эти результаты были дополнены цирконовыми датировками гранитов и сиенитов, установленными на ионном микрозонде SHRIMP-RG, принадлежащем Стэнфордскому университету и Геологической службе США. Возраст циркона из субщелочных гранитов массива Большой Камешек составил 613 ± 6 млн лет, а из жильных гранитов района мыса Большой Румяничный – 614 ± 11 млн лет (Andreichev et al., 2020). Циркон из сиенитов массива Крайний Камешек имеет возраст 602 ± 5 млн лет, а массива Малый Камешек – 598 ± 17 млн лет (Андреичев и др., 2021).

Полученные результаты свидетельствуют о формировании исследуемых пород в эдиакарии в возрастном интервале 617–600 млн лет. Однако не все магматические породы Северного Тимана образовались в это время. Почти на 100 млн лет древнее оказались граниты массива Сопки Каменные. Для исключения случайности в разное время были проанализированы цирконы из двух проб, характеризующих разные части массива, но возрастные значения полностью совпали. Проба 182 – 727 ± 7 млн лет, проба 185 – 723 ± 6 млн лет (Andreichev et al., 2020).

Граниты массива Большой Камешек и контактирующие с ними габбро-долериты имеют близкие возрасты и образуют габбро-гранитную ассоциацию. На Сопках Каменных граниты и базиты также развиты в пределах одного массива, поэтому не исключено, что на Северном Тимане представлены габбро-гранитные ассоциации двух разных магматических эпизодов, имевших место в криогении и эдиакарии. Для проверки этого предположения нами проведено U-Pb изотопное датирование циркона из габбро-долеритов, контактирующих с гранитами массива Сопки Каменные.

Геологическая позиция и состав габбро-долеритов

Массив Сопки Каменные располагается в центральной, наиболее возвышенной части Северного Тимана и занимает видимую площадь около 15 км² (рис. 2). Граниты слагают две плоские изолированные сопки, разделенные узкой депрессией. Контакт гранитов с базитами отмечается в южной части массива, где метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации габбро-долериты слагают штокообразное тело площадью около 2 км². Граниты в зоне эндоконтакта более меланократовые и представлены наиболее богатыми биотитом разновидностями. Габбро-долериты в экзоконтактовой зоне с гранитами шириной 50–70 м полевошпатизированы и биотитизированы.

Габбро-долериты – мелко-среднезернистые породы темно-серого, до черного, цвета массивной текстуры и пойкилоофитовой структуры. Породы сложены амфиболом и плагиоклазом примерно в равных соотношениях, содержат небольшое количество кварца и рудного минерала (по 1–2 об. %) и около 1 % биотита. Акцессорные минералы представлены апатитом и цирконом, вторичные – актинолитом, развивающимся по амфиболу; хлоритом – по биотиту и амфиболу, серицитом и альбитом – по плагиоклазу и титанитом, образующим каймы вокруг зерен рудного минерала.

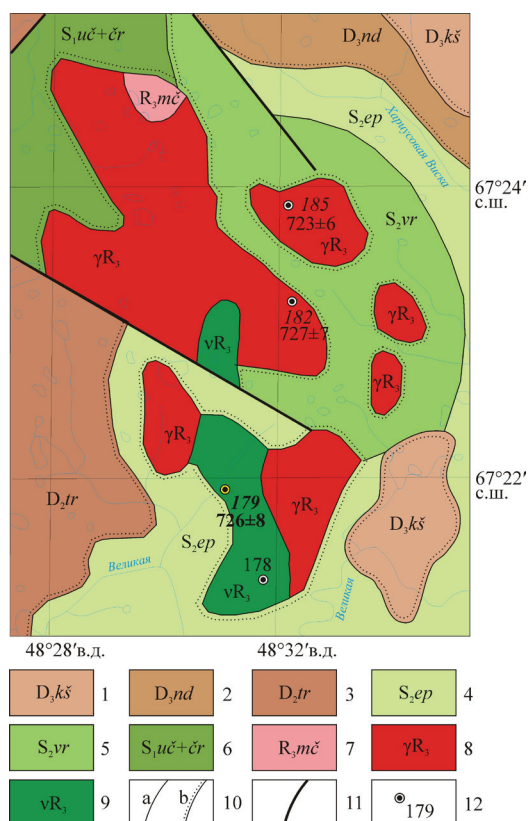


Рис. 2. Схематическая геологическая карта массива Сопки Каменные по (Черепанов и др., 2013 с изменениями).

