

УДК 551.71/72(234.851)

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-760

U-Pb (LA-SF-ICP-MS) возраст и вероятные источники сноса детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала

А. М. Пыстин¹, О. В. Гракова¹, Ю. И. Пыстина¹, Е. В. Кушманова¹, К. С. Попвасев¹,
И. Л. Потапов¹, В. Б. Хубанов²

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54,
e-mail: pystin.48@mail.ru

²Геологический институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновская, 6а

Поступила в редакцию 19.07.2022 г., принята к печати 14.10.2022 г.

Объект исследований. Верхнедокембрийские метатерригенные отложения северной части Ляпинского антиклинария на Приполярном Урале. **Материал и методы.** Из метатерригенных пород верхнедокембрийского разреза разного стратиграфического уровня выделены монофракции цирконов и выполнены их оптические и изотопно-геохронологические U-Pb (LA-SF-ICP-MS) исследования. **Результаты.** Уточнены временные границы формирования пуйвинской, хобейнской и мороинской свит на Приполярном Урале. Проведено сравнение возрастных групп детритовых цирконов из метатерригенных отложений Приполярного Урала и близких к ним по возрасту терригенных толщ сопредельных районов. Установлены возрастные границы и предполагаемое расположение кристаллических комплексов – вероятных источников сноса терригенного материала. **Выводы.** Нижняя возрастная граница формирования базальных слоев верхнего докембрия Приполярного Урала не выходит за пределы позднего рифея. Северо-восточная периферия Восточно-Европейской платформы, включая Приполярный Урал, в позднем докембрии принадлежала одной и той же континентальной окраине, а нижний возрастной рубеж формирования пуйвинской свиты (около 1000 млн лет назад) определяет вероятное время заложения Тиманской пассивной окраины.

Ключевые слова: Приполярный Урал, Тиман, верхний докембрий, Тиманская пассивная окраина, детритовые цирконы

Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ. Проект № 22-27-00119

U-Pb (LA-SF-ICP-MS) dating and probable provenance of detrital zircons from terrigenous deposits of the Upper Precambrian of the Subpolar Urals

Alexandr M. Pystin¹, Oksana V. Grakova¹, Yuliya I. Pystina¹, Evgeniya V. Kushmanova¹,
Konstantin S. Popvasev¹, Igor L. Potapov¹, Valentin B. Khubanov²

¹Institute of Geology, Komi Science Center UB RAS, 54 Pervomaiskaya st., 167982 Syktyvkar, Russia,
e-mail: pystin.48@mail.ru

²Geological Institute SB RAS, 6a Sakhyanovskaya st., 670047 Ulan-Ude, Russia

Received 19.07.2022, accepted 14.10.2022

Research subject. Upper Precambrian metaterrigenous deposits of the northern part of the Lyapinsky anticlinorium in the Subpolar Urals. **Material and methods.** From the metaterrigenous rocks of the Upper Precambrian section of different stratigraphic levels, monofractions of zircons were isolated and their optical and isotope-geochronological (U-Pb LA-SF-ICP-MS) studies were performed. **Results.** Age boundaries of the formation of the Puivinskaya, Khobeinskaya, and Moroin-skaya Formations in the Subpolar Urals were specified. A comparison was carried out of age populations of detrital zircons from metaterrigenous deposits of the Subpolar Urals and terrigenous sequences of adjacent regions similar in age. The age boundaries and the proposed location of crystalline complexes, the probable provenance areas of terrigenous material, were established. **Conclusions.** The lower age limit of the formation of the basal layers of the Upper Precambrian of

Для цитирования: Пыстин А.М., Гракова О.В., Пыстина Ю.И., Кушманова Е.В., Попвасев К.С., Потапов И.Л., Хубанов В.Б. (2022) U-Pb (LA-SF-ICP-MS) возраст и вероятные источники сноса детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала. *Литосфера*, 22(6), 741-760. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-760>

For citation: Pystin A.M., Grakova O.V., Pystina Yu.I., Kushmanova E.V., Popvasev K.S., Potapov I.L., Khubanov V.B. (2022) U-Pb (LA-SF-ICP-MS) dating and probable provenance of detrital zircons from terrigenous deposits of the Upper Precambrian of the Subpolar Urals. *Lithosphere (Russia)*, 22(6), 741-760. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-760>

© А.М. Пыстин, О.В. Гракова, Ю.И. Пыстина, Е.В. Кушманова, К.С. Попвасев, И.Л. Потапов, В.Б. Хубанов, 2022

the Subpolar Urals does not go beyond the Late Riphean. The north-eastern periphery of the East European Platform, including the Subpolar Urals, in the Late Precambrian belonged to the same continental margin, and the accumulation of the Middle-North Timan and Subpolar Ural Upper Riphean sediments occurred in the common sedimentation basin. The lower age boundary of the formation of the Puyvinskaya Formation (about 1000 Ma) determines the probable formation time of the Timan passive margin.

Key words: Subpolar Urals, Timan, Upper Precambrian, Timan passive margin, detrital zircons

Funding information

The work was supported by the Russian Science Foundation. Project No. 22-27-00119

ВВЕДЕНИЕ

На Приполярном Урале в северной части Ляпинского антиклинория представлен наиболее полный разрез докембрия для всего Тимано-Североуральского региона, включающего в себя Канино-Тиманскую гряду, Печорскую синеклизу, северную часть Урала и Пай-Хой (рис. 1). В соответствии со схемой последнего Уральского межведомственного стратиграфического совещания (Стратиграфические..., 1993), здесь выделяются нижнепротерозойский нятинский метаморфиче-

ский комплекс и верхнедокембрийские стратоны (снизу вверх): маньхобейнская (RF_1), шокуринская (RF_1), пуйвинская (RF_2), хобейнская (RF_3), мороинская (RF_3), саблегорская (RF_3-V_1) и лаптопайская (V_2) свиты (рис. 2).

В наших прежних работах показано, что метаморфические толщи, выделенные как маньхобейнская и шокуринская свиты, относятся к дорифейским образованиям (Глубинное..., 2011; Пыстин, Пыстина, 2014, 2018а, б; Пыстин и др., 2019; и др.), а верхнепротерозойский разрез Приполярного Урала начинается не с маньхобейнской, а с пуйвинской свиты, как это ранее предполагали М.В. Фишман и Б.А. Голдин (1963) и В.Н. Пучков (1975).

