

УДК 551.72.550.93(470.5)

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-5-1053-1073

U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датировки цирконов из песчаников басинской свиты ашинской серии венда Южного Урала и возраст пород питающих провинций

Н. Д. Сергеева¹, Т. С. Зайцева², А. Б. Кузнецов², В. Н. Пучков¹, С. А. Дьякова¹, Б. М. Гороховский²,
Ю. В. Плоткина²

¹Институт геологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения УФИЦ РАН, 450077, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2, e-mail: riphey@ufaras.ru

²Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2, e-mail: z-t-s@mail.ru

Поступила в редакцию 04.10.2024 г., принята к печати 03.04.2025 г.

Объект исследования. Цирконы из песчаников басинской свиты ашинской серии венда в опорном разрезе по руч. Кукраук на Южном Урале. **Цель.** Определение возраста пород областей сноса по данным U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования цирконовой кластики. **Материалы и методы.** Среди детритового циркона выделено три группы по окраске: бледно-розовые зерна преобладают (~50%), а розовые и бесцветные зерна присутствуют в равной пропорции (~20–30%). Циркон представлен преимущественно окатанными зернами и единичными кристаллами призматической формы. По данным катодолюминесценции, большинство зерен сохраняют следы зональности роста. **Результаты.** U-Th-Pb конкордантные возрасты 166 зерен циркона находятся в интервалах 996–1029, 1079–1110, 1152–1191, 1200–1234, 1250–1324, 1331–1370, 1416–1438, 1447–1557, 1573–1666, 1756–1806, 1824–1874, 1889–1979, 1987–2015, 2022–2074 и 2661–2729 млн лет. Отдельные зерна имеют конкордантные возрасты 579, 776, 2120, 2142, 2148, 2190, 2763, 2804, 2816, 2874, 2889, 2957, 3014 и 3203 млн лет. **Выводы.** В группе розовых зерен преобладает популяция циркона раннекарельского и архейского возраста, в бесцветных – раннерифейского, а в бледно-розовых – ранне- и среднерифейского. Среди зерен детритового циркона из песчаников басинской свиты присутствуют цирконы с датировками 776, 1350–1800, 2000–3200 млн лет, отвечающими возрасту местных уральских источников. Для обломочного циркона с датировками 996–1320 млн лет источники сноса среди местных питающих провинций не выявлены, но известны в пределах Свеко-Норвежской области на северо-западе Восточно-Европейской платформы, что позволяет рассматривать в качестве источников цирконовой кластики магматические породы гренвилльского (950–1220 млн лет) Свеко-Норвежского орогена. Источником циркона с датировкой 579 млн лет, близкой к возрасту цирконов из туфовых прослоев в самой басинской свите, мог быть пепловый материал эксплозивной деятельности вулканов.

Ключевые слова: циркон, U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирование, басинская свита, песчаники, источники сноса, Южный Урал

Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 24-27-00311, <https://rscf.ru/project/24-27-00311/>, при использовании оборудования ЦКП АИРИЗ

U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating of zircons from sandstones of the Basu Formation of the Vendian Asha Series of the Southern Urals and the age of rocks in the distributive province

Nina D. Sergeeva¹, Tatiana S. Zaitseva², Anton B. Kuznetsov², Victor N. Puchkov¹, Svetlana A. Dyakova¹,
Boris M. Gorokhovskiy², Yulia V. Plotkina²

¹Institute of Geology – Subdivision of the UFRC, RAS, 16/2 Karl Marx st., Ufa 450077, Russia, e-mail: riphey@ufaras.ru

²Institute of Geology and Geochronology of the Precambrian, RAS, 2 Makarova emb., St. Petersburg 199034, Russia, e-mail: z-t-s@mail.ru

Для цитирования: Сергеева Н.Д., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Пучков В.Н., Дьякова С.А., Гороховский Б.М., Плоткина Ю.В. (2025) U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датировки цирконов из песчаников басинской свиты ашинской серии венда Южного Урала и возраст пород питающих провинций. *Литосфера*, **25**(5), 1053–1073. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1053-1073>. EDN: GNFCJD

For citation: Sergeeva N.D., Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Puchkov V.N., Dyakova S.A., Gorokhovskiy B.M., Plotkina Yu.V. (2025) U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating of zircons from sandstones of the Basu Formation of the Vendian Asha Series of the Southern Urals and the age of rocks in the distributive province. *Lithosphere (Russia)*, **25**(5), 1053–1073. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1053-1073>. EDN: GNFCJD

© Н.Д. Сергеева, Т.С. Зайцева, А.Б. Кузнецов, В.Н. Пучков, С.А. Дьякова, Б.М. Гороховский, Ю.В. Плоткина, 2025

Received 04.10.2024, accepted 03.04.2025

Research subject. Zircon of sandstones of the Basu Formation, Asha Series, Vendian, in the reference section along the Kukrauk stream (Southern Urals). **Aim.** To determine the age of rocks in the provenance based on U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating of zircon clastics. **Materials and methods.** In terms of color, detrital zircon grains were divided into three groups. Pale pink grains predominate (about 50%), and pink and colorless grains are present in equal proportions (about 20–30%). Zircon is mainly represented by rounded grains and single grains of a prismatic shape. According to the cathodoluminescence data, most grains retain traces of zonation. **Results.** The U-Th-Pb concordant ages dates of 166 detrital zircon grains are predominantly in the time intervals of 996–1029, 1079–1110, 1152–1191, 1200–1234, 1250–1324, 1331–1370, 1416–1438, 1447–1557, 1573–1666, 1756–1806, 1824–1874, 1889–1979, 1987–2015, 2022–2074, and 2661–2729 Ma. Individual grains have concordant ages of 579, 776, 2120, 2142, 2148, 2190, 2763, 2874, 2804, 2816, 2889, 2957, 3014, and 3203 Ma. **Conclusions.** The group of pink grains is dominated by a population of zircon of the Early Karelian and Archaean age, in colorless grains – Early Riphean, and in pale pink grains – Early and Middle Riphean. Among the grains of detrital zircon from the sandstones of the Basu Formation, there are zircons from local Ural sources (776, 1350–1800, 2000–3200 Ma). For clastic zircon with ages of 996–1320 Ma, the sources of demolition among the local feeding provinces have not been identified; however, they are known within the Sveko-Norwegian area in the north-west of the East-European Platform. This allows us to consider the igneous rocks of the Grenville (950–1220 million years) Sveko-Norwegian orogen as sources of zircon clusters over this time interval. The source of zircons with a dating of 579 Ma, close to the age (573–577 Ma) of zircons from tuff layers in the Basu Formation itself, could be ash material from the explosive activity of volcanoes.

Keywords: zircon, U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating, Basu Formation, sandstones, provenance, Southern Urals

Funding information

The collection of materials and analytical works were funded by the grant of the Russian Science Foundation No. 24-27-00311, <https://rscf.ru/project/24-27-00311/>, when using the equipment of the SRF AIRES

ВВЕДЕНИЕ

Отложения ашинской серии распространены на Южном Урале в пределах Башкирского мегантиклинория преимущественно на западном и меньше на восточном крыльях структуры (Козлов, 1982; Беккер, 1988). По составу пород и характеру их напластования ашинская серия расчленена на бакеевскую (включая ее возрастные аналоги – толпаровскую и суировскую свиты западного крыла Башкирского мегантиклинория и кургашлинскую свиту восточного крыла структуры), урюкскую, басинскую, куккараускую и зиганскую свиты. Мощность серии варьируется от 1200–1400 до 2600 м. На западном крыле мегантиклинория ашинская серия залегает с разрывом на позднерифейских породах укской свиты, возраст глауконита которой древнее 690–660 млн лет (Зайцева и др., 2008). Нижний возрастной предел ашинской серии ограничен датировкой 642 ± 9 млн лет, полученной по глаукониту Rb-Sr методом (Зайцева и др., 2019) из песчаников бакеевской свиты основания венда. Верхняя граница венда определяется U-Pb возрастом циркона 548.2 ± 7.6 млн лет (Гражданкин и др., 2011) из туфа зиганской свиты, завершающей венд.

Выбор в качестве объекта исследования отложений басинской свиты не случаен: ее породы относят

к типично молассовым образованиям, которые завершают крупные тектонические циклы и фиксируют значительные перестройки в геологическом развитии территорий. На Южном Урале молассы в докембрии выделены в 50-е гг. XX в. М.И. Гаранем (1946). Позднее эти представления получили развитие в работах Н.С. Шатского (1960) и Б.М. Келлера (1973). Обоснование молассовой природы ашинских образований и детальное описание основных разрезов молассы проведены Ю.Р. Беккером (1968, 1988). К молассам Ю.Р. Беккер (1988) относил близкие к альпийским формации, которые образуются при размытии горных систем, возникших в результате замыкания геосинклинали.

В.Н. Пучков (2000) вопросы формирования орогенных (молассовых) комплексов рассматривал на основе современных представлений тектоники литосферных плит и плюм-тектоники. Новые представления о геодинамических процессах формирования молассы с учетом современных изотопно-геохронологических, минералогических и палеомагнитных данных привели к изменению стратиграфического объема молассовых формаций на Урале (Пучков, 2010; см также ссылки в этой работе). На Южном Урале к типично молассовым образованиям на западном крыле Башкирского мегантиклинория отнесены только отложения верхнего

венда (басинская, кукараукская и зиганская свиты), а не всей ашинской серии, по (Беккер, 1988). Судя по результатам литогеохимических исследований, в бакеевской свите преобладает нехарактерная для молассы кварцевая компонента, тогда как песчаники вышележащих басинской и зиганской свит ашинской серии являются максимально петрохимически незрелыми образованиями во всем верхнедокембрийском разрезе Башкирского мегантиклинория (Маслов и др., 2010). Смена источников сноса в ашинское время, по сравнению с рифейским, отмечается и в изотопно-геохимическом составе тонкозернистой алюмосиликокластики (Маслов и др., 2022). Обоснована рифтогенная природа (Маслов и др., 2018б) образований аршинской серии на восточном крыле Башкирского мегантиклинория, ранее в ранге свиты относимой Ю.Р. Беккером (1988) к вендской молассе – орогенному комплексу).

Источником терригенной кластики в ашинское время традиционно рассматривались породы фундамента Восточно-Европейской платформы, находившиеся в то время на западе от палеобассейна, и местные уральские породы рифея (Олли, 1948; Гарань, 1948; Беккер, 1988), что опиралось на результаты анализа ассоциаций акцессорных минералов и данные альфа-свинцового датирования циркона (Козлов, 1982; Сергеева, 1986). Однако появление новых ID-TIMS (Willner et al., 2003) и LA-ICP-MS (Кузнецов и др., 2012) датировок обломочного циркона из песчаников ашинской серии показало наличие “молодого восточного” источника. Одним из наиболее вероятных источников мог быть метаморфический Белорецкий террейн, в котором, наряду с протерозойскими цирконами (1900–2000 млн лет), присутствовали эвгедральные цирконы с датировками 643–550 млн лет (Willner et al., 2003). Согласно мнению других исследователей, источником кластики для отложений ашинской серии был не фундамент Восточно-Европейской платформы, а породы метаморфического комплекса Кап Ривер, находящегося на Квинслендском краю Австралии (Кузнецов и др., 2012). Этот вывод сделан на основе сопоставления с помощью KS-теста возрастов циркона из песчаников басинской и кукараукской свит и одновозрастных им кварцито-песчаников комплекса Кап Ривер, при этом степень сходства и позволила предположить, “что Уральский край Балтики и Квинслендский край Австралии располагались в совместной композиции в Родинии до времени накопления ашинской серии включительно...” (Кузнецов и др., 2012, с. 79).

В нашей работе для определения возраста пород питающих провинций и реконструкции некоторых черт палеогеографии осадочного бассейна басинского времени проведено U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирование цирконовой кластики из песчаников этой свиты в опорном разрезе по руч. Кукараук.

БАСИНСКАЯ СВИТА ПО руч. КУКАРУК (СОСТАВ И СТРОЕНИЕ)

Впервые басинская свита (V_2bs) выделена А.И. Олли в 1940 г. со стратотипом по р. Басу на западном крыле Алатауского антиклинория, но наиболее представительный (мощностью около 900 м) разрез отложений свиты вскрыт по руч. Кукараук (рис. 1, точка 3), где по особенностям литологического состава свита расчленена (Козлов, 1982) на три толщи.

Нижняя толща (V_2bs_1) представлена полимиктовыми песчаниками с прослоями (толщиной от 1 до 8 м) алевролитов с более тонкими слоями аргиллитов, часто содержащих алевролитовую примесь. Песчаники разномзернистые (от мелкозернистых до гравийных), плохо сортированные, серые, зеленовато-серые, иногда с розоватым оттенком, неравномерно-слоистые, часто косослоистые. В песчаниках присутствует единичная плоская галька ($5 \times 10 \times 5$ см) аргиллитов. Кластический материал (95–97 об. %) представлен кварцем – 25–50 об. %, слюдистыми минералами (мусковитом, хлоритом и биотитом) – от 5 до 10–12 об. %, плагиоклазом – от редких знаков до 3–5 об. %, микроклином, микроклин-пертитом – единичные знаки, обломками пород (метаморфические, осадочные и магматические разности) – от 30 до 45 об. %. Литокласты осадочных и метаморфических пород представлены кварцевыми песчаниками и алевролитами, по составу аналогичными песчаникам, кварцитами, филлитизированными глинистыми и железисто-глинистыми породами, сланцами кварцевыми, слюдисто- и реже железисто-кварцевыми. Отмечаются сланцы кремнистого, глинистого и железисто-кремнистого состава. В псаммитах часто присутствуют бурые глинизированные разности вулканогенных пород и значительно реже – зерна габбро-долеритов и жильные породы полевошпат-кварцевого состава. По межзерновым пространствам в песчаниках неравномерно развивается кальцит (от 1–5 до 25–35%), который корродирует обломочные зерна и иногда псевдоморфно замещает их. Мощность толщи 350 м.