1 – базальты, песчаники, алевролиты, конгломераты, туффы, агломератовые туфы кумушкинской свиты верхнего девона; 2 – конгломераты, гравелиты, песчаники надеждинской свиты верхнего девона; 3 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, прослои конгломератов, гравелитов травянской свиты среднего девона; 4 – песчаники, алевролиты, аргиллиты ептарминской свиты верхнего силура; 5 – известняки, мергели, песчаники, алевролиты, аргиллиты великорецкой свиты верхнего силура; 6 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, доломиты, известняки, прослои гипса устьчернорецкой и чернорецкой свит объединенных; 7 – хлорит-серицит-кварцевые, кварц-биотит-мусковитовые, серицит-полевошпат-кварцевые, кварц-хлорит-карбонатные сланцы и кварцитопесчаники малочернорецкой свиты верхнего рифея; 8, 9 – неопротерозойские (позднерифейские) интрузии: биотитовые граниты и граносиениты, гранит-порфиры, гранит-аплиты (8), метагабброиды (9); 10 – геологические границы: между разновозрастными образованиями согласного залегания и интрузивные (а), между разновозрастными образованиями несогласного залегания (б); 11 – разломы; 12 – точки опробования. Желтым выделена точка отбора пробы для датирования циркона.

Fig. 2. Schematic geological map of the Kamennye Sopki pluton after (Cherepanov et al., 2013, with changes).

1 – basalts, sandstones, siltstones, conglomerates, tuffites, agglomerate tuffs of the Upper Devonian Kumushkinskaya Formation; 2 – conglomerates, gritstones, sandstones of the Upper Devonian Nadezhdinskaya Formation; 3 – sandstones, siltstones, mudstones, interlayers of conglomerates, gritstones of the Travyanskaya Formation of the Middle Devonian; 4 – sandstones, siltstones, mudstones of the Upper Silurian Yeptarminskaya Formation; 5 – limestones, marls, sandstones, siltstones, mudstones of the Velikoretskaya Formation of the Upper Silurian; 6 – sandstones, siltstones, mudstones, dolomites, limestones, gypsum interlayers of the Ust-Chernoretskaya and Chernoretskaya Formations combined; 7 – chlorite-sericite-quartz, quartz-biotite-muscovite, sericite-feldspar-quartz, quartz-chlorite-carbonate schists and quartzite sandstones of the Upper Riphean Malochernoretskaya Formation; 8, 9 – Neoproterozoic (Late Riphean) intrusions: biotite granites and granosyenites, granite-porphyry, granite-aplites (8), metagabbroids (9); 10 – geological boundaries: conformable and intrusive (a), unconformable (b); 11 – faults; 12 – sampling points. The point of sampling for zircon dating is highlighted in yellow.

Породы по петрохимической классификации относятся к габбро. Они содержат (мас. %) SiO_2 – 46.88–47.52, Al_2O_3 – 13.63–14.29, (Na_2O+K_2O) – 3.41–3.44 и имеют калиево-натриевый тип щелочности (Na_2O/K_2O – 1.91–1.99), являются высокотитанистыми (TiO_2 – 1.75–2.00 %) и умеренно-калиевыми (K_2O – 1.15–1.17 %).

Методика анализа

U-Pb изотопное датирование индивидуальных зерен циркона выполнено на высокоразрешающем вторично-ионном микрозонде обратной геометрии SHRIMP-RG (Стэнфордский университет, Калифорния, США) согласно стандартным процедурам (Ireland, Gibson, 1998; Coble et al., 2018). С целью выбора участков для локального изотопного анализа, не содержащих дефектов и включений, внутренняя структура цирконов изучалась там же на сканирующем электронном микроскопе JEOL LV 5600, оснащенный катодOLUMИнесцентным детектором. Обработка полученных аналитических данных проведена с использованием программы SQUID-2 (Ludwig, 2009). Отношения Pb/U нормализованы на значение $^{206}Pb/^{238}U = 0.0668$ в стандартном цирконе TEMORA, что соответствует возрасту 416.75 млн лет (Black et al., 2003). Погрешности для единичных анализов (изотопных отношений и возрастов) оценивались в интервале $\pm 1\sigma$, а для вычисленных конкордантных возрастов – $\pm 2\sigma$. При построении диаграмм с конкордией в координатах $^{207}Pb/^{235}U$ – $^{206}Pb/^{238}U$ использовалась программа ISOPLOT/Ex (Ludwig, 2012).