Вопрос о возрасте пород пуйвинской свиты, а следовательно, и о нижнем возрастном ограниче-

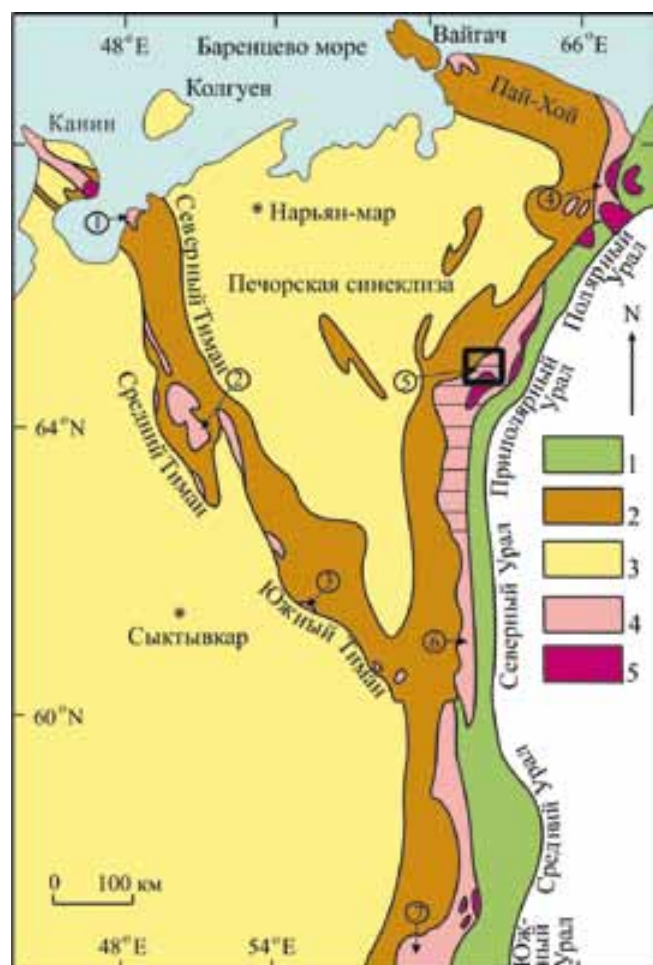


Рис. 1. Схема геологического строения Тимано-Североуральского региона.

1, 2 – палеозойские формации Урала и Тимана: 1 – палеоокеанические, 2 – палеоконтинентальные; 3 – платформенный чехол Восточно-Европейской платформы и Печорской плиты; 4 – верхнепротерозойские формации (заштрихованное поле – Ляпинский антиклинорий); 5 – нижнедокембрийские метаморфические комплексы.

Прямоугольником выделен район исследований. Цифры в кружках – места отбора проб (графики показаны на рис. 5): 1 – № 202 (Андреичев и др., 2018); 2 – № G 1-15 (Удуратина и др., 2017); 3 – № 301, 301А (Кузнецов и др., 2010); 4 – № 4-28 (Уляшева и др., 2019); 5 – № 14, 28, 21 (наши данные); 6 – № 5081-1 (Петров и др., 2015); 7 – № K-12-057 (Романюк и др., 2013).

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the Timan-Urals region.

1, 2 – Paleozoic formations of the Urals and Timan: 1 – paleoceanic, 2 – paleocontinental; 3 – platform cover of the East European Platform and the Pechora Plate; 4 – Upper Proterozoic formations (shaded field – Lyapinsky anticlinorium); 5 – Lower Precambrian metamorphic complexes. The study area is marked with a rectangle. The numbers in circles are the sampling sites (graphs are shown in Fig. 5): 1 – No. 202 (Andreichev et al., 2018); 2 – No. G 1-15 (Uduratina et al., 2017); 3 – No. 301, 301A (Kuznetsov et al., 2010); 4 – No. 4-28 (Ulyasheva et al., 2019); 5 – No. 14, 28, 21 (our data); 6 – No. 5081-1 (Petrov et al., 2015); 7 – No. K-12-057 (Romanyuk et al., 2013).

Подразделение стратиграф. шкалы		(Фишман, Голдин, 1963)	(Стратиграфические..., 1993)	(Государственная..., 2001)	(Государственная..., 2007)	(Государственная..., 2013)
Стратиграфические подразделения: свиты (серии, комплексы)						
PR ₂	V	Лаптопайская	Лаптопайская	Лаптопайская		
	RF ₃	Маньинская Хобеинская Щокуринская Пуйвинская Ошизская — ? —	Саблегорская Мороинская Хобеинская	Саблегорская Мороинская Хобеинская Пуйвинская	Саблегорская Мороинская Хобеинская	Саблегорская Мороинская Хобеинская
	RF ₂		Пуйвинская	Щокуринская Маньхобеинская	Пуйвинская Щокуринская Маньхобеинская	Пуйвинская Щокуринская Маньхобеинская
	RF ₁		Щокуринская Маньхобеинская			Няртинская свита
PR ₁		Николайшорская свита	Няртинский комплекс	Няртинская серия	Няртинская свита	

Рис. 2. Стратиграфические схемы доордовикских отложений Приполярного Урала.

Fig. 2. Stratigraphic schemes of pre-Ordovician deposits in the Subpolar Urals.

нии приполярноуральского верхнего докембрия остается предметом обсуждения. К среднему рифею пуйвинскую свиту относят на основании ее залегания под фаунистически охарактеризованными верхнерифейскими толщами, а также по наличию в породах среднерифейских микрофоссилий (Стратиграфические..., 1993). Однако полученные недавно первые U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датировки детритовых цирконов из метатерригенных сланцев пуйвинской свиты дают основание считать их верхнерифейскими образованиями (Пыстина и др., 2019; Pystin et al., 2020).

Таким образом, разрез верхнего докембрия Приполярного Урала (в северной части Ляпинского антиклинория) составляют (снизу вверх): пуйвинская, хобеинская, мороинская и саблегорская свиты. Отложения лаптопайской свиты на рассматриваемой территории не выделяются. Венчающая разрез докембрия этого региона саблегорская свита в основном сложена вулканогенными породами. Вулканогенно-осадочные и осадочные породы в разрезе свиты встречаются фрагментарно и лишь в виде маломощных прослоев. В составе нижележащих свит, напротив, существенная роль принадлежит терригенным образованиям, которые и явились объектом наших исследований.

В статье приведены известные и вновь полученные данные по U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датированию детритовых цирконов с оценкой возрастных ограничений вмещающих их пород и вероятных источников сноса всех трех верхнедокембрийских стратонтов Приполярного Урала, представленных преимущественно терригенными отложениями пуйвинской, хобеинской и мороинской свит.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ СТАТИФИЦИРОВАННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ДОКЕМБРИЙСКОГО РАЗРЕЗА ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

В основании докембрийского разреза Приполярного Урала (рис. 3) залегают глубокометаморфизованные породы **няртинского комплекса** (гранат-сланцевые гнейсы, гранатовые амфиболиты, мигматиты) и продукты их средне-низкотемпературного диафтореза (мусковит-хлорит-альбит-кварцевые сланцы, эпидотовые амфиболиты, эпидот-хлорит-актинолитовые сланцы и др.). Диафториты главным образом обрамляют высокотемпературные метаморфиты няртинского комплекса и ранее ошибочно были выделены в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения — маньхо-