Средняя толща (V_2bs_2) сложена в основном полимиктовыми разномзернистыми песчаниками зеленовато-серыми, серыми, иногда с розоватым оттенком, плохо сортированными, с прослоями алевролитов, аргиллитов и редко гравелитов. Породы неравномерно-слоистые, иногда косослоистые, плитчатые. Слоистость в псаммитах четкая градиционная. По составу, структурно-текстурным особенностям описываемые песчаники близки к псаммитам нижней толщи, но несколько отличаются количественным соотношением минералов и обломков пород. Содержание зерен кварца в псаммитах средней толщи колеблется от 25–35 до 60–65%, обломков пород – от 20–25 до 35–40%, количество

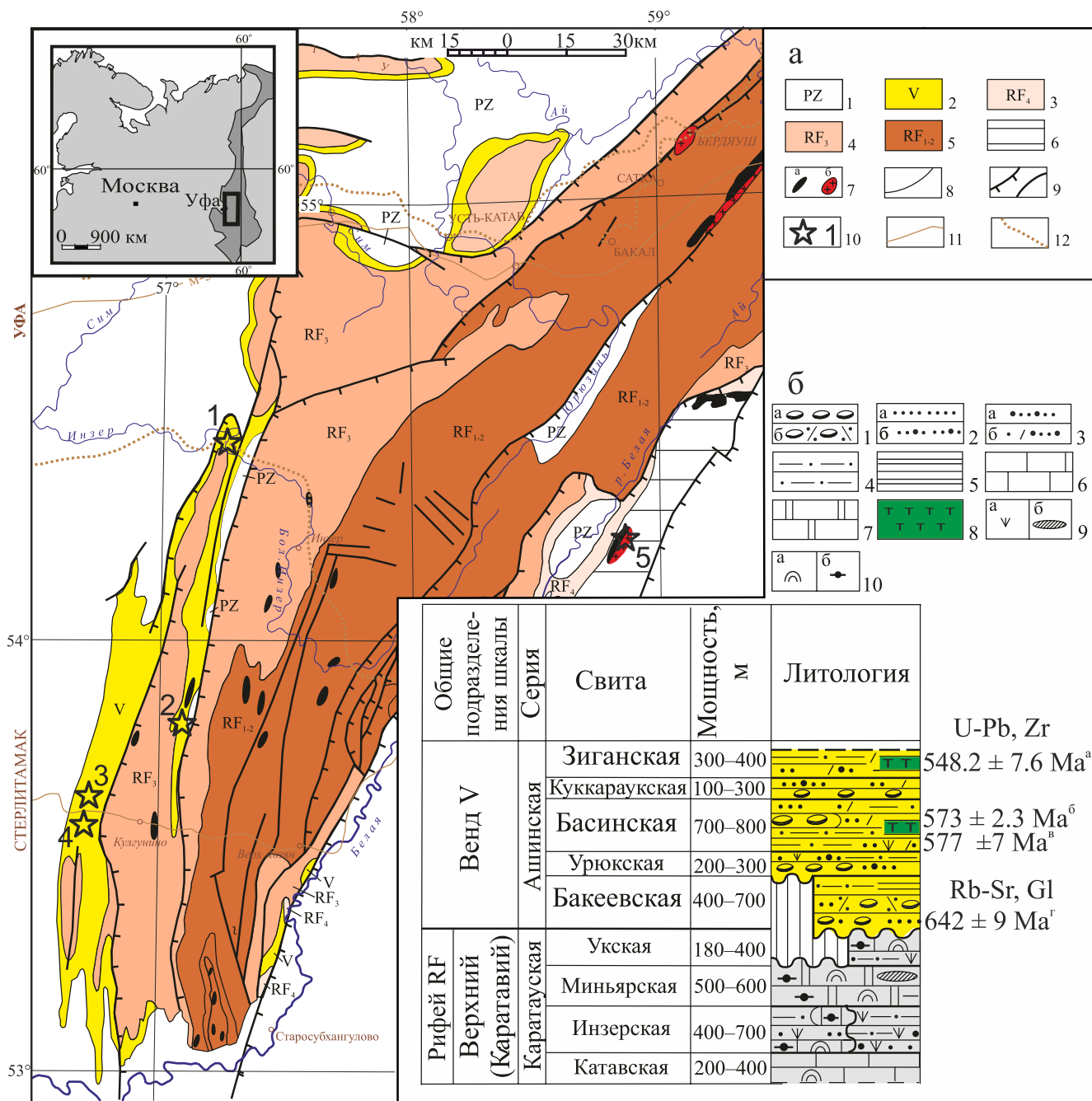


Рис. 1. Обзорная геологическая карта (а) и сводная литолого-стратиграфическая колонка образований верхнего рифея и венда (б) западного крыла Башкирского мегантиклинория (Сергеева и др., 2019) с дополнениями.

а. 1–5 – нерасчлененные отложения: 1 – палеозоя (PZ), 2 – венда (V), 3 – завершающего (RF₄), 4 – верхнего (RF₃) и 5 – нижнего-среднего (RF₁₋₂) рифея; 6 – Уралтауский метаморфический комплекс; 7 – магматические породы: габбро (а) и граниты (б); 8 – геологические границы; 9 – основные тектонические нарушения; 10 – местоположение разрезов: 1 – руч. Агарды, правый приток р. Инзер; 2 – р. Зилим, д. Толпарово; 3 – руч. Кукраук; 4 – по “новой” автодороге с Макарово – с. Кулгунино; 5 – Барангуловский габбро-гранитный комплекс; 11 – автодороги; 12 – железные дороги.

б. 1 – конгломераты полимиктовые (а) и тиллиты (б); 2, 3 – песчаники: 2 – кварцевые (а) и полевошпат-кварцевые (б), 3 – аркозовые (а) и полимиктовые (б); 4 – алевриты; 5 – аргиллиты; 6 – известняки; 7 – доломиты; 8 – туфы; 9 – глауконит (а) и кремни (б); 10 – строматолиты (а), микрофитолиты (б).

Изотопные данные: U-Pb – датировки по циркону из туфов зиганской (*Гражданкин и др., 2011), басинской свит (*Разумовский и др., 2020; *Рязанцев и др., 2022, 2023) и Rb-Sr возраст по глаукониту бакеевской свиты (*Зайцева и др., 2019).

Fig. 1. Overview geological map (a) and general lithological-stratigraphic column (b) of the Upper Riphean and Vendian of the western limb of the Bashkirian meganticlinorium (Sergeeva et al., 2019), with additions.

a. 1–5 undifferentiated deposits: 1 – Paleozoic (PZ) 2 – Vendian (V); 3 – Terminal (RF₄), 4 – Upper (RF₃) and 5 – Lower and Middle (RF_{1,2}) Riphean; 6 – Uraltau metamorphic complex; 7 – magmatic rocks: gabbro (a) and granites (б); 8 – geological boundaries; 9 – tectonic thrusts and faults; 10 – locations of cross-section: 1 – r. Agardy, right tributary of the r. Inzer; 2 – r. Zilim, v. Tolparovo; 3 – r. Kukrauk; 4 – on the “new” highway v. Makarovo – v. Kulgunino; 5 – Barangul gabbro-granite complex; 11 – highways; 12 – railroads.

б. 1 – conglomerates polymictic (a) and tillites (б); 2, 3 – sandstones: 2 – quartz (a) and feldspar-quartz (б), 3 – arkosic (a) and polymictic (б); 4 – siltstones; 5 – argillites; 6 – limestones; 7 – dolomites; 8 – tuffs; 9 – glauconite (a) and cherts (б); 10 – stromatolites (a) and microphytolites (б).

Isotope data: U-Pb – dating of zircon from tuffs of the Zigan (*Grazhdankin et al., 2011), Basu (*Razumovskii et al., 2020; *Ryazantsev et al., 2022, 2023) Formations and Rb-Sr age of glauconite of the Bakeevo Formation (*Zaitseva et al., 2019).

глинизированных бурых обломков вулканогенных пород основного и реже кислого состава со сферолитовыми структурами несколько выше, чем в песчаниках нижней толщи. В обломках также присутствуют катаклазиты, милониты и литокласты гранитоидного состава. Песчаники средней толщи слабо кальцитизированы (3–7 об. %, редко 10 об. %). Мощность средней толщи 350 м.

Верхняя толща (V₂bs₃) мощностью 200 м представлена неравномерным чередованием алевролитов (преобладают), песчаников и аргиллитов, по составу, структурно-текстурным особенностям и внешнему облику близких к подстилающим породам.

Возраст басинской свиты надежно определен в последние годы U-Pb методом (SHRIMP-II) по циркону из туфов в двух точках: 1) 573 ± 2 млн лет (Разумовский и др., 2020) и 573 ± 2 млн лет (Рязанцев и др., 2022) в выемке по “новой” автодороге с. Макарово – с. Кулгунино (см. рис. 1, точки 3 и 4); 2) 577 ± 7 млн лет (Рязанцев и др., 2022) на левобережье р. Зилим восточнее с. Толпарово (см. рис. 1, точка 2). Эти датировки отвечают не только времени формирования басинской свиты, но и проявлению тектономагматических процессов.

Для уточнения информации о возрасте размывавшихся пород и местоположении питающих провинций вендского бассейна с помощью U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования цирконовой кластики мы отобрали из коллекции В.И. Козлова две пробы песчаника басинской свиты в опорном разрезе по руч. Кукраук (см. рис. 1а, точка 3).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

При определении источников сноса обломочно-го материала используются различные (петрографические, минералогические, литогеохимические и др.) методы изучения отложений, позволяющие реконструировать состав пород области сноса (петрофонд). Достаточно просто этот вопрос решается исходя из литолого-петрографического состава галек конгломератов и обломков пород в песчаниках (Козлов, 1982; Беккер, 1968, 1988; Сергеева, 1986). Однако литолого-петрографический состав псаммитового материала не дает ответа на вопрос о возрасте размываемых пород, поэтому в геоло-

гической практике все чаще используется U-Th-Pb (LA-ICP-MS) метод датирования детритовых цирконов. Несмотря на широкий спектр датировок, этот метод позволяет ограничить нижний возрастной предел осадочных пород, а также сделать предположение о возрасте возможных источников цирконовой кластики для осадочных образований.

Из двух крупно-объемных проб (№ 17 и 16) песчаников басинской свиты (коллекция В.И. Козлова, ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа) выделены цирконы (рис. 2). Проба № 17 (N 53° 59'53.53" и E 56° 72'14.47") отображена на правом берегу руч. Кукраук в 5.4 км от его устья, проба №16 (N 53° 59'31.79" и E 56° 79'50.76") – в 150 м от моста через р. Красная по “старой” автодороге с. Макарово – с. Кулгунино (см. рис. 2).

Пробы измельчены до обломков <0.3 мм, отмыты в проточной воде до серого шлиха. Далее разделение минералов по удельному весу в тяжелой жидкости (бромформ), магнитная и электромагнитная сепарации проведены по общепринятой методике (Кухаренко, 1961; Ляхович, 1981). Монофракция цирконов отбиралась визуально под бинокулярным микроскопом МБС-2. Для проведения U-Th-Pb геохронологических исследований цирконы проб № 17 и 16 объединены в одну пробу U17-16, но различные по окраске цирконы составляли в ней отдельные монофракции.

Среди выделенных зерен циркона в басинской свите присутствуют бледно-розовые (около 50%), розовые (около 30%) и почти бесцветные (около 20%) разновидности. Кроме того, отмечаются редкие зерна темно-розовых, малиново-красных и молочно-белых (малаконы) цирконов. Это распределение показывает, что для отложений ашинской серии западного крыла Башкирского мегантиклинория типоморфными являются бледно-розовые цирконы (Козлов, 1982; Сергеева, 2014).

При минералогических исследованиях шлихов одним из характерных коррелятивных признаков циркона в терригенных породах является его окраска. Анализируя разные по цвету зерна, авторы предполагали получить информацию о связи между возрастом и окраской цирконов. По данным спектроскопических исследований установлена зависимость между прозрачностью/цветом и микродефектностью кристаллической решетки, а также составом и содержанием изоморфных при-

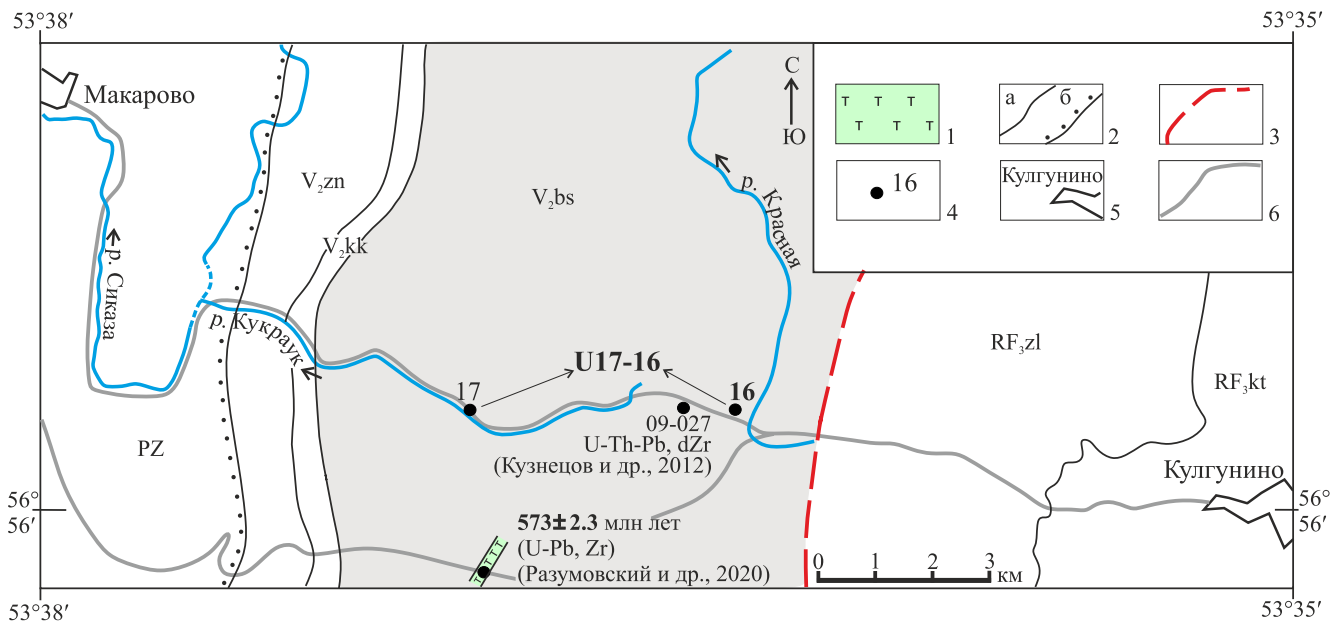


Рис. 2. Схематическая геологическая карта бассейна руч. Кукраук с точками отбора проб на детритовый циркон (dZr) из песчаников (U17-16) басинской свиты.