Результаты и выводы

Циркон из исследуемого амфиболового габбро-долерита (обр. 179, 67.3652° с.ш., 48.5242° в.д.) представлен идиоморфными бипирамидально-призматическими кристаллами цирконового, реже гиаинтового габитуса, часто с дополнительными гранями. Зерна циркона размером 100–300 мкм при удлинении от 1.2 до 3.5 имеют светло-розовую и светло-желтовато-розовую окраску, они прозрачные, с гладкими блестящими гранями. Внутри зерен содержатся мелкие коричневые включения. В целом, несмотря на некоторое разнообразие форм, все цирконы смотрятся как однотипные. Католюминесцентные изображения демонстрируют наличие четкой грубой контрастной осцилляционной, в сочетании с секториальной, зональности (рис. 3).

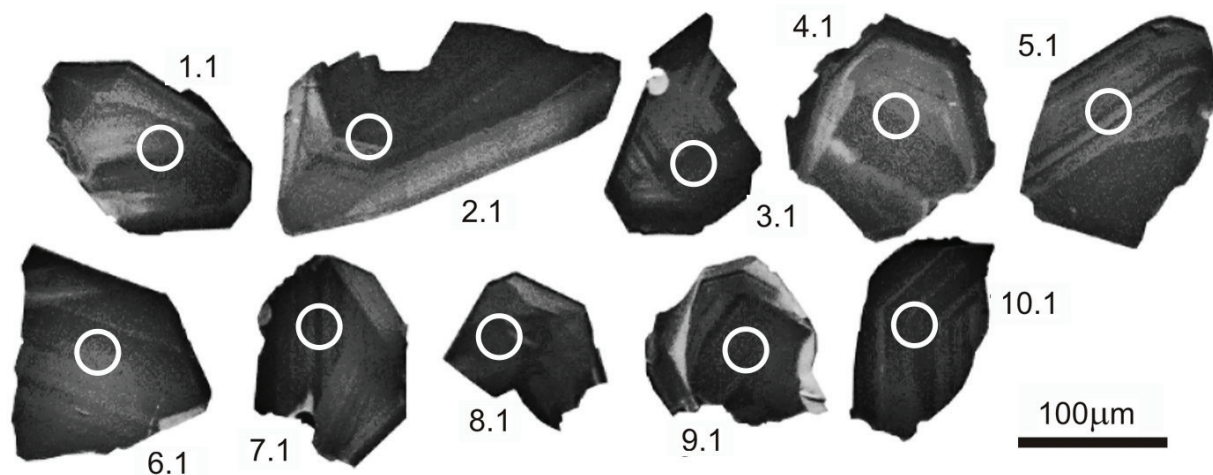


Рис. 3. Католюминесцентные изображения зерен циркона из габбро-долеритов массива Сопки Каменные (обр. 179) с номерами датированных зерен и аналитических кратеров.

Fig. 3. Cathodoluminescent images of zircon grains from gabbro-dolerites of the Sopki Kamennye pluton (sample 179). The figure shows grain numbers and analyzed spots.

Аналитические измерения 10 цирконовых зерен представлены в таблице 1. Величины Th/U отношений указывают на магматическое происхождение цирконов. Возрастные значения характеризуются незначительной дискордантностью, а координаты всех фигуративных точек образуют компактный кластер, отвечающий конкордантному возрасту 726 ± 8 млн лет (рис. 4). Он практически совпадает с возрастом зерен циркона из гранитов и подтверждает правомочность предположения о разновозрастности габбро-гранитных ассоциаций Большого Камешка и Сопок Каменных.

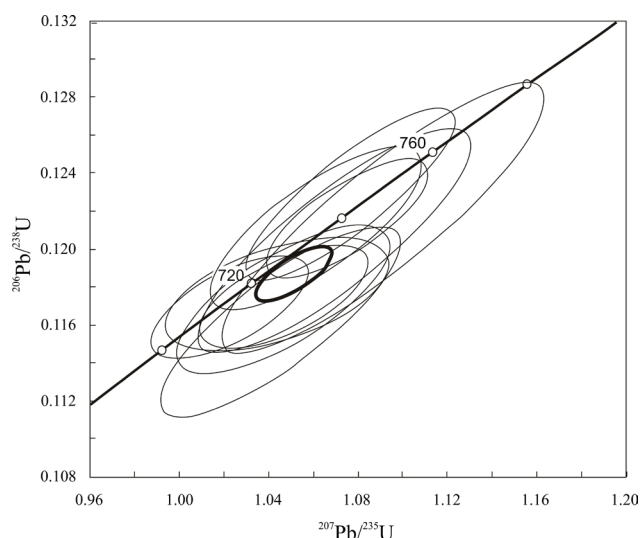


Рис. 4. Диаграмма с конкордией для цирконов из габбро-долеритов (обр. 179). Рассчитанный конкордантный возраст 726 ± 8 млн лет (95 %, $n = 10$, СКВО = 8.5) обозначен жирным эллипсом. Координаты аналитических точек – центры эллипсов погрешностей (2σ).