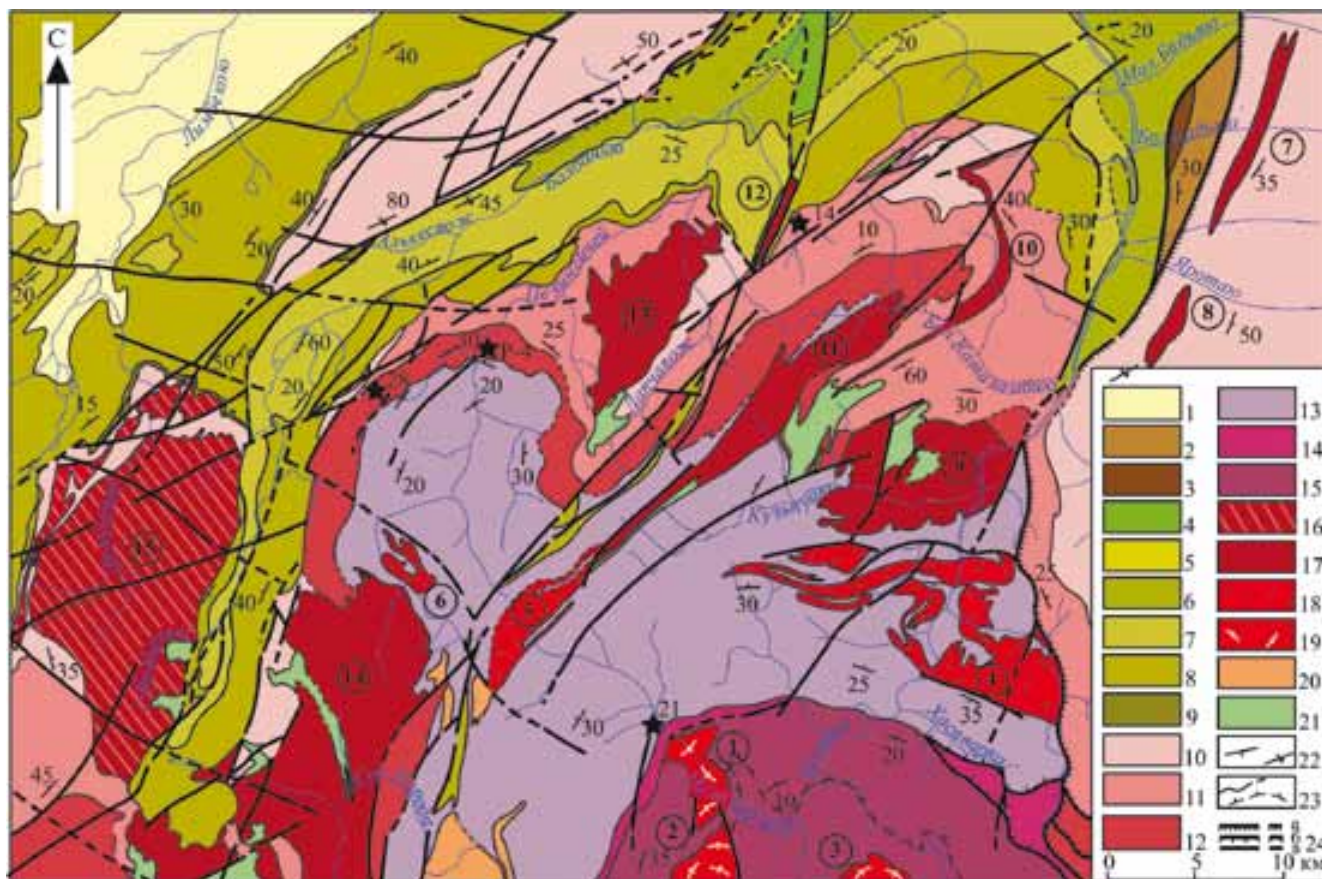


Рис. 3. Геологическая карта северной части Приполярного Урала, по (Пыстин, 2021).

1 – верхнечетвертичные-современные отложения ($Q_{3,4}$); 2 – надотамыльская свита ($D_{2,3}$); 3 – верхнесилурийско-нижнедевонские отложения (S_2-D_1); 4 – силурийские отложения ($S_{1,2}$); 5 – верхнеордовикские отложения (O_3); 6 – кожимская свита (O_2); 7 – салецкая свита ($O_{1,2}$); 8 – obeizская свита (O_1); 9 – алькесвожская толща (C_3-O_1); 10 – саблегорская свита (RF_3-V); 11 – мороинская свита (RF_3); 12 – хобеинская свита (RF_3); 13 – пуйвинская свита (RF_3); 14 – шокуринский метаморфический комплекс (PR_1); 15 – николайшорский метаморфический комплекс (PR_1); 16–19 – гранитоидные комплексы: 16 – малопатокско-ильязский (RF_3-V), 17 – сальнеро-маньхамбовский (RF_3-V), 18 – кожимский (RF_3), 19 – николайшорский (PR_1); 20 – парнукский габбро-диоритовый комплекс (RF_3-V); 21 – хаталамбинский габбро-долеритовый комплекс (RF_3-V); 22 – элементы залегания плоскостных структур (слоистости, полосчатости, сланцеватости); 23 – границы геологических тел; 24 – тектонические границы: а – шарьяжи и надвиги, б – всбросы и сбросы, в – крутопадающие дизъюнктивы.

Гранитоидные массивы (цифры в кружках): 1 – Николайшорский, 2 – Базисный, 3 – Амбаршорский, 4 – Кожимский, 5 – Лапчинский, 6 – Сюрасьрузский, 7 – Бадьяуский, 8 – Яротский, 9 – Кузпуауский, 10 – Санашорский, 11 – Хаталамбинский, 12 – Малокаталамбинский, 13 – Лапчавожский, 14 – Народнинский, 15 – Малдинский. Звездочка с цифрой – место отбора и номер пробы.

Fig. 3. Geological map of the northern part of the Subpolar Urals, after (Pystin, 2021).

1 – Upper Quaternary-Modern sediments ($Q_{3,4}$); 2 – Nadotamyl formation ($D_{2,3}$); 3 – Upper Silurian-Lower Devonian sediments (S_2-D_1); 4 – Silurian sediments ($S_{1,2}$); 5 – Upper Ordovician sediments (O_3); 6 – Kozhim formation (O_2); 7 – Saled formation ($O_{1,2}$); 8 – Obyiz formation (O_1); 9 – Alkesvozh formation (C_3-O_1); 10 – Sablegorsk formation (RF_3-V); 11 – Moroininskaya formation (RF_3); 12 – Khobeinskaya formation (RF_3); 13 – Puivinskaya formation (RF_3); 14 – Shchokurya metamorphic complex (PR_1); 15 – Nikolaishor metamorphic complex (PR_1); 16–19 – granitoid complexes: 16 – Malopatoksko-Iliaizsky (RF_3-V), 17 – Salneromankhambovsky (RF_3-V), 18 – Kozhimsky (RF_3), 19 – Nikolaishorsky (PR_1); 20 – Parnuksky gabbro-diorite complex (RF_3-V); 21 – Khatalamba gabbro-dolerite complex (RF_3-V); 22 – elements of occurrence of planar structures (bedding, banding, schistosity); 23 – boundaries of geological bodies; 24 – tectonic boundaries: а – shariages and thrust faults, б – faults and reverse faults, в – steeply dipping disjunctives.

Name of granitoid massifs (numbers in circles): 1 – Nikolayshorsky, 2 – Basisny, 3 – Ambarshorsky, 4 – Kozhimsky, 5 – Lapchinsky, 6 – Syurasruzsky, 7 – Bad'yayusky, 8 – Yarotsky, 9 – Kuzpuayusky, 10 – Sanashorsky, 11 – Khatalambinsky, 12 – Malokatalambinsky, 13 – Lapchavozhsky, 14 – Narodninsky, 15 – Maldinsky. An asterisk with a number indicates the place of sampling and the number of the sample.