1 – туф; 2 – геологические границы: согласные (а) и несогласные (б); 3 – тектонические контакты; 4 – местоположение проб; 5 – населенные пункты; 6 – автодороги. Стратиграфические подразделения: RF₃ – верхний рифей, V₂ – верхний венд, PZ – палеозой. Свиты: zl – зильмердакская, kt – катавская, bs – басинская, kk – кукараукская, zn – зиганская. Обломочный циркон (dZr) из песчаников: пр. 17 и 16 – коллекция В.И. Козлова, проба 09-027 – данные (Кузнецов и др., 2012). Магматогенный циркон (Zr) из туфов (Разумовский и др., 2020).

Fig. 2. Schematic geological map of the r. Kukrauk basin with sampling points for detrital zircon (dZr) from sandstones (U17-16) of the Basu Formation.

1 – tuff; 2 – geological boundaries: conformable (a) and unconformable (b); 3 – tectonic contacts; 4 – sample locations; 5 – settlements; 6 – highways. Stratigraphic units: RF₃ – Upper Riphean, V₂ – Upper Vendian, PZ – Paleozoic. Suites: zl – Zilmerdak, kt – Katav, bs – Basu, kk – Kukarauk, zn – Zigan.

Detrital zircon (dZr) from sandstones: samples 17 and 16 – collection of V.I. Kozlova, sample 09-027 – data (Kuznetsov et al., 2012). Magmatogene zircon (Zr) from tuffs (Razumovskii et al., 2020).

месей (Краснобаев и др., 1981; Nicholas, 1967; Stiebler et al., 1992; Cappelletti et al., 2005). В частности, максимальное содержание радиоактивных элементов (Th и U) установлено в цирконах темно-розовой, малиново-красной и розовой окраски (Вотяков и др., 1985; Краснобаев и др., 1988).

Детритовые цирконы из песчаников басинской свиты представлены хорошо окатанными зернами округлой, эллипсоидальной и неправильной формы, отмечаются кристаллы цирконового типа. Размеры зерен варьируются от 0.07×0.07 до 0.25×0.35 мм. По результатам электронной микроскопии в режиме вторичных электронов и катодolumинесценции в цирконах можно наблюдать ядра обычно округлой формы, реже призматического очертания, последние иногда сохраняют следы зональности или трещиноватости (рис. 3). Размеры ядер в цирконах значительно варьируются: они могут превышать размеры оболочки и наоборот.

В цирконах распространены газово-жидкие и минеральные включения, среди которых можно выделить первичные и вторичные, последние приурочены к трещинкам или границе раздела ядро-оболочка и проявляются в виде точечных обособлений. Формы выделения и ориентировка включений в цирконах весьма разнообразны. Преобладающим является игольчатый тип включений (вытянутые каналы, иглообразные и нитевидные обособления). Включения могут быть сосредоточены в центральной или периферийной части зерна, а также располагаться асимметрично. Нередко в цирконах можно наблюдать “зонарное строение”, обусловленное чередованием двупреломляющих и изотропных зон. Зонарное строение кристаллов особенно характерно для гипабиссальных гранитоидов (Краснобаев, 1986; Hoskin, Schaltegger, 2003; Corfu et al., 2003; Rubatto, 2017), что свидетельствует об источнике подобных цирконов для песчаников басинской свиты.

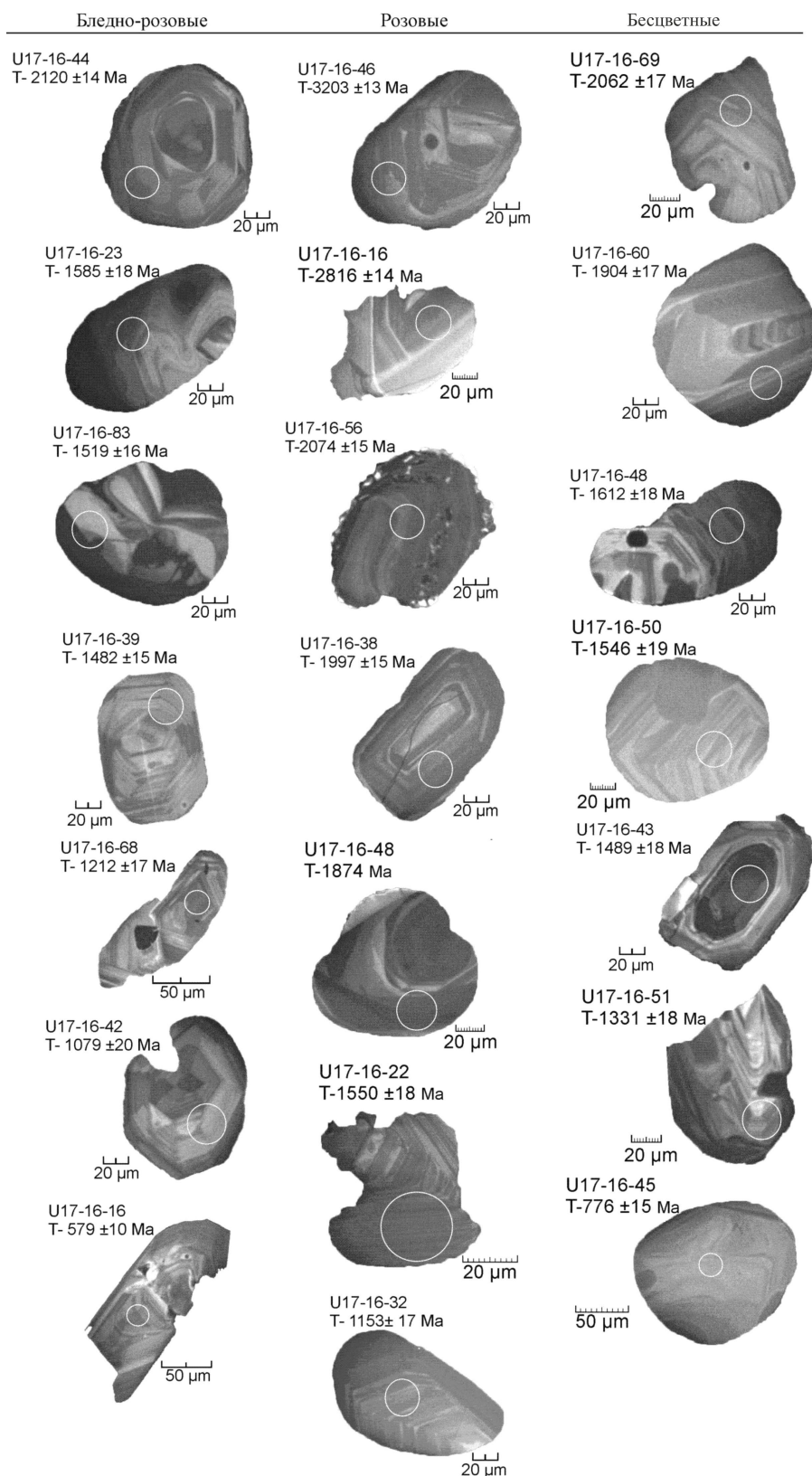


Рис. 3. Микроморфология и внутреннее строение кристаллов циркона.

Снимки получены с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA3 в режиме вторичных электронов и катодолуминесценции. Кругами обозначены точки, где проводились U-Th-Pb измерения. Цифры после номера пр. U17-16-44 – номер анализа. T - 2120 ± 14 Ma – U-Th-Pb конкордантный возраст, млн лет.

Fig. 3. Micromorphology and internal structure of zircon crystals.

The images were obtained by scanning electron microscope TESCAN VEGA3 in secondary electron and cathodoluminescence mode. Points of U-Th-Pb dating are shown by circles. The numbers after the sample number U17-16-44 are the analysis number. $T-2120 \pm 14$ Ma – U-Th-Pb concordant age.

U-Th-Pb (LA-ICP-MS) ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ

Цирконовые навески пр. U17-16, для которых проведены U-Th-Pb изотопно-геохронологические исследования, включали три типа детритовых цирконов по окраске: бледно-розовые (преобладают), розовые и практически бесцветные зерна. Разделение цирконов проводилось визуально под бинокулярным микроскопом.

Методика. Изотопное U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирование цирконов выполнено в ИГГД РАН на ICP MS ELEMENT XR, оснащенный системой лазерной абляции NWR-213, по методике, описанной в работе (Ковач и др., 2018). В целях контроля качества данных использованы стандартные цирконы Harvard 91500 и Plešovice, для которых получены конкордантные значения возраста 1071 ± 10 и 329 ± 8 млн лет. U-Th-Pb изотопные отношения рассчитаны в программе GLITTER 4.0 GEMOC (Van Achterbergh et al., 2001). Поправки на обычный свинец введены с помощью программы ComPb (Anderson, 2002). Расчет конкордантных возрастов (Concordia Ages) выполнен в программе IsoplotR (Vermeesch, 2018). Только конкордантные оценки (степень дискордантности <5%) возраста приняты во внимание при построении графиков относительной плотности вероятности и расчете максимумов возрастов (PeakAges) (Gehrels, 2012, 2014, Spencer et al., 2016).

Цирконовые монофракции пр. U17-16 исследованы методами сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA3 в режиме вторичных электронов и катодолуминесценции. Все три типа цирконов по окраске имеют близкие черты внутреннего строения зерен (см. рис. 3), в большинстве которых можно наблюдать тонкую осцилляторную зональность и хорошо проявленную секториальность, а также включения и ядра различной конфигурации.

Из пр. U17-16 проанализировано 179 зерен циркона и получено 166 конкордантных оценок возраста. Результаты U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритового циркона приведены в табл. 1.

Возрасты детритовых цирконов (см. табл. 1, 2) находятся преимущественно во временных интервалах 996–1029, 1079–1110, 1152–1191, 1200–1234, 1250–1324, 1331–1370, 1416–1438, 1447–1557, 1573–1666, 1756–1806, 1824–1874, 1889–1979, 1987–2015, 2022–2074 и 2661–2729 млн лет. Отдельные зерна имеют конкордантные возрасты 579, 776, 2120, 2142, 2148, 2190, 2763, 2804, 2816, 2874, 2889, 2957, 3014 и 3203 млн лет.

На рис. 4а приведены графики относительной плотности вероятности распределения возрастов как для пробы в целом, так и для каждой разновидности циркона (бледно-розовые, розовые и бесцветные).

На кривой относительной вероятности возрастов получены пики около 1002 ($n = 3$), 1084 ($n = 3$), 1163 (3), 1212 ($n = 12$), 1318 ($n = 3$), 1504 ($n = 56$), 1602 ($n = 8$), 1788 ($n = 9$), 1865 ($n = 5$), 1930 ($n = 7$), 1995 ($n = 7$), 2032 ($n = 12$), и 2695 ($n = 5$) млн лет (см. рис. 4а, табл. 2).

Ранее в этом же разрезе получены U-Pb-изотопные датировки (LA-ICP-MS) детритового циркона из песчаников басинской (проба 09-027) и куккарукской (проба 09-041) свит (Кузнецов и др., 2012). Из обеих проб датировано по 80 зерен и только 78 анализов из одной и 57 из другой с достаточной (10%-й) степенью дискордантности приняты к рассмотрению. Возрастные характеристики детритовых цирконов из пр. 09-027 басинской свиты лежат в достаточно близких пределах от 755 до 2869 млн лет. Однако в новой пробе U17-16, где проанализировано в два раза большее количество зерен циркона (166 конкордантных значений возраста), временной диапазон источников сноса обломочного материала оказался значительно шире: в пробе присутствуют зерна с архейскими датировками древнее 2900 млн лет и одно молодое зерно с позднеландским возрастом – 579 млн лет (см. табл. 1).