Fig. 4. Concordia diagram for zircon from gabbro-dolerites (sample 179). The calculated concordia age of 726 ± 8 Ma (95 %, $n = 10$, MSWD = 8.5) is shown by the bold ellipse. The analysis values are the centers of the error ellipses (2σ).

Таблица 1. Результаты U–Pb изотопных исследований циркона из габбро-долеритов (обр. 179)
Table 1. Results of U–Pb isotopic studies of zircon from gabbro-dolerites (sample 179)

Зерно, кратер	²⁰⁶ Pb _c %	Содержания, мкг/г			$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	Изотопные отношения ± % (1σ)			Rho	Возраст ± 1σ, млн лет		D %
		²⁰⁶ Pb*	U	Th		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
8.1	н.п.о.	33	328	208	0.65	0.1162 ± 1.8	1.045 ± 2.1	0.0653 ± 1.2	0.8	708 ± 12	782 ± 25	10
4.1	н.п.о.	45	444	302	0.70	0.1169 ± 0.9	1.022 ± 1.4	0.0634 ± 1.1	0.7	713 ± 6	722 ± 22	1
3.1	0.06	34	338	162	0.49	0.1173 ± 1.3	1.046 ± 1.9	0.0647 ± 1.3	0.7	715 ± 9	764 ± 27	7
5.1	н.п.о.	42	412	168	0.42	0.1175 ± 0.9	1.047 ± 1.5	0.0646 ± 1.1	0.6	716 ± 6	762 ± 24	6
6.1	0.25	30	296	206	0.72	0.1176 ± 1.0	1.044 ± 2.0	0.0644 ± 1.7	0.5	717 ± 7	754 ± 35	5
7.1	0.07	39	378	294	0.80	0.1205 ± 2.0	1.069 ± 2.3	0.0644 ± 1.2	0.9	733 ± 14	754 ± 26	3
9.1	0.08	47	447	199	0.46	0.1211 ± 1.4	1.061 ± 1.8	0.0635 ± 1.1	0.8	737 ± 10	726 ± 24	–2
1.1	н.п.о.	30	292	193	0.69	0.1216 ± 2.4	1.091 ± 2.7	0.0651 ± 1.3	0.9	740 ± 17	777 ± 27	5
10.1	0.07	72	689	217	0.33	0.1217 ± 1.0	1.075 ± 1.4	0.0641 ± 0.9	0.8	740 ± 7	745 ± 19	1
2.1	0.07	75	715	431	0.62	0.1229 ± 1.5	1.077 ± 1.8	0.0635 ± 0.9	0.9	747 ± 11	726 ± 20	–3

Примечание. Ошибка в калибровке стандарта составляет 0.28%. ²⁰⁶Pb_c и ²⁰⁶Pb* – обыкновенный и радиогенный свинец, н.п.о. – ниже предела определения (≤ 0.04).
Изотопные отношения и содержания ²⁰⁶Pb скорректированы по измеренному ²⁰⁴Pb. D – дискордантность; D = 100 × (возраст (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb) / возраст (²⁰⁶Pb/²³⁸U) – 1).
Rho – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений ²⁰⁶Pb/²³⁸U и ²⁰⁷Pb/²³⁵U.

Полученные результаты ставят под сомнение представления В.И. Степаненко, считавшего, что северотиманские и канинские габброиды принадлежат двум комплексам: барминско-черноречковскому габбро-долеритовому и северотиманско-канинскому долеритовому (Степаненко 1985; Костюхин, Степаненко, 1987), а в своей последней работе (Степаненко, 2022) он объединил базиты в единый северотиманско-канинский габбро-долеритовый комплекс. Однако цирконовые датировки указывают на ошибочность этих представлений. Даже габбро-долериты Северного Тимана, имеющие одинаковую геологическую позицию, не могут рассматриваться в рамках одного комплекса.

U–Pb цирконовыми возрастами охарактеризован практически весь спектр досилурийских интрузивных пород Северного Тимана. Они свидетельствуют о двух эпизодах плюмового магматизма, сопоставимых с рифтогенными событиями, происходившими при распаде мезопротерозойско-неопротерозойского суперконтинента Родинии. Возраст цирконов из габбро-долеритов и гранитов массива Сопки Каменные составляет 726 ± 8 и $723 \pm 6 - 727 \pm 7$ млн лет соответственно, что отвечает криогению и коррелируется с Франклинским рифтогенным событием (730–720 млн лет), проявившимся на арктической окраине Родинии при завершении начального этапа ее распада, охватывающего интервал 800–700 млн лет (Богданова, 2019). Более молодые габброиды, а также сиениты и граниты сформировались в эдиакарии, в интервале 617–600 млн лет. Этот эпизод плюмового магматизма щелочной направленности мог быть связан с рифтогенными событиями при окончательном распаде суперконтинента в эдиакарии (620–600 млн лет), когда при разделении Балтики, Лаврентии и Амазонии образовался океан Япетус в интервале 630–550 млн лет (Li et al., 2008; Богданова и др., 2009).