беинской свиты нижнего рифея (Белякова, 1972). Большинство исследователей со времени первых стратиграфических схем докембрия Приполярного Урала (Фишман, Голдин, 1963) и первых изотопно-геохронологических данных по высокотемпературным метаморфитам этого района (Пучков, Карстен, 1986) придерживаются представления о раннедокембрийском (скорее всего, раннепротерозойском) возрасте пород, выделяемых разными исследователями как няртинский комплекс, няртинская свита, няртинская серия (ранее – николайшорская свита (Фишман, Голдин, 1963)) (см. рис. 2), а также о раннепротерозойском возрасте раннего этапа их метаморфического преобразования. В последнее время в целях получения корректных геохронологических данных мы при выделении монофракций цирконов использовали результаты специальных исследований морфологии этого минерала из метаморфических и метаморфизованных первично-осадочных пород как Приполярного, так и других районов Урала (Пыстина, 1997; Пыстина, Пыстин, 2002; Pystin, Pystina, 2015; и др.). Среди большого разнообразия морфологических и генетических разновидностей цирконов наиболее информативными для установления возраста стратиграфических подразделений являются детритовые цирконы, а для датировки ранних метаморфических событий – метаморфогенные цирконы округлой формы (округлые многогранники), которые известны как цирконы “гранулитового типа” (Краснобаев, 1986) и характерны для наиболее высокотемпературных и высокобарических метаморфитов. Исследования цирконов проводились U-Pb (LA-SF-ICP-MS) методом. Возраст циркона “гранулитового типа”, вычисленный по верхнему пересечению дискордии с конкордией (по 44 локальным определениям), – 2127 ± 31 млн лет (Пыстина и др., 2019) – подтверждает ранее полученную датировку методом термоионной эмиссии свинца (2125 ± 25 млн лет; Пыстина, Пыстин, 2002) и дает основание с большой степенью уверенности интерпретировать его как время проявления раннего этапа метаморфизма пород няртинского комплекса. По детритовому циркону имеется только одна Pb-Pb датировка – 2210 ± 25 млн лет (Пыстина, Пыстин, 2002).

Щокуринская свита резко отличается по составу от няртинского комплекса и так называемой маньхобеинской свиты существенно карбонатным составом пород, поэтому ее выделение в качестве отдельного стратона, в отличие от маньхобеинской свиты, вполне оправданно. Породы свиты представлены низкотемпературными диафторитами, среди которых сохранились реликты высокотемпературных метаморфитов (Пыстин, Пыстина, 2014). По детритовым цирконам U-Pb (LA-SF-ICP-MS) методом были получены датировки в интервале (2901 ± 30)–(2221 ± 40) млн лет. По цирконам “гранулитового типа” максимальное значение

возраста (2156 ± 44 млн лет) в пределах погрешности совпадает с изохронным возрастом “гранулитовых” цирконов из гнейсов няртинского комплекса (2127 ± 31 млн лет). Более молодой возраст остальных цирконов “гранулитового типа” (1941–1856 млн лет) обусловлен, по-видимому, нарушением изотопных систем и “омоложением” датировок при повторном метаморфизме и гранитизации (Пыстин, Пыстина, 2018б).

Приведенные геохронологические данные указывают на раннепротерозойский возраст метаморфизма пород няртинского комплекса, а также “маньхобеинской” и щокуринской свит. Верхний возрастной рубеж формирования терригенного и терригенно-карбонатного субстрата этих подразделений предварительно следует ограничить минимальным возрастом терригенных цирконов (около 2.2 млрд лет), не исключая возможности “омоложения” их возраста в связи с частичным нарушением изотопных систем в условиях полиметаморфизма.

Пуйвинская свита залегает с размывом на породах няртинского комплекса и щокуринской свиты (см. рис. 3). Часто контакты подорваны и трасируются зонами низкотемпературных бластомилонитов. Свита сложена серыми и зеленовато-серыми слюдисто-альбит-кварцевыми сланцами с прослоями амфиболовых и известковых сланцев и кварцитов. В подчиненном количестве встречаются риолитовые и дацитовые метапорфиры и их туфы. В основании пуйвинской свиты фрагментарно выделяется ошизская толща слюдисто-полевошпатовых кварцитов и кварцитопесчаников с линзами гравелитов и конгломератов. Как было отмечено выше, полученные U-Pb датировки детритовых цирконов дают основание для отнесения пуйвинской свиты к верхнерифейским образованиям. Мощность ошизской толщи достигает 350 м, а разреза пуйвинской свиты в целом – 1600 м.

Хобеинская свита залегает с размывом на сланцах пуйвинской свиты. Свита представлена светлыми зеленовато-серыми тонкополосчатыми хлорит-мусковит-альбит-кварцевыми и мусковит-альбит-кварцевыми сланцами, белыми и светло-серыми кварцитами и известковистыми кварцитопесчаниками. В подчиненном количестве встречаются темно-серые филлитовидные сланцы. В нижней части разреза свиты отмечаются линзы и прослои конгломератов. Конгломераты по составу преимущественно кварцевые. Цемент хлорит-кварцевый и мусковит-кварцевый. Возраст свиты оценивается как позднерифейский на основании ее залегания под отложениями мороинской свиты с микрофитолитами и строматолитами миньярского уровня. Мощность хобеинской свиты 700–1000 м.

Мороинская свита залегает согласно на отложениях хобеинской свиты и характеризуется резкой изменчивостью литологического состава: различным соотношением в различных разрезах сви-

ты терригенных, вулканогенных и карбонатных пород. Возрастные аналоги мороинской свиты в разных районах Ляпинского антиклинория – санаизская и манарагская свиты. Свита сложена темно-серыми и серыми мусковит-хлорит-альбит-кварцевыми сланцами, известковистыми сланцами с прослоями и линзами мраморов и мраморизованных доломитов, зелеными ортосланцами, кварцитами. В целом вверх по разрезу свиты роль карбонатных пород увеличивается. Возраст мороинской свиты обосновывается находками микрофитоцитов и строматолитов и сопоставляется с миньярским уровнем позднего рифея (Белякова, 1972). Мощность свиты в различных разрезах Приполярного Урала варьирует в интервале 600–1400 м.

Саблегорская свита сложена преимущественно эффузивами. Сравнение разрезов саблегорской свиты разных районов Приполярного Урала указывает на их большое сходство. В нижней части свиты преобладают основные вулканы, в средней – эффузивы и туфы кислого состава, в верхней наряду с кислыми, преимущественно пирокластическими образованиями отмечаются вулканогенные породы среднего и основного состава. Среди вулканитов иногда присутствуют маломощные прослои вулканогенно-осадочных и осадочных пород, имеющих вид филлитовидных сланцев. Фрагментарно в основании свиты встречаются прослои конгломератов (Белякова, 1972). Возраст свиты принимается как позднерифейско-ранневендский. Нижняя возрастная граница определяется по залеганию свиты на мороинских доломитах, содержащих верхнерифейские строматолиты и микрофитоциты. Верхний временной рубеж формирования саблегорской свиты ограничивается U-Pb (SHRIMP-II) возрастом цирконов из прорывающих их гранитов – 578 ± 4 млн лет (Пыстин, Пыстина, 2008). Мощность свиты колеблется в широких пределах – от 700 до 2000 м.