ИСТОЧНИКИ ЦИРКОНОВОЙ КЛАСТИКИ

Первичным источником цирконовой кластики в основном являются магматические породы, в которых, собственно, и образуются цирконы. В качестве источников первичной цирконовой кластики для отложений басинской свиты могут рассматриваться цирконы из рифейских магматических пород (см. рис. 4б), надежно датированных по циркону и бадделейту. На современной поверхности денудации эти магматические образования представлены интрузивными массивами (Бердяушским – 1410–1360 млн лет (Краснобаев и др., 2011; Ронкин и др., 2005), Ахмеровским – (1413 ± 46) – (1381 ± 23) млн лет (Краснобаев и др., 2008)) и вулканогенными комплексами (навышским трахибазальтовым – 1752 млн лет, машакским риолит-базальтовым – 1350–1386 млн лет и игонинским метабазальтовым – 707–732 млн лет). Важным источником цирконовой кластики для басинских осадков также могли послужить метаморфические породы Тараташского метаморфического комплекса архей-

Таблица 1. Результаты изотопного U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования зерен детритового циркона из песчаников басинской свиты верхнего венда (пр. U17-16, типы циркона по окраске: U17-16-1 – бледно-розовые, U17-16-2 – розовые, U17-16-3 – бесцветные)

Table 1. Results of U-Th-Pb isotope (LA-ICP-MS) dating of detrital zircon grains from sandstones of the Basu Formation of Upper Vendian (sample U17-16, types of zircon by color: U17-16-1 – light pink, U17-16-2 – pink, U17-16-3 – colorless)

№ п. п.	Точка анализа	U/Th	Измеренные отношения (с коррекцией на обычный свинец)				Возраст, млн лет (с коррекцией на обычный свинец)				CA	1σ
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ
1	U17-16-1-01	1.70	0.19241	0.00168	14.18013	0.27885	0.53451	0.01034	2763	14	2760	43
2	U17-16-1-02	0.87	0.09424	0.00084	3.43805	0.06958	0.26461	0.00513	1513	16	1513	26
3	U17-16-1-03	0.59	0.09519	0.00084	3.51302	0.06983	0.26766	0.00517	1532	16	1529	26
4	U17-16-1-04	2.76	0.12734	0.00110	6.61618	0.12929	0.37683	0.00724	2062	15	2061	34
5	U17-16-1-05	1.82	0.12405	0.00104	6.26629	0.11782	0.36636	0.00686	2015	14	2012	32
6	U17-16-1-06	3.80	0.12569	0.00105	6.43806	0.12072	0.37150	0.00695	2039	14	2036	33
7	U17-16-1-08	6.27	0.08011	0.00068	2.25991	0.04288	0.20460	0.00383	1200	16	1200	20
8	U17-16-1-09	1.23	0.18331	0.00154	13.04284	0.24457	0.51604	0.00966	2683	13	2682	41
9	U17-16-1-10	1.79	0.09057	0.00077	3.12311	0.05941	0.25009	0.00469	1438	15	1439	24
10	U17-16-1-11	0.67	0.09926	0.00084	3.87739	0.07374	0.28332	0.00531	1610	15	1608	27
11	U17-16-1-12	3.13	0.08152	0.00068	2.37636	0.04470	0.21143	0.00395	1234	16	1236	21
12	U17-16-1-13	3.34	0.10896	0.00091	4.78174	0.08999	0.31830	0.00595	1782	15	1781	29
13	U17-16-1-15	3.48	0.10945	0.00092	4.82892	0.09084	0.32000	0.00598	1790	15	1790	29
14	U17-16-1-16	1.78	0.05932	0.00050	0.76787	0.01467	0.09389	0.00176	579	18	579	10
15	U17-16-1-17	2.15	0.07354	0.00067	1.75880	0.03678	0.17347	0.00330	1029	18	1031	18
16	U17-16-1-18	3.29	0.18574	0.00156	13.33812	0.25228	0.52084	0.00975	2705	13	2703	41
17	U17-16-1-19	4.17	0.08488	0.00070	2.64591	0.04908	0.22608	0.00416	1313	15	1314	22
18	U17-16-1-20	3.48	0.09364	0.00077	3.38327	0.06250	0.26203	0.00482	1501	15	1500	25
19	U17-16-1-21	2.52	0.07974	0.00066	2.22896	0.04140	0.20274	0.00373	1191	16	1190	20
20	U17-16-1-22	1.26	0.12451	0.00103	6.32309	0.11712	0.36831	0.00678	2022	14	2021	32
21	U17-16-1-23	1.59	0.09795	0.00098	3.76318	0.08555	0.27864	0.00542	1585	18	1585	27
22	U17-16-1-25	1.51	0.09295	0.00078	3.32248	0.06300	0.25925	0.00479	1487	15	1486	25
23	U17-16-1-26	0.62	0.09646	0.00082	3.62567	0.07024	0.27261	0.00507	1557	15	1554	26
24	U17-16-1-27	2.88	0.09331	0.00077	3.35753	0.06175	0.26099	0.00479	1494	15	1495	24
25	U17-16-1-28	2.39	0.09246	0.00077	3.28321	0.06198	0.25756	0.00476	1477	15	1477	24
26	U17-16-1-29	1.29	0.09242	0.00076	3.27855	0.06068	0.25728	0.00473	1476	15	1476	24
27	U17-16-1-30	5.27	0.08138	0.00067	2.36072	0.04371	0.21039	0.00387	1231	16	1231	21
28	U17-16-1-31	3.52	0.09032	0.00074	3.09803	0.05699	0.24876	0.00457	1432	15	1432	24
29	U17-16-1-33	1.09	0.09610	0.00080	3.59358	0.06744	0.27123	0.00493	1550	15	1547	25
30	U17-16-1-35	3.29	0.11821	0.00096	5.68400	0.10438	0.34875	0.00631	1929	14	1929	30

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continuation

№ п. п.	Точка анализа	U/Th	Измеренные отношения (с коррекцией на обычный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обычный свинец)						CA	1σ
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
31	U17-16-1-36	1.84	0.09463	0.00078	3.47386	0.06486	0.26624	0.00484	1521	15	1521	15	1522	25	1521	15
32	U17-16-1-37	3.23	0.07540	0.00068	1.89807	0.03904	0.18257	0.00337	1079	17	1080	14	1081	18	1079	17
33	U17-16-1-38	0.73	0.11462	0.00095	5.33370	0.09979	0.3375	0.00614	1874	14	1874	16	1875	30	1874	14
34	U17-16-1-39	2.57	0.09272	0.00076	3.30387	0.06165	0.25846	0.00469	1482	15	1482	15	1482	24	1482	15
35	U17-16-1-40	3.00	0.20593	0.00169	15.92933	0.29520	0.56104	0.01023	2874	13	2873	18	2871	42	2874	13
36	U17-16-1-41	3.52	0.08095	0.00067	2.32723	0.04336	0.2085	0.00378	1220	16	1221	13	1221	20	1220	16
37	U17-16-1-42	5.38	0.07540	0.00079	1.88336	0.04434	0.18117	0.00346	1079	20	1075	16	1073	19	1079	20
38	U17-16-1-43	3.85	0.07960	0.00066	2.22264	0.04151	0.20251	0.00367	1187	16	1188	13	1189	20	1187	16
39	U17-16-1-44	2.23	0.13165	0.00108	7.07639	0.13044	0.38986	0.00707	2120	14	2121	16	2122	33	2120	14
40	U17-16-1-46	0.71	0.09153	0.00085	3.20112	0.06780	0.25364	0.00501	1458	17	1457	16	1457	26	1458	17
41	U17-16-1-47	1.79	0.08055	0.00072	2.29504	0.04657	0.20664	0.00404	1210	17	1211	14	1211	22	1210	17
42	U17-16-1-48	2.27	0.09800	0.00086	3.76712	0.07410	0.27880	0.00542	1586	16	1586	16	1585	27	1586	16
43	U17-16-1-49	2.33	0.09885	0.00087	3.84399	0.07579	0.28203	0.00549	1603	16	1602	16	1602	28	1603	16
44	U17-16-1-50	1.28	0.09431	0.00084	3.44091	0.06908	0.26461	0.00517	1514	16	1514	16	1513	26	1514	16
45	U17-16-1-51	1.75	0.13702	0.00120	7.63405	0.15061	0.40408	0.00787	2190	15	2189	18	2188	36	2190	15
46	U17-16-1-54	1.65	0.11337	0.00099	5.20921	0.10237	0.33324	0.00648	1854	15	1854	17	1854	31	1854	15
47	U17-16-1-55	0.51	0.11347	0.00100	5.22423	0.10418	0.33392	0.00652	1856	15	1857	17	1857	32	1856	15
48	U17-16-1-56	0.87	0.09292	0.00089	3.31912	0.07306	0.25905	0.00517	1486	17	1486	17	1485	26	1486	17
49	U17-16-1-57	2.09	0.10837	0.00095	4.73211	0.09327	0.31669	0.00616	1772	15	1773	17	1774	30	1772	15
50	U17-16-1-58	1.54	0.12123	0.00106	5.98414	0.11753	0.35800	0.00696	1974	15	1974	17	1973	33	1974	15
51	U17-16-1-59	2.16	0.07656	0.00068	1.98513	0.04010	0.18805	0.00369	1110	17	1110	14	1111	20	1110	17
52	U17-16-1-60	2.19	0.09416	0.00083	3.42794	0.06789	0.26403	0.00517	1511	16	1511	16	1510	26	1511	16
53	U17-16-1-61	2.20	0.12206	0.00107	6.07626	0.11895	0.36106	0.00705	1987	15	1987	17	1987	33	1987	15
54	U17-16-1-62	4.07	0.08096	0.00071	2.32298	0.04561	0.20811	0.00406	1220	17	1219	14	1219	22	1220	17
55	U17-16-1-63	2.38	0.10895	0.00097	4.77670	0.09626	0.31799	0.00625	1782	16	1781	17	1780	31	1782	16
56	U17-16-1-64	2.51	0.12530	0.00110	6.40789	0.12659	0.37091	0.00726	2033	15	2033	17	2034	34	2033	15
57	U17-16-1-65	5.23	0.08455	0.00075	2.61894	0.05218	0.22465	0.00440	1305	16	1306	15	1306	23	1305	16
58	U17-16-1-66	1.52	0.08048	0.00072	2.27580	0.04612	0.20509	0.00403	1209	17	1205	14	1203	22	1209	17
59	U17-16-1-68	4.08	0.08063	0.00071	2.30194	0.04546	0.20706	0.00405	1212	17	1213	14	1213	22	1212	17
60	U17-16-1-69	1.72	0.08957	0.00084	2.99277	0.06400	0.24235	0.00482	1416	17	1406	16	1399	25	1416	17
61	U17-16-1-70	1.04	0.09474	0.00084	3.47973	0.07022	0.2664	0.00523	1523	16	1523	16	1523	27	1523	16
62	U17-16-1-71	1.39	0.18437	0.00160	13.17114	0.25646	0.51814	0.00997	2693	14	2692	18	2691	42	2693	14
63	U17-16-1-72	2.65	0.08671	0.00076	2.79871	0.05510	0.23410	0.00451	1354	16	1355	15	1356	24	1354	16
64	U17-16-1-73	1.20	0.09587	0.00083	3.58180	0.07004	0.27098	0.00522	1545	16	1546	16	1546	26	1545	16
65	U17-16-1-74	4.31	0.08615	0.00075	2.75019	0.05388	0.23153	0.00446	1342	16	1342	15	1343	23	1342	16

Таблица 1. Продолжение
 Table 1. Continuation

№ п. п.	Точка анализа	U/Th	Измеренные отношения (с коррекцией на обычный свинец)				Возраст, млн лет (с коррекцией на обычный свинец)				CA	1σ
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
66	U17-16-1-75	3.16	0.09244	0.00083	3.27707	0.06665	0.25710	0.00500	1476	16	1476	16
67	U17-16-1-76	3.49	0.09986	0.00089	3.94468	0.07977	0.28649	0.00557	1621	16	1621	16
68	U17-16-1-77	3.43	0.12623	0.00111	6.49433	0.12908	0.37315	0.00723	2046	15	2046	15
69	U17-16-1-78	1.64	0.09584	0.00089	3.58007	0.07600	0.27093	0.00533	1545	17	1545	17
70	U17-16-1-79	3.42	0.10888	0.00098	4.76491	0.09769	0.31741	0.00620	1781	16	1781	16
71	U17-16-1-80	3.74	0.09447	0.00084	3.45909	0.06954	0.26558	0.00515	1518	16	1518	16
72	U17-16-1-82	1.32	0.09214	0.00085	3.26346	0.06900	0.25687	0.00504	1470	17	1470	17
73	U17-16-1-83	1.74	0.09454	0.00084	3.45627	0.06929	0.26514	0.00514	1519	16	1519	16
74	U17-16-1-84	2.54	0.09516	0.00083	3.52160	0.06922	0.26840	0.00519	1531	16	1531	16
75	U17-16-1-85	1.06	0.12156	0.00108	6.00705	0.12111	0.35842	0.00699	1979	15	1979	15
76	U17-16-1-86	2.97	0.07236	0.00064	1.66735	0.03344	0.16712	0.00324	996	18	996	18
77	U17-16-1-87	3.61	0.08398	0.00073	2.57363	0.05066	0.22225	0.00429	1292	17	1292	17
78	U17-16-1-88	1.08	0.09543	0.00087	3.53914	0.07404	0.26899	0.00527	1537	17	1537	17
79	U17-16-1-89	4.28	0.07249	0.00064	1.67505	0.03336	0.16759	0.00324	1000	17	999	18
80	U17-16-1-90	2.28	0.18389	0.00160	13.11849	0.25609	0.51740	0.00997	2688	14	2688	14
81	U17-16-1-91	0.74	0.09160	0.00080	3.20645	0.06313	0.25387	0.00489	1459	15	1459	16
82	U17-16-1-92	3.07	0.10967	0.00095	4.85124	0.09530	0.32083	0.00618	1794	15	1794	15
83	U17-16-1-93	2.42	0.09495	0.00084	3.50875	0.06994	0.26801	0.00518	1527	16	1527	16
84	U17-16-1-94	2.12	0.09188	0.00084	3.23216	0.06781	0.25514	0.00499	1465	17	1465	17
85	U17-16-1-95	2.77	0.09729	0.00085	3.71022	0.07324	0.27658	0.00533	1573	16	1573	16
86	U17-16-2-01	3.30	0.00086	3.60553	0.07205	0.27187	0.00540	0.09618	1551	16	1551	16
87	U17-16-2-02	2.56	0.00111	6.18411	0.12574	0.36458	0.00727	0.12302	2000	15	2000	15
88	U17-16-2-03	4.24	0.00073	2.42979	0.04859	0.21445	0.00425	0.08217	1250	17	1250	17
89	U17-16-2-04	1.99	0.00112	6.44203	0.12899	0.37162	0.00735	0.12572	2039	15	2039	15
90	U17-16-2-05	3.20	0.00186	16.22346	0.32698	0.56598	0.01125	0.20788	2889	14	2889	14
91	U17-16-2-06	2.14	0.00111	6.42858	0.12845	0.37147	0.00732	0.12551	2036	15	2036	15
92	U17-16-2-07	4.69	0.00118	7.29695	0.14528	0.39552	0.00777	0.13380	2148	15	2148	15
93	U17-16-2-08	1.23	0.00191	17.40353	0.34361	0.58234	0.01139	0.21674	2957	14	2957	14
94	U17-16-2-09	5.66	0.00077	2.84378	0.05641	0.23625	0.00462	0.08730	1367	16	1367	16
95	U17-16-2-10	4.74	0.00130	2.27081	0.07496	0.20528	0.00457	0.08023	1203	24	1203	31
96	U17-16-2-11	3.87	0.00079	3.10589	0.06150	0.24906	0.00485	0.09044	1435	15	1435	16
97	U17-16-2-12	1.26	0.00088	4.05343	0.07990	0.29082	0.00564	0.10108	1644	16	1644	16
98	U17-16-2-13	3.63	0.00070	2.20003	0.04381	0.20092	0.00386	0.07942	1183	17	1183	17
99	U17-16-2-14	2.53	0.00195	18.47768	0.36011	0.59667	0.01150	0.22461	3014	13	3014	13
100	U17-16-2-15	3.24	0.00082	3.45553	0.06747	0.26544	0.00509	0.09442	1517	16	1517	16