Благодарности

Авторы выражают благодарность ученому-консультанту Сэнфордского Университета, США, М.А. Коблу за помощь при работе на ионном микрозонде SHRIMP-RG и обработке полученных данных.

Исследование выполнено по теме «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского сегмента литосферы» Института геологии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр» УрО РАН, ГР № 122040600012-2.

Литература

1. Андреичев В.Л., Соболева А.А., Удоратина О.В., Ронкин Ю.Л. Цирконология сиенитов Северного Тимана // Вестник геонаук. 2021. № 6(318). С. 16–27. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.6.2>.
2. Богданова С.В. Восточно-Европейский кратон: ключевые этапы докембрийской эволюции // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2019. С. 64–70.
3. Богданова С.В., Писаревский С.А., Ли Ч.Х. Образование и распад Родинии (по результатам МПГК 440) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17. № 3. С. 29–45. <https://doi.org/10.1134/S0869593809030022>.
4. Ивенсен Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.-Л.: Наука, 1964. 126 с.
5. Костюхин М.Н., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
6. Мальков Б.А. Петрология дайковой серии щелочных габброидов Северного Тимана. Л.: Наука, 1972. 128 с.
7. Оловянишников В.Г. Геологическое развитие полуострова Канин и Северного Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.
8. Скрипниченко В.А. Габбро-сиенитовый комплекс Северного Тимана // ДАН СССР. 1978. Т. 238. № 1. С. 211–214.
9. Смирнов М. Ю. Петрология сиенит-гранитоидного комплекса Северного Тимана. Автореф. дис. на соискание к.г.-м.н. Л. 1982. 22 с.
10. Степаненко В.И. Позднепротерозойские базиты Канино-Тиманского региона // Магматизм севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1985. Вып. 53. С. 40–50. Тр. Ин-та геологии Коми фил. АН СССР.
11. Степаненко В.И. Пространственные закономерности позднепротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона // Вестник геонаук. 2022. 3(327). С. 16–24. <https://doi.org/10.19110/geov.2022.3.2>.

12. Черепанов А.А., Ерюхина Н.А., Затульская Т.Ю. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000, серия Тиманская, листы Q-39-I, II. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 118 с.
13. Andreichev V.L., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Ronkin Yu.L., Coble M.A., Miller E.L. Granites of the Northern Timan – probable indicators of Neoproterozoic stages of Rodinia breakup // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2020. V. 11. Issue 2. P. 10–28. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-2-0470>.
14. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology // *Chem. Geol.* 2003. V. 200. P. 155–170. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(03\)00165-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(03)00165-7).
15. Coble M.A., Vazquez J., Barth A.P., Wooden J., Burns D., Kylander-Clark A., Jackson S., Vennari C.E. Trace element characterization of MAD-559 zircon reference Material for ion microprobe analysis // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2018. V. 42. P. 481–497. <https://doi.org/10.1111/ggr.12238>.
16. Ireland T.R., Gibson G.M. SHRIMP monazite and zircon geochronology of high-grade metamorphism in New Zealand // *J. Metamorphic Geol.* 1998. V. 16. P. 149–167.
17. Larionov A.N., Andreichev V.L., Gee D.G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U–Pb zircon ages of gabbros and syenite // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*. Eds. Gee D.G., Pease V. *Geol. Soc. London. Mem.* 2004. V. 30. P. 69–74. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2004.030.01.07>.
18. Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins A.S., Davidson A., De Waele B., Ernst R.E., Fitzsimons I.C.W., Fuck R.A., Gladkochub D.P., Jacobs J., Karlstrom K.E., Lu S., Natapov L.M., Pease V., Pisarevsky S.A., Thrane K., Vernikovsky V. Assembly, configuration, and breakup history of Rodinia: A synthesis. // *Precambrian Research*. 2008. V. 160 (1–2). P. 179–210. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.021>.
19. Ludwig K.R. SQUID 2 – A User’s Manual, rev. 12 Apr, 2009 // *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 2009. V. 5, 110 p.
20. Ludwig K.R. Isoplot 3.75, a geochronological toolkit for Excel // *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 2012, V. 5. 75 p.