На образованиях верхнего протерозоя с размывом и угловым несогласием залегают терригенно-карбонатные отложения нижнего палеозоя, разрез которых сменяется снизу вверх от грубообломочных образований к мелкообломочным и далее наращивается мощной карбонатной толщей.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И УСЛОВИЯ ОПРОБОВАНИЯ

Пробы метатерригенных слюдисто-полевошпато-кварцевых сланцев и слюдистых кварцитов после дробления в ступе, расситовке и промывке до серого шлиха были разделены на фракции с использованием бромформа, магнитной и электромагнитной сепарации. Извлеченные под бинокулярном зерна циркона из тяжелой немагнитной фракции изучались в проходящем и отраженном свете с помощью поляризационного микроскопа БиОптик СР-400. Затем зерна циркона (по каждой пробе от-

дельно) были помещены в эпоксидные шашки, которые шлифовались до середины толщины зерен минерала и полировались. Морфологические особенности и химический состав цирконов изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX50 mm Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 180 нм и области возбуждения до 5 мкм и с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link, ускоряющим напряжением и током на образцах – 20 кВ и 2×10^{-9} А соответственно и сертифицированными стандартами фирмы “Microspec”. Католюминесцентные изображения цирконов получены с использованием СЭМ ThermoFischer Scientific Axia ChemiSEM с выдвижным детектором катодолюминесценции RGB с диапазоном обнаружения длин волн 350–850 нм. Все исследования выполнены в ЦКП “Геонаука” Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Для уточнения временных границ формирования пуйвинской, хобеинской и мороинской свит, а также установления возраста размываемых пород субстрата проводились изотопные исследования детритовых цирконов из метатерригенных отложений U-Pb (LA-SF-ICP-MS) методом. Этот метод реализован на базе одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Element XR и установки для лазерной абляции UP-213 в Геологическом институте СО РАН (Россия, г. Улан-Удэ). Пробоподготовка, анализ и расчет возраста выполнены согласно стандартным процедурам, описанным в статье В.Б. Хубанова с соавторами (2016). В качестве внешнего стандарта применен цирконовый эталон 91500 (Wiedenbeck et al., 1995).

Обработка данных масс-спектрометрического анализа проводилась с помощью программы “Glitter”, Австралийского научного центра GEMOC при Университете Маккуори (Van Achterbergh et al., 2001; Griffin et al., 2008). Для построения U-Pb диаграмм с конкордией использовался макрос Isoplot 3 (Ludwig, 2012).

При интерпретации изотопных датировок детритовых цирконов мы исходили из того, что они соответствуют возрасту протолитов пород, слагающих источники сноса терригенного материала. При этом нижний возрастной предел процессов осадконакопления, сформировавших рассматриваемые отложения, определяют минимальные изотопные датировки детритовых цирконов, а верхний ограничивается возрастом прорывающих их интрузий.

Для получения корректного возраста терригенных пород важным условием является отсутствие или низкая степень их метаморфического преобразования, что исключает нарушение U-Pb изотопной системы в детритовых цирконах после завершения

процессов осадконакопления. Требуется также исключение влияния контактового метаморфизма.

Степень метаморфизма пород в местах отбора проб не превышает условий зеленосланцевой фации ($T < 500^{\circ}\text{C}$), что значительно меньше температуры закрытия U-Pb изотопной системы в цирконах ($\approx 900^{\circ}\text{C}$). Здесь отсутствуют тела гранитов и другие более или менее крупные тела интрузивных пород. Таким образом, условия пробоотбора, необходимые для получения корректного результата при изотопном датировании детритовых цирконов, были выполнены.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ И УТОЧНЕНИЕ ВОЗРАСТА ВЕРХНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Пуйвинская свита охарактеризована пробой № 21. Результаты датировки цирконов из этой пробы в графической форме были опубликованы нами ранее (Пыстин и др., 2019; Pystin et al., 2020), однако первичные аналитические данные в предыдущих статьях не рассматривались. Поэтому в настоящей работе мы считаем необходимым привести таблицу с результатами U-Pb датирования детритовых цирконов пуйвинской свиты для более полного анализа условий накопления терригенных толщ верхнего докембрия, распространенных на рассматриваемой территории, и оценки их возрастных ограничений. Проба для выделения цирконов была отобрана на правом берегу руч. Николайшор (левого притока р. Кожим) в 7.5 км выше его устья ($65^{\circ}03'28''$ с. ш., $60^{\circ}35'04''$ в. д.) из нижней части разреза пуйвинской свиты (см. рис. 3). Обнажение сложено серыми мелко-среднезернистыми биотит-(хлорит)-мусковит-альбит-кварцевыми сланцами. Цирконы представлены хорошо окатанными зернами шаровидной и эллипсоидной формы, окрашенными в дымчатые и коричневатые-кремовые тона. Размер зерен 0.10–0.25 мм, поверхность равномерно шероховатая. Проанализировано 111 зерен цирконов, 18 анализов с высокой дискордантностью ($D > 10\%$) исключены из рассмотрения. За время кристаллизации цирконов как в этой, так и в других пробах нами был принят возраст, вычисленный по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, так как все датировки либо превышают 1.0 млрд лет, либо близки к этому значению. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования цирконов приведены в табл. 1, а гистограмма распределения U-Pb возрастов с графиком плотности вероятности – на рис. 4г. Циркон с максимальной датировкой имеет раннепротерозойский возраст – 1959 ± 52 млн лет, с минимальной – позднерифейский – 867 ± 71 млн лет. Основная выборка возрастов, включающая в себя 92 анализа (или 99%), охватывает интервал 867–1579 млн лет. Датировки объединяются в две возрастные группы:

867–1179 (67% анализов) и 1274–1579 (30% анализов) млн лет с максимумами плотности вероятности около 1075 и 1475 млн лет и скрытым максимумом 920 млн лет.

Минимальные значения датировок детритовых цирконов (867 ± 71 , 889 ± 55 , 892 ± 86 , 907 ± 54 , 909 ± 46 , 910 ± 77 млн лет) указывают на то, что отложения сформировались не ранее 900 млн лет назад. Незначительная мощность и фрагментарное развитие нижележащих пород ошизской толщи пуйвинской свиты при существенной доле в общей выборке цирконов с позднерифейскими датировками (22 определения, или 23%) дают основание для утверждения, что нижняя возрастная граница базальных отложений верхнего докембрия (пуйвинской свиты) на Приполярном Урале не выходит за пределы позднего рифея.