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continuation

№ п. п.	Точка анализа	U/Th	Измеренные отношения (с коррекцией на обычный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обычный свинец)						CA	1σ
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
101	U17-16-2-16	1.53	0.00171	15.03036	0.29077	0.54841	0.01052	0.19878	2816	14	2817	18	2819	44	2816	14
102	U17-16-2-17	1.24	0.00106	6.13741	0.11877	0.36286	0.00695	0.12267	1995	15	1996	17	1996	33	1995	15
103	U17-16-2-19	1.82	0.00156	12.73918	0.24685	0.51089	0.00981	0.18085	2661	14	2661	18	2660	42	2661	14
104	U17-16-2-20	3.76	0.00071	2.11203	0.04391	0.19571	0.00380	0.07827	1154	18	1153	14	1152	20	1154	18
105	U17-16-2-21	2.17	0.00074	2.31430	0.04834	0.20784	0.00405	0.08076	1216	17	1217	15	1217	22	1216	17
106	U17-16-2-22	1.63	0.00094	3.59668	0.08099	0.27144	0.00542	0.09610	1550	18	1549	18	1548	27	1550	18
107	U17-16-2-23	9.07	0.00089	4.16084	0.08142	0.29496	0.00568	0.10231	1666	16	1666	16	1666	28	1666	16
108	U17-16-2-24	0.91	0.00106	6.09092	0.11957	0.36133	0.00697	0.12226	1989	15	1989	17	1988	33	1989	15
109	U17-16-2-25	1.81	0.00104	5.42585	0.11012	0.34049	0.00671	0.11558	1889	16	1889	17	1889	32	1889	16
110	U17-16-2-27	0.79	0.00106	5.72577	0.11568	0.35051	0.00688	0.11849	1934	16	1935	17	1937	33	1934	16
111	U17-16-2-28	2.28	0.00112	6.65635	0.13166	0.37788	0.00737	0.12777	2068	15	2067	17	2066	34	2068	15
112	U17-16-2-29	2.32	0.00086	3.52139	0.07187	0.26817	0.00526	0.09524	1533	16	1532	16	1532	27	1533	16
113	U17-16-2-30	2.97	0.00112	6.68947	0.13178	0.37890	0.00736	0.12806	2072	15	2071	17	2071	34	2072	15
114	U17-16-2-31	1.81	0.00099	5.03897	0.10150	0.32777	0.00640	0.11151	1824	16	1826	17	1828	31	1824	16
115	U17-16-2-32	3.03	0.00069	2.11428	0.04171	0.19597	0.00380	0.07826	1153	17	1153	14	1154	20	1153	17
116	U17-16-2-33	5.50	0.00116	7.24931	0.14210	0.39451	0.00763	0.13328	2142	15	2143	17	2144	35	2142	15
117	U17-16-2-34	2.55	0.00110	6.15238	0.12445	0.36323	0.00709	0.12285	1998	15	1998	18	1997	34	1998	15
118	U17-16-2-35	2.79	0.00083	3.57915	0.06979	0.27050	0.00521	0.09597	1547	16	1545	15	1543	26	1547	16
119	U17-16-2-37	1.30	0.00099	4.85935	0.09953	0.32142	0.00634	0.10965	1794	16	1795	17	1797	31	1794	16
120	U17-16-2-38	1.46	0.00109	6.14899	0.12273	0.36315	0.00711	0.12281	1997	15	1997	17	1997	34	1997	15
121	U17-16-2-41	3.55	0.00082	3.28289	0.06576	0.25748	0.00504	0.09247	1477	16	1477	16	1477	26	1477	16
122	U17-16-2-42	1.98	0.00077	2.85369	0.05635	0.23674	0.00462	0.08743	1370	16	1370	15	1370	24	1370	16
123	U17-16-2-43	3.39	0.00072	2.28118	0.04660	0.20584	0.00404	0.08038	1206	17	1206	14	1207	22	1206	17
124	U17-16-2-44	3.17	0.00073	2.49657	0.04975	0.21798	0.00426	0.08307	1271	17	1271	14	1271	23	1271	17
125	U17-16-2-45	0.98	0.00104	5.72392	0.11306	0.35027	0.00683	0.11852	1934	15	1935	17	1936	33	1934	15
126	U17-16-2-46	2.18	0.00222	22.46142	0.44352	0.64410	0.01255	0.25292	3203	13	3204	19	3205	49	3203	13
127	U17-16-2-47	1.50	0.00097	4.89881	0.09758	0.32246	0.00629	0.11018	1802	16	1802	17	1802	31	1802	16
128	U17-16-2-48	1.37	0.00101	5.34038	0.10614	0.33785	0.00659	0.11464	1874	15	1875	17	1876	32	1874	15
129	U17-16-2-49	4.20	0.00165	13.38945	0.26777	0.52213	0.01022	0.18599	2707	14	2708	19	2708	43	2707	14
130	U17-16-2-51	2.07	0.00110	6.31808	0.12639	0.36792	0.00721	0.12455	2022	15	2021	18	2020	34	2022	15
131	U17-16-2-53	3.24	0.00108	6.10698	0.12209	0.36207	0.00707	0.12233	1990	15	1991	17	1992	33	1990	15
132	U17-16-2-56	7.80	0.00112	6.69979	0.13230	0.37893	0.00735	0.12823	2074	15	2073	17	2071	34	2074	15
133	U17-16-2-57	5.08	0.00074	2.35426	0.04889	0.21020	0.00411	0.08123	1227	17	1229	15	1230	22	1227	17
134	U17-16-3-40	1.02	0.09279	0.00087	3.30855	0.06954	0.25862	0.00539	1484	18	1483	16	1483	28	1484	18
135	U17-16-3-41	0.57	0.09316	0.00089	3.33857	0.07201	0.25991	0.00545	1491	18	1490	17	1489	28	1491	18

Таблица 1. Окончание
 Table 1. Ending

№ п. п.	Точка анализа	U/Th	Измеренные отношения (с коррекцией на обычный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обычный свинец)						CA	1σ
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
136	U17-16-3-42	1.08	0.09164	0.00086	3.20912	0.06814	0.25397	0.00531	1460	18	1459	16	1459	27	1460	18
137	U17-16-3-43	1.05	0.09306	0.00090	3.34018	0.07299	0.26033	0.00547	1489	18	1490	17	1492	28	1489	18
138	U17-16-3-45	1.63	0.06505	0.00061	1.14749	0.02412	0.12794	0.00267	776	20	776	11	776	15	776	15
139	U17-16-3-46	1.66	0.09882	0.00093	3.85161	0.08105	0.28269	0.0059	1602	17	1604	17	1605	30	1602	17
140	U17-16-3-47	1.21	0.09392	0.00088	3.40382	0.07211	0.26285	0.00549	1507	18	1505	17	1504	28	1507	18
141	U17-16-3-48	0.90	0.09936	0.00097	3.90586	0.08668	0.28511	0.00603	1612	18	1615	18	1617	30	1612	18
142	U17-16-3-49	1.11	0.09371	0.00088	3.40005	0.07176	0.26314	0.00549	1502	18	1504	17	1506	28	1502	18
143	U17-16-3-50	0.90	0.09593	0.00096	3.58623	0.08226	0.27115	0.00578	1546	19	1546	18	1547	29	1546	19
144	U17-16-3-51	1.25	0.08569	0.00081	2.70969	0.05752	0.22935	0.00481	1331	18	1331	16	1331	25	1331	18
145	U17-16-3-52	2.97	0.19728	0.00185	14.80046	0.31179	0.54413	0.0114	2804	15	2802	20	2801	48	2804	15
146	U17-16-3-53	0.78	0.09416	0.00089	3.43333	0.07325	0.26445	0.00555	1511	18	1512	17	1513	28	1511	18
147	U17-16-3-54	0.78	0.09371	0.00089	3.39403	0.07255	0.26268	0.00551	1502	18	1503	17	1504	28	1502	18
148	U17-16-3-55	0.89	0.09363	0.00092	3.37928	0.07542	0.26176	0.00555	1501	19	1500	17	1499	28	1501	19
149	U17-16-3-56	1.47	0.18846	0.00177	13.68053	0.28791	0.5265	0.01103	2729	15	2728	20	2727	47	2729	15
150	U17-16-3-57	1.03	0.09177	0.00087	3.22662	0.06950	0.25501	0.00536	1463	18	1464	17	1464	28	1463	18
151	U17-16-3-58	1.17	0.09326	0.00090	3.35724	0.07305	0.26109	0.00550	1493	18	1494	17	1495	28	1493	18
152	U17-16-3-59	1.57	0.11042	0.00104	4.92770	0.10365	0.32368	0.00677	1806	17	1807	18	1808	33	1806	17
153	U17-16-3-60	1.40	0.11655	0.00111	5.52826	0.11914	0.34402	0.00725	1904	17	1905	19	1906	35	1904	17
154	U17-16-3-62	1.38	0.09403	0.00089	3.42309	0.07253	0.26403	0.00553	1509	18	1510	17	1510	28	1509	18
155	U17-16-3-63	0.57	0.09641	0.00099	3.62699	0.08497	0.27286	0.00585	1556	19	1555	19	1555	30	1556	19
156	U17-16-3-64	7.61	0.07906	0.00074	2.17721	0.04577	0.19974	0.00417	1174	19	1174	15	1174	22	1174	19
157	U17-16-3-65	1.22	0.09392	0.00088	3.39790	0.07124	0.2624	0.00548	1507	18	1504	16	1502	28	1507	18
158	U17-16-3-66	0.38	0.09213	0.00091	3.25619	0.07353	0.25635	0.00544	1470	19	1471	18	1471	28	1470	19
159	U17-16-3-67	3.96	0.11298	0.00106	5.16469	0.10822	0.33155	0.00693	1848	17	1847	18	1846	34	1848	17
160	U17-16-3-68	3.83	0.07821	0.00074	2.11029	0.04459	0.19569	0.00409	1152	19	1152	15	1152	22	1152	19
161	U17-16-3-69	2.61	0.12740	0.00119	6.61347	0.13879	0.37651	0.00787	2062	17	2061	19	2060	37	2062	17
162	U17-16-3-70	1.26	0.09104	0.00086	3.15638	0.06671	0.25145	0.00526	1447	18	1447	16	1446	27	1447	18
163	U17-16-3-71	4.26	0.08539	0.00080	2.68519	0.05607	0.22808	0.00476	1324	18	1324	15	1324	25	1324	18
164	U17-16-3-72	2.13	0.10739	0.00101	4.63638	0.09835	0.31313	0.00656	1756	17	1756	18	1756	32	1756	17
165	U17-16-3-73	0.80	0.09217	0.00087	3.25138	0.06881	0.25586	0.00535	1471	18	1470	16	1469	27	1471	18
166	U17-16-3-74	1.09	0.09362	0.00090	3.39096	0.07385	0.26269	0.00553	1500	18	1502	17	1504	28	1500	18

Примечание. CA – значение конкордантного возраста (Concordia Age).

Note. CA – concordant age value.

раннепротерозойского возраста: 1800.8–3500 млн лет (Синдерн и др., 2006; Ронкин и др., 2007; Краснобаев и др., 2019б). Однако нельзя исключить возможность влияния и более удаленных питающих провинций. Об этом свидетельствуют датировки циркона в интервалах 996–1029, 1079–1110, 1447–1557 и 1573–1666 млн лет (см. табл. 2), источник которых не выявлен среди пород местной питающей провинции или слабо проявлен. Источниками циркона с указанными возрастами могли быть магматические комплексы Свеко-Норвежского орогена северо-западной части Восточно-Европейской платформы. Источником детритового циркона архейского возраста, кроме пород тараташского комплекса, также могли быть кристаллические породы Волго-Уралии (Романюк и др., 2013; Маслов и др., 2018а).

Ранее уточнить состав и возраст источников кластики для куккараукской свиты и местоположение области сноса позволила SHRIMP-датировка 713.6 ± 6.1 млн лет (Краснобаев и др., 2019а) по циркону из гранитной гальки куккараукских конгломератов в разрезе по руч. Агарды, правому притоку р. Инзер (см. рис. 1, точка 1), свидетельствующая о том, что в вендское время в области сноса происходил размыв гранитоидных пород, близких по возрасту к гранитам Мазаринского массива (710–740

млн лет (Краснобаев и др., 2012)) и Барангуловского габбро-гранитного комплекса (725 ± 5 млн лет (Краснобаев и др., 2007)), расположенных в северной части зоны Уралтау (см. рис. 1, точка 5) и восточнее (в современных координатах) конгломератов куккараукской свиты с датированным цирконом из гранитной гальки (Сергеева и др., 2019).

Две трети полученных U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датировок детритовых цирконов из песчаников басинской свиты (пр. U17-16) образуют несколько популяций в возрастных границах (1416–1666 млн лет (70 зерен) и 1070–1370 млн лет (33 зерна)), включающих вещественно-структурные комплексы нижнего и среднего рифея соответственно. Треть полученных датировок (2661–3203 млн лет (15 зерен) и 1756–2190 млн лет (47 зерен)) имеют архейский и раннепротерозойский возраст (см. табл. 2).

Интересно отметить тот факт, что среди розовых зерен преобладает популяция циркона архейского и раннепротерозойского возраста (46%) в отличие от бледно-розовых (21%) и бесцветными (12%) разновидностей. Бесцветные зерна циркона имеют преимущественно раннерифейский возраст (64%), а бледно-розовые зерна – ранне- и среднерифейский (71%).

Таким образом, значительная часть U-Th-Pb датировок цирконов из песчаников басинской свиты

Таблица 2. Результаты датирования детритовых цирконов из песчаников басинской свиты (пр. U17-16)

Table 2. Results of dating detrital zircons from sandstones of the Basu Formation (sample U17-16)

Пик максим. вероятности возраста**	Возрастной интервал популяций (кол-во зерен, n) и возраст единичных зерен* трех разновидностей циркона, млн лет			Кристаллические комплексы потенциальных областей сноса (возраст, млн лет)
	U17-16-2, розовый	U17-16-1, бледно-розовый	U17-16-3, бесцветный	
–	–	579*	–	Туфы, вендский вулканизм
–	–	–	776*	Игонинский (707–732)
1002	–	996–1029 (3)	–	Свеко-Норвежский (900–1220)
1084	–	1079–1110 (3)	–	
1163	1153–1183 (3)	(1187, 1191)*	(1152, 1174)*	
1212	1203–1227 (4)	1200–1234 (8)	–	
1318	(1250, 1271)*	1292–1313 (3)	1324*	Машакский (1350–1386) Бердяушский (1360–1410) Губенский (1370) Ахмеровский (1380–1410)
–	(1367, 1370)*	(1342, 1354)*	1331*	
–	1435*	(1416, 1432, 1438)*	–	
1504	1477–1551 (5)	1458–1557(32)	1447–1556 (19)	
1602	(1644, 1666)*	1573–1621 (6)	(1602, 1612)*	Навышский (1750) Свекофенский (1750–2100), тараташский (1800–3500)
1788	(1794, 1802)*	1772–1794 (6)	(1756, 1806)*	
1865	(1824, 1874)*	1854–1874 (3)	1848*	
1930	1889–1934 (3)	1929–1979 (3)	1904*	
1995	1989–2000 (6)	(1987, 2015)*	–	
2032	2022–2074 (6)	2022–2062 (5)	2062*	
–	(2142, 2148)*	(2120, 2190)*	–	Волго-Уральский–Сарматский (2100–3300), тараташский (1800–3500)
2695	(2661, 2707)*	2683–2705 (4)	2729*	
–	(2816–3203)*	(2763, 2874)*	2804*	

Примечание. *Единичные зерна, не образующие популяции. **Максимум вероятности возраста (2σ) на кривой относительной плотности вероятности.

Note. *Single grains that do not form a population. **Maximum age probability (2σ) on the relative probability density curve.

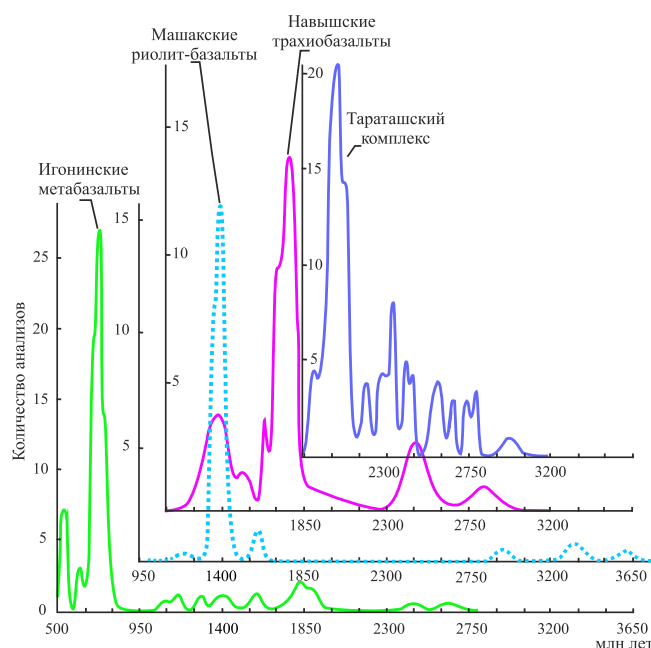
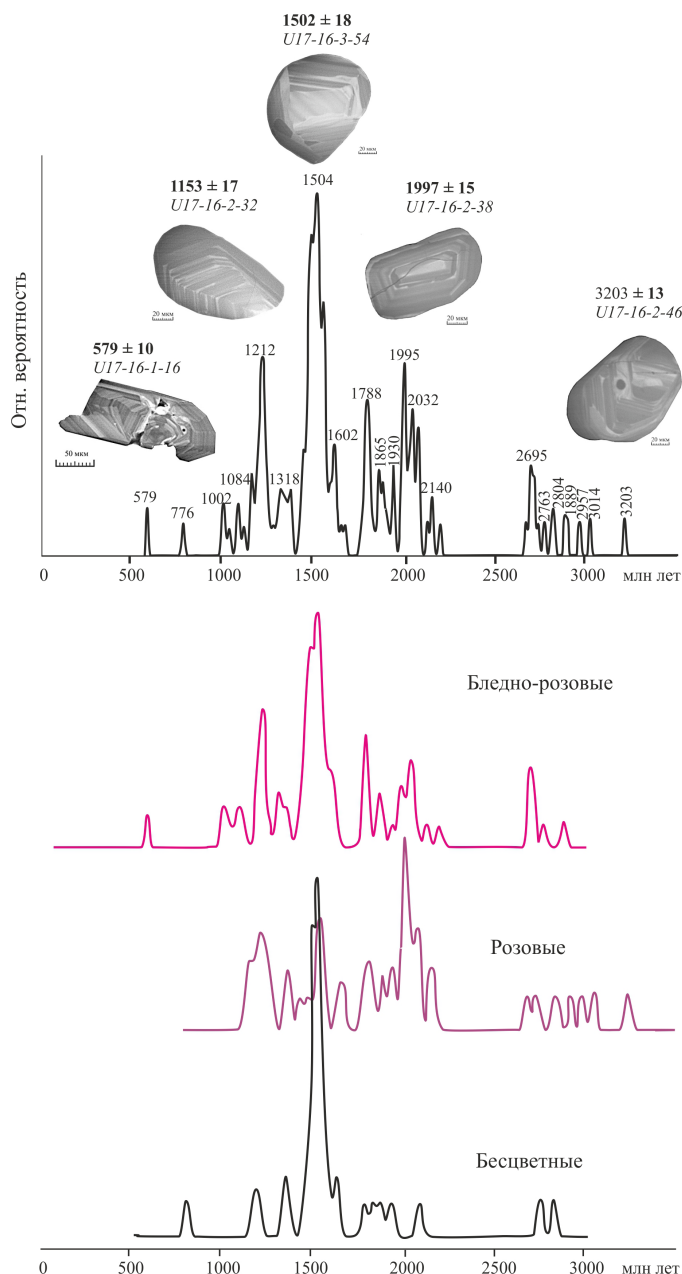


Рис. 4. Графики относительной плотности вероятности распределения U-Th-Pb возрастов детритового циркона из песчаников басинской свиты: суммарный и для трех разновидностей (бледно-розовые, розовые и бесцветные) кристаллов (а) и цирконов из вулканитов рифея и пород тараташского комплекса (б) (Краснобаев и др., 2019б).

Fig. 4. Relative probability density plots of U-Th-Pb ages of detrital zircon from sandstones of the Basu Formation: total and for three types (pale pink, pink and colorless) of crystals (a) and zircons from Riphean volcanics and rocks of the Taratash complex (b) (Krasnobaev et al., 2019b).

отвечает возрасту цирконов местных уральских источников: магматических (вулканогенных и интрузивных) образований рифея и метаморфических пород Тараташского архей-нижнепротерозойского комплекса (см. табл. 2), так и более удаленных питающих провинций. Источниками циркона с датировкой 996–1029 млн лет могли быть магматические комплексы гренвилльского (950–1220 млн лет) Свеко-Норвежского орогена северо-западной части Восточно-Европейской платформы. Устойчивое доминирование детритового циркона этой достаточно удаленной от Южного Урала области сноса отмечено ранее для пород укской свиты позднего рифея, подстилающих вендские образования в регионе (Зайцева и др., 2022). Попу-

ляция обломочных зерен циркона с датировками 1140–1230 млн лет установлена и в базальных горизонтах каратауской серии – бирьянской подсвите зильмердакской свиты (Маслов и др., 2018а) – и широко присутствует в позднедокембрийских прогибах центральной и западной частей Восточно-Европейской платформы (Зайцева и др., 2023; Paszkowski et al., 2019, 2021). Такой масштаб предполагает, что транспортировка обломочного материала из удаленной Свеко-Норвежской области сноса могла осуществляться крупной трансконтинентальной рекой (Пучков, 2003).

Иные представления о питающей провинции для пород ашинской серии предложены на основе палеотектонических построений, в которых в неопротерозое (когда Балтика была частью Родинии) рядом с Южно-Уральской частью Балтики размещался Квинслендский край Австралии (Кузнецов и др., 2012). Эти предположения опирались на сходство результатов KS-теста возрастов детритового циркона из песчаников ашинской серии и одновоз-

растных кварцито-песчаников комплекса Кап Ривер Австралии. По мнению указанных авторов, это означает, что Квинслендский край Австралии был восточным континентальным бортом, который поставлял цирконовую кластику в ашинский палеобассейн.

Датировка 579 млн лет детритового циркона из песчаников басинской свиты близка к таковой (572–577 млн лет) цирконов из туфовых прослоев, заключенных в осадках басинской свиты (Разумовский и др., 2020; Рязанцев и др., 2022, 2023), что позволяет в качестве еще одного дополнительно источника сноса для басинских песчаников рассматривать пирокластический материал эксплозивной вулканической деятельности в период формирования рассматриваемых отложений.

Другим важным источником детритового циркона для песчаников басинской свиты могли быть осадочные образования, выведенные на довендскую поверхность размыва на Южном Урале и сопредельной части Волго-Уральской области. В этом случае определение источников цирконовой кластики, участвующей в осадочном процессе на протяжении нескольких циклов седиментации, представляет значительные трудности из-за сложности восстановления степени рециклинга цирконов и связанной с этим возможной потерей цирконами первичной информации (Краснобаев, 2019б). Таким образом, осадочные породы также могли быть источниками цирконов с датировками, не отвечающими времени проявления известных магматических событий: навыйшский, машакский и игонинский эпизоды магматической деятельности (Puchkov et al., 2021)

ВЫВОДЫ

Значительная часть полученных U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датировок цирконов находится в возрастном диапазоне 1416–1794 и 1152–1370 млн лет, цирконы могли поступать как из местных уральских источников, включая магматические образования рифея (Бердяушский, Ахмеровский, Барангуловский, Мазаринский и другие интрузии и вулканогенные комплексы: навыйшский трахибазальтовый, машакский риолит-базальтовый и игонинский метабазаальтовый), так и из более удаленных питающих провинций Волго-Урала, Сарматии и Фенноскандии.

Цирконы с датировками 996–1029 млн лет среди уральских источников сноса для басинской свиты не отмечены. Потенциальным источником детритовых цирконов этого временного интервала могут быть магматические породы гренвилльского (950–1220 млн лет) Свеко-Норвежского орогена, которые рассматривались и ранее для отложений укской свиты позднего рифея, подстилающих вендские толщи в регионе (Зайцева и др., 2022).

По мнению других исследователей (Кузнецов и др., 2012), источником обломочного материала для ашинской серии мог быть метаморфический комплекс Кап Ривер Австралии. Обсуждать правомерность такого толкования, как и других вариантов источников сноса для осадков басинской свиты, используя только возрастные параметры детритовых цирконов двух проб: U17-16 (данная статья) и 09-027 (Кузнецов и др., 2012), отобранных из одного разреза, в рамках данной статьи преждевременно.

Источником наиболее древней популяции цирконов архейского (2683–3203 млн лет) и раннепротерозойского (1802–2190 млн лет) возраста могли быть как метаморфические породы тараташского комплекса, возрастные границы которого 1800–3500 млн лет (Синдерн и др., 2006; Ронкин и др., 2007; Краснобаев и др., 2019б), так и кристаллические породы Волго-Урала.

Для циркона с датировкой 579 млн лет, близкой к таковой (572–577 млн лет (Разумовский и др., 2020; Рязанцев и др., 2022, 2023)) цирконов из туфовых прослоев в басинской свите, источником мог быть материал вулканических извержений, происходивших в это время, по мнению ряда исследователей, на Урале и Тимане (Карта ..., 1983), Уральской окраине платформы (Хераскова и др., 2023), крайнем юге зоны Уралтау (Самыгин и др., 2010). Происхождение пепловых прослоев в верхневендских отложениях Восточно-Европейской платформы и ее восточной и северо-восточной периферии Н.Б. Кузнецов с соавторами (2017) связывают с Волыньским внутриплитным магматическим событием, а не с вулканическими процессами в Протоуральско-Тиманском орогене.