Хобеинская свита (проба № 28) опробована в ее верхней части на водоразделе между двумя истоками руч. Еркусей (левого притока р. Пелинги-чей) (см. рис. 3). Координаты точки отбора пробы: $65^{\circ}11'55''$ с. ш., $60^{\circ}22'08''$ в. д. В точке отбора пробы свита сложена среднезернистыми мусковитсодержащими кварцитами. Цирконы представлены преимущественно хорошо окатанными зернами шаровидной и эллипсоидной формы розовой и темно-розовой окраски. Размер зерен 0.06–0.20 мм, поверхность равномерно шероховатая. Проанализировано 105 зерен цирконов. Из них 10 анализов с высокой дискордантностью ($D > 10\%$) исключены из рассмотрения. Ошибочными следует также признать два анализа с $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастом 157 и 515 млн лет, так как это противоречит геологическим данным: хобеинская свита прорывается гранитами Кузпуаюского и Хаталамбо-Лапчинского массивов (см. рис. 3), возраст которых, по данным U-Pb датирования цирконов, 601 ± 5 и 582 ± 4 млн лет соответственно (Пыстин, Пыстина, 2008). Оставшиеся 92 анализа приведены в табл. 2, а построенная по результатам анализов гистограмма распределения U-Pb возрастов с графиком плотности вероятности показана на рис. 4б. Циркон с максимальной датировкой имеет позднеархейский возраст – 2764 ± 61 млн лет, с минимальной – позднерифейский – 755 ± 29 млн лет. Основная выборка возрастов, включающая в себя 89 анализов (или 97%), охватывает интервал 921–1905 млн лет. Датировки группируются в три возрастные группы: 921–1274 млн лет (60% анализов), 1381–1675 млн лет (27% анализов) и 1782–1905 млн лет (10% анализов). На кривой плотности вероятности выделяются два сближенных главных максимума – около 1050 и 1200 млн лет – и второстепенные максимумы – 1500 и 1825 млн лет.

При оценке возможного нижнего возрастного рубежа накопления отложений хобеинской свиты, вероятно, следует исключить как случайную единичную датировку циркона 755 ± 29 млн лет,

Таблица 1. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритных цирконов из биотит-(хлорит)-мусковит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты**Table 1.** Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from the biotite-(chlorite)-muscovite-albite-quartz schist of the Puivinskaya Formation

Номер зерна	Th/U	Изотопные отношения $\pm 1\sigma$		Rh ₀	Возраст $\pm 1\sigma$, млн лет		D, %
		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
1	0.32	0.1593 \pm 2.0	0.0679 \pm 2.4	0.37	953 \pm 11	867 \pm 71	-2.69
2	0.34	0.1777 \pm 1.2	0.0680 \pm 1.5	0.32	1054 \pm 7	868 \pm 45	-5.58
3	0.42	0.1436 \pm 1.2	0.0687 \pm 1.9	0.31	865 \pm 7	889 \pm 55	0.81
4	0.29	0.1527 \pm 2.3	0.0688 \pm 2.9	0.36	916 \pm 13	892 \pm 86	-0.77
5	0.37	0.1482 \pm 1.2	0.0693 \pm 1.9	0.31	891 \pm 7	907 \pm 54	0.55
6	0.35	0.1636 \pm 1.2	0.0693 \pm 1.6	0.32	977 \pm 6	909 \pm 46	-2.10
7	0.35	0.1456 \pm 2.0	0.0694 \pm 2.7	0.36	876 \pm 11	910 \pm 77	1.11
8	0.32	0.1683 \pm 2.3	0.0704 \pm 2.6	0.37	1003 \pm 12	939 \pm 73	-1.96
9	0.24	0.1691 \pm 1.2	0.0705 \pm 1.6	0.32	1007 \pm 7	942 \pm 46	-2.00
10	0.31	0.1633 \pm 2.2	0.0706 \pm 2.7	0.36	975 \pm 12	945 \pm 77	-0.92
11	0.45	0.1485 \pm 1.2	0.0707 \pm 1.9	0.31	893 \pm 7	949 \pm 53	1.85
12	0.26	0.1433 \pm 1.0	0.0710 \pm 1.7	0.32	863 \pm 6	957 \pm 47	3.11
13	0.33	0.1663 \pm 2.5	0.0713 \pm 3.1	0.36	992 \pm 14	966 \pm 86	-0.79
14	0.43	0.1769 \pm 1.3	0.0714 \pm 1.6	0.32	1050 \pm 7	969 \pm 46	-2.47
15	0.31	0.1619 \pm 1.8	0.0714 \pm 2.1	0.39	967 \pm 10	970 \pm 59	0.07
16	0.33	0.1643 \pm 1.3	0.0715 \pm 1.8	0.31	980 \pm 7	970 \pm 52	-0.31
17	0.35	0.1607 \pm 2.7	0.0716 \pm 3.4	0.36	961 \pm 15	974 \pm 94	0.39
18	0.31	0.1699 \pm 2.6	0.0720 \pm 3.0	0.36	1011 \pm 14	985 \pm 82	-0.84
19	0.27	0.1684 \pm 1.2	0.0720 \pm 1.7	0.32	1003 \pm 7	987 \pm 46	-0.50
20	0.31	0.1644 \pm 2.2	0.0723 \pm 2.7	0.37	981 \pm 12	996 \pm 73	0.46
21	0.57	0.1650 \pm 1.3	0.0730 \pm 1.8	0.32	984 \pm 7	1014 \pm 49	0.95
22	0.58	0.1629 \pm 1.2	0.0731 \pm 1.8	0.31	973 \pm 7	1015 \pm 49	1.37
23	0.42	0.1642 \pm 1.2	0.0731 \pm 1.7	0.31	980 \pm 7	1016 \pm 47	1.15
24	0.33	0.1786 \pm 1.3	0.0735 \pm 1.7	0.32	1059 \pm 7	1026 \pm 45	-1.00
25	0.26	0.1654 \pm 1.2	0.0737 \pm 1.8	0.32	987 \pm 7	1033 \pm 47	1.47
26	0.36	0.1531 \pm 1.3	0.0737 \pm 2.1	0.31	919 \pm 7	1033 \pm 56	3.73
27	1.28	0.1624 \pm 1.2	0.0738 \pm 1.8	0.32	970 \pm 7	1037 \pm 48	2.13
28	0.71	0.1769 \pm 1.3	0.0739 \pm 1.8	0.32	1050 \pm 7	1039 \pm 48	-0.31
29	0.40	0.1643 \pm 2.2	0.0742 \pm 2.8	0.37	981 \pm 12	1046 \pm 75	2.09
30	0.43	0.1718 \pm 2.0	0.0743 \pm 2.4	0.38	1022 \pm 11	1051 \pm 64	0.91
31	0.48	0.1670 \pm 2.0	0.0744 \pm 2.5	0.38	995 \pm 11	1054 \pm 65	1.85
32	0.33	0.1865 \pm 1.3	0.0746 \pm 1.7	0.32	1102 \pm 7	1057 \pm 46	-1.34
33	0.35	0.1843 \pm 1.3	0.0750 \pm 1.8	0.32	1091 \pm 7	1068 \pm 46	-0.68
34	0.32	0.1885 \pm 2.4	0.0754 \pm 2.6	0.38	1113 \pm 13	1080 \pm 68	-1.00
35	0.37	0.1932 \pm 1.4	0.0755 \pm 1.7	0.32	1139 \pm 7	1082 \pm 45	-1.68
36	0.36	0.1987 \pm 1.4	0.0756 \pm 1.7	0.32	1168 \pm 8	1084 \pm 45	-2.50
37	0.28	0.1912 \pm 2.4	0.0757 \pm 2.5	0.38	1128 \pm 13	1086 \pm 65	-1.24
38	0.36	0.1748 \pm 1.3	0.0757 \pm 1.9	0.32	1039 \pm 7	1088 \pm 49	1.56
39	0.34	0.1911 \pm 2.3	0.0758 \pm 2.4	0.39	1127 \pm 12	1089 \pm 61	-1.14
40	0.43	0.1887 \pm 2.8	0.0758 \pm 3.1	0.37	1114 \pm 15	1091 \pm 79	-0.72
41	0.35	0.1885 \pm 1.3	0.0759 \pm 1.7	0.32	1113 \pm 7	1093 \pm 45	-0.59
42	0.51	0.1870 \pm 1.4	0.0760 \pm 1.8	0.32	1105 \pm 8	1095 \pm 47	-0.30
43	0.48	0.1661 \pm 1.2	0.0760 \pm 1.8	0.32	991 \pm 7	1096 \pm 47	3.37
44	0.42	0.1853 \pm 2.4	0.0765 \pm 2.7	0.38	1096 \pm 13	1107 \pm 69	0.34
45	0.12	0.2375 \pm 3.4	0.0765 \pm 3.0	0.37	1374 \pm 18	1109 \pm 76	-7.27
46	0.55	0.1942 \pm 2.9	0.0767 \pm 3.3	0.36	1144 \pm 16	1114 \pm 83	-0.88
47	0.41	0.1923 \pm 2.3	0.0768 \pm 2.5	0.38	1134 \pm 12	1116 \pm 64	-0.55
48	0.39	0.1952 \pm 2.9	0.0768 \pm 3.1	0.37	1149 \pm 15	1117 \pm 78	-0.97
49	0.34	0.1922 \pm 1.4	0.0769 \pm 1.8	0.32	1133 \pm 7	1119 \pm 46	-0.41
50	0.31	0.1902 \pm 2.2	0.0772 \pm 2.4	0.39	1123 \pm 12	1127 \pm 61	0.15
51	0.43	0.1890 \pm 2.1	0.0774 \pm 2.3	0.39	1116 \pm 12	1130 \pm 59	0.43
52	0.35	0.1976 \pm 2.2	0.0774 \pm 2.3	0.39	1163 \pm 12	1131 \pm 58	-0.94
53	0.36	0.2062 \pm 1.4	0.0776 \pm 1.7	0.32	1209 \pm 8	1138 \pm 44	-2.07
54	0.55	0.1697 \pm 2.3	0.0778 \pm 3.0	0.37	1011 \pm 13	1141 \pm 74	4.20
55	0.39	0.1849 \pm 3.2	0.0778 \pm 3.7	0.36	1094 \pm 17	1143 \pm 92	1.48