Цирконы с датировками, не отвечающими времени проявления известных магматических событий в регионе: навыйшский, машакский и игонинский эпизоды магматической деятельности (Puchkov et al., 2021), отнесены нами к цирконам из осадочных пород, выведенных на довендскую поверхность размыва на Южном Урале и сопредельной части Волго-Уральской области. Однако детритовые цирконы в осадочном процессе существуют на протяжении нескольких циклов седиментации, поэтому использование только возрастных параметров недостаточно для определения осадочных комплексов, послуживших источником обломочного материала, в том числе и для песчаников басинской свиты.

В целях получения дополнительной характеристики источников цирконовой кластики в изученном образце датирование проведено для трех разновидностей циркона по окраске (розовые, бледно-розовые и бесцветные). Установить связь между разными типами циркона по окраске и их источниками не получилось, так как окраска цирконов из магматических комплексов, предполагае-

мых источников цирконовой кластики, в публикациях не указывалась. Однако выявлена некоторая особенность детритовых цирконов по окраске: среди розовых разностей количество цирконов архейского и раннепротерозойского возраста составляет половину всех зерен, тогда как в выборках бледно-розовых и бесцветных разновидностей количество наиболее древнего циркона не достигает и четверти от общего количества зерен в выборке. Возможно, интенсивность окраски циркона из басинской свиты может служить косвенным признаком более древнего возраста обломочных зерен.

Результаты U-Th-Pb (LA-ICP-MS) изотопно-геохронологических исследований более представительной выборки детритовых цирконов из песчаников басинской свиты в разрезе по руч. Кукраук уточнили и дополнили полученную ранее (Кузнецов и др., 2012) информацию о возрасте пород в области сноса, послуживших источниками цирконовой кластики для песчаников басинской свиты. Дальнейшие изотопно-геохронологические и геохимические исследования цирконовой кластики из отложений венда Урала и Восточно-Европейской платформы, а также цирконов из пород предполагаемых питающих провинций позволят восстановить палеогеографию осадочных бассейнов в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беккер Ю.Р. (1968) Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л.: Недра, 160 с.
- Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Недра, 288 с.
- Вотьяков С.Л., Сергеева Н.Д., Крохалев В.Я., Чернышев Ю.В. (1985) Спектроскопические свойства цирконов верхнедокембрийских образований Южного Урала. *Ежегодник-1984*. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 33-36.
- Гарань М.И. (1946) Возраст и условия образования древних свит западного склона Южного Урала. М.: Госгеолиздат, 51 с.
- Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В. (2011) Котлинский горизонт на Южном Урале. *Докл. АН*, **440**(2), 201-206.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Мельников Н.Н., Аракелянц М.М., О.В.Яковлева (2008) Мессбауэровские характеристики, минералогия и изотопный возраст (Rb-Sr и K-Ar) верхнерифейских глауконитов укской свиты Южного Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **14**(3), 3-24.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М., Горохов И.Н., Ивановская Т.А., Константинова Г.В. (2019) Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **27**(5), 82-96. DOI: 10.31857/S0869-592X27582-96
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Сергеева Н.Д., Адамская Е.В., Плоткина Ю.В. (2022) U-Th-Pb-возраст детритового циркона из оолитовых известняков укской свиты: следы гренвилльских источников сноса в позднем рифее Южного Урала. *Докл. АН. Науки о Земле*, **503**(2), 90-96. DOI: 10.31857/S2686739722040193
- Зайцева Т.С., Кузьменкова О.Ф., Кузнецов А.Б., Ковач В.П., Гороховский Б.М., Плоткина Ю.В., Адамская Е.В., Лапцевич А.Г. (2023) U-Th-Pb возраст детритовых цирконов из рифейских отложений Волюно-Оршанского палеопротгиба (Беларусь). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **31**(5), 42-62. DOI: 10.31857/S0869592X23050101
- Карта докембрийских формаций Русской платформы и ее складчатого обрамления (со снятыми фанерозойскими отложениями) 1 : 2 500 000. Объяснительная записка. (1983). (Под ред. Ю.Р. Беккер). Л.: ВСЕГЕИ, 172 с.
- Келлер Б.М. (1973) Тектоническая история и формации верхнего докембрия. *Итоги науки. Сер. Общ. геология*. М.: ВИНТИ, 119 с.
- Ковач В.П., Котов А.Б., Гладкочуб Д.П., Толмачева Е.В., Великославинский С.Д., Гороховский Б., Подковыров В., Загорная Н.Ю., Плоткина Ю.В. (2018) Возраст и источники метапесчаников чинейской подсерии (Удоканская серия, Алданский щит): результаты U-Th-Pb геохронологического (LA-ICP-MS) и Nd изотопного изучения. *Докл. АН. Науки о Земле*, **482**(2), 177-180. DOI: 10.31857/S086956520003184-5
- Козлов В.И. (1982) Верхний рифей и венд Южного Урала. М.: Наука, 128 с.
- Краснобаев А.А. (1986) Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 147 с.
- Краснобаев А.А., Вотьяков С.Л., Грамолин А.Б., Боткунов А.И., Илупин И.П., Саматов М.В. (1981) Электронно-оптические свойства цирконов из кимберлитов. *Геохимия*, **4**, 571-577.
- Краснобаев А.А., Вотьяков С.Л., Крохалев В.Я. (1988) Спектроскопия цирконов (свойства, геологические приложения). М.: Наука, 150 с.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Ларионов А.Н., Нехорошева А.Г., Бережная Н.Г. (2007) Полигенно-полихронная цирконология и проблема возраста Барангуловского габбро-гранитного комплекса. *Докл. АН*, **416**(2), 241-246.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Родионов Н.В., Нехорошева А.Г., Кисеева К.Н. (2008) Ахмеровский гранитный массив – представитель мезопротерозойского интрузивного магматизма на Южном Урале. *Докл. АН*, **418**(2), 241-246.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2012) Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал). *Литосфера*, (4), 127-140.
- Краснобаев А.А., Попов В.С., Беляцкий Б.В. (2011) Хронологические и генетические соотношения интрузивных пород Бердяшского плутона (Южный Урал) в свете новых U-Pb и Sm-Nd изотопных данных. *Зап. РМО, Ч. СХХХХ*, **2**, 59-73.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2019а) U-Pb (SHRIMP) возраст цирконов из гранитоидной гальки конгломератов куккараукской свиты ашинской серии венда Алатауского антиклинория (Южный Урал). *Докл. АН*, **486**(5), 598-602. DOI: doi.org/10.31857/S0869-56524865598-602
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2019б) Природа цирконовой кластики в песчаниках рифея и венда Южного Урала. *Георесурсы*, **21**(1), 15-25. DOI: https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.15-25

- Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т., Романюк Т.В., Маслов А.В. (2017) Результаты геохронологического и изотопно-геохронологического изучения циркона из туфов сыльвицкой серии (западный склон Среднего Урала): к происхождению пепловых прослоев в вендских толщах Восточно-Европейской платформы. *Докл. АН*, **473**(3), 341-345. DOI: 10.7868/S0869565217090183
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Орлов С.Ю., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Ипатьева И.С. (2012) Первые результаты массового U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритовых цирконов из ашинской серии Южного Урала: палеографические и палеотектонические аспекты. *Докл. АН*, **447**(1), 73-79.
- Кухаренко А.А. (1961) Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 316 с.
- Ляхович В.В. (1981) Методы сепарации акцессорных минералов. М.: Недра, 86 с.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н. (2010) Песчаники верхнего рифея и венда Башкирского мегантиклинория. *Литология и полезн. ископаемые*, **3**, 320-338.
- Маслов А.В., Ерохин Ю.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. (2018а) Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал). *Докл. АН*, **482**(5), 558-561.
- Маслов А.В., Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018б) Аршинская серия рифея Южного Урала: к вопросу о геодинамической природе породных ассоциаций. *Докл. АН*, **480**(1), 64-68.
- Маслов А.В., Кузнецов А.Б., Крамчанинов А.Ю., Шпакович Л.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н., Ковалев С.Г. (2022) Источники сноса верхнедокембрийских глинистых пород Южного Урала: результаты геохимических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **30**(1), 33-54.
- Олли А.И. (1948) Древние отложения западного склона Урала. Саратов: СГУ, 414 с.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н. (2003) Есть ли основания предполагать наличие в восточной Балтике реликтов пассивной окраины Родинии? *Магматизм на пассивных окраинах Родинии*. Мат-лы Междунар. конф. (в рамках проекта МПГК-440). Уфа: ИГ УНЦ РАН, 5-6.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Разумовский А.А., Новиков И.А., Рязанцев А.В., Рудько С.В., Кузнецов Н.Б., Яшунский Ю.В. (2020) Древнейшие вендские ископаемые Евразии: U-Pb изотопный возраст басинской свиты (ашинская серия, Южный Урал). *Докл. АН. Науки о Земле*, **495**(2), 3-8. DOI 10.31857/S2686739720120099
- Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С. (2013) Первые результаты U/Pb LA-ICP-MS датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклинория (Южный Урал). *Докл. АН*, **452**(6), 642-645.
- Ронкин Ю.Л., Матуков Д.И., Пресняков С.Л., Лепехина Е.Н., Лепехина О.П., Попова О.Ю. (2005) "In situ" U-Pb SHRIMP датирование цирконов нефелиновых сиенитов Бердяушского массива (Южный Урал). *Литосфера*, (1), 135-142.
- Ронкин Ю.Л., Синдерн С., Маслов А.В., Матуков Д.И., Крамм У., Лепехина О.П. (2007) Древнейшие (3.5 млрд лет) цирконы Урала: U-Pb (SHRIMP-II) и T_{DM} ограничения. *Докл. АН*, **415**(5), 651-657.
- Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Новиков И.А., Куртукова А.И., Каныгина Н.А., Яшунский Ю.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С. (2023) Возраст вулканических туфов в разрезах басинской и зиганской свит ашинской серии венда (эдиакария) на Южном Урале: результаты U-Th-Pb (SIMS и LA-ICP-MS) датирования акцессорного циркона. *Докл. АН*, **508**(1), 68-78. DOI:10.31857/S2686739722602149
- Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Новиков И.А., Куртукова А.И., Яшунский Ю.В. (2022) Вулканические туфы в разрезах ашинской серии венда (эдиакария) на Южном Урале и их возраст: результаты U-Th-Pb (SIMS) датирования акцессорного циркона. *Возраст и корреляция магматических, метаморфических, осадочных и рудообразующих процессов. VIII Росс. конф. по изотопной геохронологии*, 125-126.
- Самыгин С.Г., Белова А.А., Рязанцев А.В., Федотова А.А. (2010) Фрагменты вендской конвергентной окраины на Южном Урале. *Докл. АН*, **432**(5), 644-649.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. (2015) Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифея и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **23**(6), 16-27.
- Сергеева Н.Д. (2014) Минералогические особенности отложений венда Южного Урала. *Тр. Южно-Уральского государственного природного заповедника*, 161-176.
- Сергеева Н.Д. (1986) Сопоставление вендских отложений западного крыла Башкирского мегантиклинория (Южный Урал) и юго-восточной окраины Русской плиты по акцессорным минералам. *Докембрий и палеозой Южного Урала*, 24-36.
- Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Козлова О.В., Ратов А.А. (2019) Ашинская серия венда: орогенный комплекс тиманид на Южном Урале. *Геол. вестник*, **1**, 3-34. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087-2019-1-1>.
- Синдерн С., Ронкин Ю.Л., Хетцель Р., Шульте Б.А., Крамм У., Маслов А.В., Лепехина О.П., Попова О.Ю. (2006) Тараташский и Александровский метаморфические комплексы (Южный Урал): T-t ограничения. *Ежегодник-2005*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 322-330.
- Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Патица И.С., Сапожников Р.Б. (2023) Строение зоны сочленения микроконтинентов Сарматия, Волго-Урاليا и Фенноскандия в составе фундамента Восточно-Европейской платформы. *Литосфера*, **23**(3), 309-324. DOI: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-3-309-324>
- Шатский Н.С. (1960) Принципы стратиграфии позднего докембрия и объем рифейской группы. *Стратиграфия позднего рифея и кембрия*. Международный геоло-

гический конгресс; 21-я сессия. Докл. советской геологии, 5-15.