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Номер зерна	Th/U	Изотопные отношения $\pm 1\sigma$ (1 σ)		Rh ₀	Возраст $\pm 1\sigma$, млн лет		D, %
		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
56	0.44	0.1840 \pm 2.1	0.0780 \pm 2.4	0.39	1089 \pm 12	1147 \pm 61	1.82
57	0.28	0.1835 \pm 1.4	0.0783 \pm 1.9	0.32	1086 \pm 8	1155 \pm 48	2.13
58	0.33	0.1971 \pm 2.3	0.0783 \pm 2.4	0.39	1160 \pm 12	1155 \pm 60	-0.15
59	0.30	0.1864 \pm 1.4	0.0786 \pm 1.9	0.32	1102 \pm 7	1161 \pm 46	1.84
60	0.35	0.2049 \pm 3.3	0.0786 \pm 3.5	0.36	1202 \pm 17	1162 \pm 85	-1.17
61	0.45	0.1916 \pm 2.2	0.0793 \pm 2.5	0.38	1130 \pm 12	1179 \pm 61	1.47
62	0.57	0.1889 \pm 1.5	0.0806 \pm 2.0	0.32	1115 \pm 8	1212 \pm 49	2.99
63	0.56	0.1813 \pm 1.4	0.0809 \pm 2.0	0.32	1074 \pm 8	1218 \pm 49	4.54
64	0.34	0.2245 \pm 2.5	0.0832 \pm 2.4	0.40	1306 \pm 13	1274 \pm 55	-0.93
65	0.31	0.2300 \pm 1.6	0.0839 \pm 1.9	0.32	1335 \pm 8	1290 \pm 43	-1.25
66	0.22	0.2212 \pm 3.1	0.0839 \pm 3.2	0.37	1288 \pm 17	1291 \pm 73	0.08
67	0.22	0.2068 \pm 2.3	0.0848 \pm 2.6	0.39	1212 \pm 12	1310 \pm 57	2.94
68	0.80	0.2039 \pm 3.4	0.0848 \pm 3.8	0.36	1196 \pm 18	1311 \pm 85	3.48
69	0.52	0.2240 \pm 1.7	0.0854 \pm 2.0	0.32	1303 \pm 9	1325 \pm 45	0.68
70	0.37	0.2302 \pm 3.5	0.0855 \pm 3.5	0.37	1336 \pm 18	1328 \pm 77	-0.23
71	1.11	0.2188 \pm 2.7	0.0870 \pm 2.9	0.39	1276 \pm 14	1361 \pm 62	2.52
72	0.23	0.2669 \pm 1.8	0.0871 \pm 1.9	0.32	1525 \pm 9	1363 \pm 42	-4.35
73	0.50	0.2323 \pm 1.8	0.0873 \pm 2.2	0.33	1347 \pm 10	1368 \pm 47	0.62
74	0.44	0.2431 \pm 3.9	0.0882 \pm 3.8	0.37	1403 \pm 20	1386 \pm 81	-0.49
75	0.71	0.2244 \pm 3.5	0.0882 \pm 3.7	0.37	1305 \pm 18	1387 \pm 79	2.41
76	0.29	0.2695 \pm 1.9	0.0888 \pm 2.0	0.32	1538 \pm 9	1400 \pm 42	-3.70
77	0.68	0.2389 \pm 1.7	0.0891 \pm 2.0	0.32	1381 \pm 9	1406 \pm 43	0.72
78	0.57	0.2499 \pm 1.8	0.0895 \pm 2.0	0.32	1438 \pm 9	1414 \pm 43	-0.67
79	0.75	0.2689 \pm 3.0	0.0901 \pm 2.6	0.40	1535 \pm 15	1427 \pm 54	-2.91
80	0.56	0.2767 \pm 3.1	0.0903 \pm 2.6	0.40	1575 \pm 16	1431 \pm 54	-3.83
81	0.62	0.2786 \pm 1.9	0.0927 \pm 2.1	0.32	1584 \pm 10	1481 \pm 42	-2.75
82	0.38	0.2651 \pm 2.9	0.0930 \pm 2.6	0.40	1516 \pm 15	1488 \pm 53	-0.78
83	0.37	0.2336 \pm 3.0	0.0934 \pm 3.2	0.39	1353 \pm 16	1496 \pm 62	4.19
84	0.34	0.2637 \pm 1.8	0.0947 \pm 2.1	0.32	1509 \pm 9	1522 \pm 41	0.38
85	0.56	0.2726 \pm 2.9	0.0947 \pm 2.7	0.40	1554 \pm 15	1523 \pm 52	-0.86
86	0.32	0.2606 \pm 3.1	0.0949 \pm 3.0	0.39	1493 \pm 16	1527 \pm 58	0.95
87	1.02	0.2544 \pm 1.9	0.0954 \pm 2.2	0.32	1461 \pm 10	1537 \pm 43	2.14
88	0.30	0.2849 \pm 2.0	0.0961 \pm 2.1	0.32	1616 \pm 10	1549 \pm 41	-1.78
89	0.34	0.2762 \pm 2.0	0.0963 \pm 2.2	0.32	1572 \pm 10	1554 \pm 42	-0.50
90	1.44	0.2441 \pm 3.3	0.0970 \pm 3.4	0.39	1408 \pm 17	1568 \pm 65	4.61
91	0.47	0.2501 \pm 1.9	0.0971 \pm 2.3	0.33	1439 \pm 10	1568 \pm 43	3.70
92	0.65	0.2741 \pm 3.6	0.0976 \pm 3.4	0.39	1561 \pm 18	1579 \pm 63	0.49
93	0.81	0.3406 \pm 3.9	0.1202 \pm 3.5	0.41	1889 \pm 19	1959 \pm 52	1.76