- Andersson U., Neymark L.A., Billstrom K. (2002) Petrogenesis of the Mesoproterozoic (Subjotnian) rapakivi complexes of central Sweden: implications from U-Pb zircon ages, Nd, Sr and Pb isotopes. *Trans. R. Soc. Edinburgh. Earth. Sci.*, **92**, 201-228.
- Cappelletti G., Ardizzone S., Fermo P., Gilardoni S. (2005) The influence of iron content on the promotion of the zircon structure and the optical properties of pink coral pigments. *J. Europ. Ceramic Soc.*, **25**(6), 911-917.
- Corfu F., Hanchar J.M., Hoskin P.W.O., Kinny P. (2003) Atlas of zircon textures. *Rev. Mineral. Geochem.*, **53**(1), 469-500. DOI: 10.2113/0530469
- Gehrels G.E. (2012) Detrital zircon U-Pb geochronology: current methods and new opportunities. *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. (Eds C. Busby, A. Azor). Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 47-62.
- Gehrels G.E. (2014) Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **42**, 127-149.
- Hoskin P.W.O., Schaltegger U. (2003) The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Rev. Mineral. Geochem.*, **53**(1), 27-62. DOI: 10.2113/0530027
- Nicholas J.V. (1967) Origin of the luminescence in natural zircon. *Nature*, **215**(5109), 1476.
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Shumlyanskyy L., Środoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamägi S., Pisarzowska A. (2019) Detrital zircon U-Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, Belarus. *Precamb. Res.*, **331**, 1-19.
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Środoń J., Ian L. Millar, Shumlyanskyy L., Kędzior A., Liivamägi S., (2021) Detrital zircon U-Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, part II: Ukraine. *Precamb. Res.*, **362**, 106282
- 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.*, 106186, 21-24.
- Puchkov V.N., Krasnobayev A.A., Sergeeva N.D. (2014) The New Data on Vanaphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia. *J. Geosci. Environ. Protect.*, **2**, 108-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2014.23015>
- Rubatto, D. (2017) Zircon: The metamorphic mineral. *Rev. Mineral. Geochem.*, **83**(1), 261-295. DOI: 10.2138/rmg.2017.83.9
- Spencer C.J., Kirkland C.L., Taylor R.J.M. (2016) Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U-Pb zircon geochronology. *Geosci. Front.*, **7**(4), 581-589. DOI: 10.1016/j.gsf.2015.11.006
- Stiebler M., Steudtner C., Kemmler-Sack S. (1992) Praseodymium zircon yellow. *Physica Status Solidi*, **132**(2), 495-500.
- Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. (2001) LA-ICP-MS in the Earth Sciences Data reduction software for LA-ICP-MS, Appendix 3. Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences. (Ed. P. Sylvester). *Can. Mineral. Assoc. Short Course Handbook*, **29**, 239-243.
- Vermeesch P. (2018) IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology. *Geosci. Front.*, **9**, 1479-1493.
- Willner A.P., Sindern S., Metzger R., Ermolaeva T., Kramm U., Puchkov V., Kronz A. (2003) Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals (Russia): early time marks at the eastern margin of Baltica. *Precamb. Res.*, **124**(1), 1-20.

REFERENCES

- ical processes. Moscow, Nauka Publ., 147 p. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Lari-onov A.N., Nekhorosheva A.G., Berezhnaya N.G. (2007) Polygenic-polychronous zirconology and the age problem of the Barangul gabbro-granite complex. *Dokl. Earth Sci.*, **416**(2), 241-246. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Rodi-onov N.V., Nekhorosheva A.G., Kiseeva K.N. (2008) Akhmerov granite massif is a representative of Meso-proterozoic intrusive magmatism in the Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **418**(2), 241-246. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergee-va N.D., Busharina S.V. (2012) New data on the zircon geochronology of the Arsha volcanics (Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, (4), 127-140. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Popov V.S., Belyatskii B.V. (2011) Chron-ological and genetic correlations of intrusive rocks of the Berdyaus Pluto (Southern Urals) in the light of new U-Pb and Sm-Nd isotope data. *Zapiski RMO*, Ch. CXXXX, **2**, 59-73. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Bushari-na S.V. (2019a) U-Pb (SHRIMP) age of zircons from gran-itoid pebbles of conglomerates of the Kukkarauk forma-tion of the Asha series of the Vendian Alatau anticlinori-um (Southern Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **486**(5), 598-602. (In Russ.) doi.org/10.31857/S0869-56524865598-602
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Bush-arina S.V. (2019b) The nature of zircon clusters in the Riphean and Vendian sandstones of the Southern Urals. *Georesursy*, **21**(1), 15-25. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.15-25
- Krasnobaev A.A., Votyakov S.L., Gramolin A.B., Botku-nov A.I., Ilupin I.P., Samatov, M.V. (1981) Electron-op-tical properties of zircon from kimberlite. *Geokhimiya*, (4), 571-577. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Votyakov S.L., Krokhelev V.Ya. (1988) Zircon spectroscopy (properties, geological applica-tions). Moscow, Nauka Publ., 150 p. (In Russ.)
- Kukharensko A.A. (1961) Mineralogy of placers. Moscow, Gosgeolizdat Publ., 316 p. (In Russ.)
- Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Orlov S.Ju., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Ipat'eva I.S. (2012) The first results of mass U/Pb isotope dating (LA-ICP-MS) of detrital zircons from the Asha series of the South-ern Urals: paleogeographic and paleotectonic aspects. *Dokl. Earth Sci.*, **447**(1), 73-79. (In Russ.)
- Lyakhovich V.V. (1981) Methods of separation of accessory minerals. Moscow, Nedra Publ., 86 p. (In Russ.)
- Map of the Precambrian formations of the Russian Plat-form and its folded margin (with Phanerozoic depos-its removed) 1:2,500,000. Explanatory note. (1983) (Ed. Yu.R. Becker). Leningrad, VSEGEI Publ., 172 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Erokhin Yu.V., Gerdes A., Ronkin Yu.L., Iva-nov K.S. (2018a) First results of U-Pb LA-ICP-MS iso-tope dating of detrital zircons from arkosic sandstones of the Biryan subformation of the Zilmerdak suite of the Upper Riphean (Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **482**(5), 558-561. (In Russ.)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Podkovyrov V.N. (2010) Upper Riphean and Vendian sandstones of the Bashkir mega-anticlinorium. *Litologiya i Polezn. Iskopaemye*, **3**, 320-338. (In Russ.)
- Maslov A.V., Kovalev S.G., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2018b) Arsha Series of the Riphean of the Southern Urals: on the geodynamic nature of rock associations. *Dokl. Akad. Nauk*, **480**(1), 64-68. (In Russ.)
- Maslov A.V., Kuznetsov A.B., Kramchaninov A.Yu., Shpak-ovich L.V., Gareev E.Z., Podkovyrov V.N., Kovalev S.G. (2022) Provenance sources of Upper Precambrian clayey rocks of the Southern Urals: results of geochemical and Sm-Nd isotope-geochemical studies. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **30**(1), 33-54. (In Russ.)
- Nicholas J.V. (1967) Origin of the luminescence in natural zircon. *Nature*, **215**(5109), 1476.
- Olli A.I. (1948) Ancient deposits of the western slope of the Urals. Saratov, SSU Publ., 414 p. (In Russ.)
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Shumly-anskyy L., Środoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamä-gi S., Pisarzowska A. (2019) Detrital zircon U-Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, Belarus. *Precamb. Res.*, **331**, 1-19.
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Środoń J., Ian L. Millar, Shumlyanskyy L., Kędzior A., Liivamä-gi S. (2021) Detrital zircon U-Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoprotero-zoic to Cambrian sedimentary cover of the East Europe-an Craton, part II: Ukraine. *Precamb. Res.*, **362**, 106282.
- Puchkov V.N. (2003) Are there grounds to assume the presence of relics of the passive margin of Rodinia in the eastern Baltic? *Magmatism on the passive margins of Rodinia*. Proc. of the Int. Conf. (within the framework of the project IPGK-440). Ufa, IG UNTs RAN Publ., 5-6.
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynam-ics and metallogeny). Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2000) Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals. Ufa, Dauria Publ., 146 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. (2021) The impor-tance 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.*, 106186, 21-24.
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. (2014) The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stra-totype in the Southern Urals, Russia. *J. Geosci. Envi-ron. Protect.*, **2**, 108-116. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/gep.2014.23015
- Razumovskii A.A., Novikov I.A., Ryazancev A.V., Rud'ko S.V., Kuznetsov N.B., Jashunskii Yu.V. (2020) The oldest Vendi-an fossils of Eurasia: U-Pb-isotopic age of the Basu For-mation (Asha series, Southern Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **495**(2), 3-8. (In Russ.) DOI 10.31857/S2686739720120099
- Romanyuk T.V., Maslov A.V., Kuznetsov N.B., Be-lousova E.A., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Goro-zhanin V.M., Gorozhanina E.N., Seregina E.S. (2013). First results of U/Pb LA-ICP-MS dating of detrital zir-cons from Upper Riphean sandstones of the Bashkirian Anticlinorium (Southern Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **452**(6), 642-645. DOI: 10.1134/S1028334X13060244
- Ronkin Y.L., Matukov D.I., Presnyakov S.L., Lepekhi-na E.N., Lepekhina O.P., Popova O.Yu. (2005) "In situ" U-Pb SHRIMP dating of zircons of nepheline syenites of the Berdyaus massif (Southern Urals). *Lithosphere (Rus-sia)*, (1), 135-142. (In Russ.)
- Ronkin Y.L., Sindern S., Maslov A.V., Matukov D.I., Kramm U., Lepekhina O.P. (2007) The oldest (3.5 bil-

- lion years old) zircons of the Urals: U-Pb (SHRIMP-II) and T_{DM} restrictions. *Dokl. Earth Sci.*, **415**(5), 651-657. (In Russ.)
- Rubatto D. (2017) Zircon: The metamorphic mineral. *Rev. Miner. Geochem.*, **83**(1), 261-295. DOI: 10.2138/rmg.2017.83.9
- Ryazantsev A.V., Razumovskii A.A., Novikov I.A., Kurtukova A.I., Kanygina N.A., Yashunskii Ju.V., Dubenskii A.S., Sheshukov V.S. (2023) The age of volcanic tuffs in sections of the Basu and Zigan Formations of the Asha Vendian series (Ediacarian) in the Southern Urals: results of U-Th-Pb (SIMS and LA-ICP-MS) dating of accessory zircon. *Dokl. Earth Sci.*, **508**(1), 68-78. (In Russ.) DOI:10.31857/S2686739722602149
- Ryazantsev A.V., Razumovskii A.A., Novikov I.A., Kurtukova A.I., Yashunskii Ju.V. (2022) Volcanic tuffs in sections of the Asha Vendian (Ediacarian) series in the Southern Urals and their age: results of U-Th-Pb (SIMS) dating of accessory zircon. *Age and correlation of magmatic, metamorphic, sedimentary, and ore-forming processes*. VIII Russ. Conf. on Isotope Geochronology, 125-126. (In Russ.)
- Samygin S.G., Belova A.A., Ryazantsev A.V., Fedotova A.A. (2010) Fragments of the Vendian convergent margin in the Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **432**(5), 644-649. (In Russ.)
- Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Chumakov N.M. (2015) Isotopic age of the boundaries of common stratigraphic units of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) of Russia: evolution of views and modern assessment. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **23**(6), 16-27. (In Russ.)
- Sergeeva N.D. (1986) Comparison of Vendian deposits of the western wing of the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals) and the southeastern margin of the Russian plate by accessory minerals. *Precambrian and Paleozoic of the Southern Urals*, 24-36. (In Russ.)
- Sergeeva N.D. (2014) Mineralogical features of Vendian deposits of the Southern Urals. *Tr. Yuzhno-Ural'skogo Gos. Prirodnogo Zapovednika*, 161-176. (In Russ.)
- Sergeeva N.D., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Kozlova O.V., Ratov A.A. (2019) Asha Vendian series: Timanid orogenic complex in the Southern Urals. *Geol. Vestnik*, **1**, 3-34. (In Russ.) DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087-2019-1-1>.
- Shatskii N.S. (1960) Principles of Late Precambrian stratigraphy and the volume of the Riphean group. *Stratigraphy of the Late Riphean and Cambrian*. Int. Geol. Congr.; 21st sess. *Dokl. Soviet Geol.*, 5-15. (In Russ.)
- Sinder S., Ronkin Yu.L., Hetzel R., Schulte B.A., Kramm U., Maslov A.V., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2006) Taratash and Aleksandrovsky metamorphic complexes (Southern Urals): T-t constraints. *Ezhгодnik -2005*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 322-330. (In Russ.)
- Spencer C.J., Kirkland C.L., Taylor R.J.M. (2016) Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U-Pb zircon geochronology. *Geosci. Front.*, **7**(4), 581-589. DOI: 10.1016/j.gsf.2015.11.006
- Stiebler M., Steudtner C., Kemmler-Sack S. (1992) Praseodymium zircon yellow. *Physica Status Solidi*, **132**(2), 495-500.
- Van Achtebergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. (2001) LA-ICP-MS in the Earth Sciences Data reduction software for LA-ICP-MS, Appendix 3. Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences. (Ed. P. Sylvester) *Can. Mineral. Assoc. Short Course Handbook*, **29**, 239-243.
- Votyakov S.L., Sergeeva N.D., Krokhaev V.Ya., Chernyshev Yu.V. (1985) Spectroscopic properties of zircons of the Upper Precambrian formations of the Southern Urals. *Ezhгодnik-1984*. Sverdlovsk, IGG UNTs AN SSSR Publ., 33-36. (In Russ.)
- Vermeesch P. (2018) IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology. *Geosci. Front.*, **9**, 1479-1493.
- Willner A.P., Sindern S., Metzger R., Ermolaeva T., Kramm U., Puchkov V., Kronz A. (2003) Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals (Russia): early time marks at the eastern margin of Baltica. *Precamb. Res.*, **124**(1), 1-20.
- Zaitseva T.S., Gorokhov I.M., Ivanovskaya T.A., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Mel'nikov N.N., Arakelyants M.M., Yakovleva O.V. (2008) Messbauer characteristics, mineralogy, and isotopic age (Rb-Sr and K-Ar) Upper Nerife glauconites of the Uksky Formation of the Southern Urals. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **14** (3), 3-24.
- Zaitseva T.S., Kuz'menkova O.F., Kuznetsov A.B., Kovach V.P., Gorokhovskii B.M., Plotkina Yu.V., Adamskaya E.V., Laptsevich A.G. (2023) U-Th-Pb age of detrital zircons from the Riphean deposits of the Volyn-Orsha paleoprobe (Belarus). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **31**(5), 42-62. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869592X23050101
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Gorozhanin V.M., Gorokhov I.N., Ivanovskaya T.A., Konstantinova G.V. (2019) The foundation of the Vendian in the Southern Urals: Rb-Sr age of the glauconites of the Bakeyev Formation. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **27**(5), 82-96. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869-592X27582-96
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Sergeeva N.D., Adamskaya E.V., Plotkina Yu.V. (2022) U-Th-Pb-age of detrital zircon from oolitic limestones of the Uk Formation: traces of Grenville sources of demolition in the Late Riphean of the Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **503**(2), 90-96. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2686739722040193