находящуюся за пределами выделенных временных интервалов. Минимальные значения датировок восьми зерен цирконов в основной возрастной выборке (921–988 млн лет) свидетельствуют о том, что формирование отложений хобеинской свиты завершилось не ранее 900 млн лет назад.

На рис. 4в для сопоставления с полученными нами результатами дана гистограмма распределения U-Pb возрастов с графиком плотности вероятности для пробы Р-4 из кварцитопесчаников нижней части хобеинской свиты, заимствованная из недавно опубликованной статьи А.А. Соболевой с коллегами (2022). В целом гистограммы и графики плотности вероятности двух проб из разных частей разреза хобеинской свиты сопоставимы. Более деталь-

ное сравнение материалов графической обработки аналитических данных будет приведено в следующем разделе статьи.

Мороинская свита. Проба (№ 14) для выделения циркона отобрана на правом берегу левого истока р. Мал. Каталамбию (65°14'57" с. ш., 60°42'53" в. д.) из прослая кварцитов, залегающих среди мелкозернистых серых хлорит-серицит-альбит-кварцевых сланцев. Обнажение относится к верхней части разреза мороинской свиты (см. рис. 3). Среди цирконов преобладают темно-розовые и розовые хорошо и среднеокатанные разновидности шаровидной и эллипсоидной формы. Размер зерен 0.07–0.25 мм. В эллипсоидных зернах иногда угадывается облик дипирамидально-призматических кри-

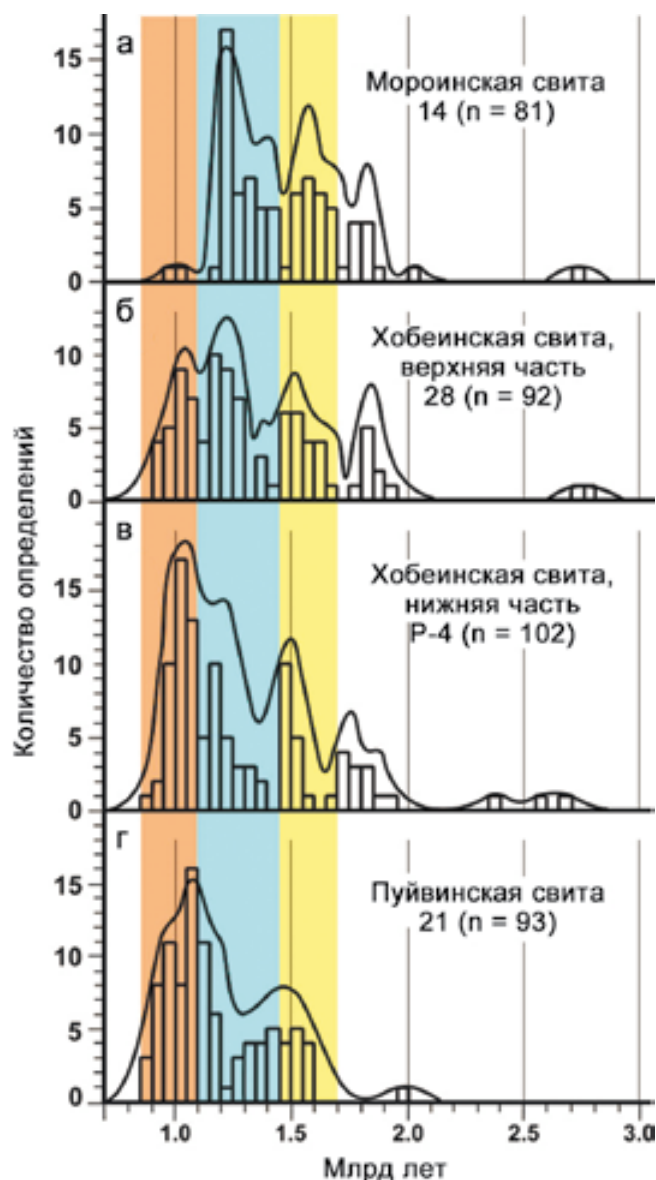


Рис. 4. Гистограммы и графики плотности вероятности распределения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов детритовых цирконов из терригенных верхнедокембрийских отложений Приполярного Урала.

Места отбора и номера проб показаны на рис. 3. Пробы № 14, 28 и 21 – наши данные, проба № P-4 – по (Соболева и др., 2022).

Fig. 4. Histograms and graphs of the probability density distribution of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of detrital zircons from terrigenous Upper Precambrian deposits of the Subpolar Urals.

Sampling locations and sample numbers are shown in Fig. 3. Samples No. 14, 28, and 21 are our data, sample No. P-4 – after (Soboleva et al., 2022).

сталлов с коэффициентом удлинения 1–1.5, 1–2. Поверхность шероховатая, ямчатая. В небольшом количестве (около 5%) встречаются светло-розовые

слабо- и среднеокатанные дипирамидально-призматические кристаллы с развитием граней 110, 111, 113. Поверхность граней блестящая. Проанализировано 103 зерна цирконов. Из них 22 анализа с высокой дискордантностью ($D > 10\%$) исключены из рассмотрения. Оставшиеся анализы (81 определение) приведены в табл. 3, а построенная по результатам анализов гистограмма распределения U-Pb возрастов с графиком плотности вероятности показана на рис. 4а. Циркон с максимальной датировкой имеет позднеархейский возраст – 2719 ± 21 млн лет, с минимальной – позднерифейский – 950 ± 22 млн лет. Основная выборка возрастов, включающая в себя 78 анализов (или 95%), охватывает интервал 1198–1880 млн лет. Датировки объединяются в три группы: 1198–1460 млн лет (50% анализов), 1508–1723 млн лет (32% анализов) и 1753–1880 млн лет (13% анализов). На кривой плотности вероятности выделяются два главных максимума – около 1225 и 1560 млн лет – и второстепенные максимумы – 1000 и 1800 млн лет. Минимальные значения датировок цирконов (950 ± 22 и 1024 ± 23 млн лет) свидетельствуют о том, что формирование отложений мороинской свиты завершилось не ранее 950 млн лет назад.

Таким образом, нижняя возрастная граница терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала ограничивается минимальными значениями цирконовых датировок в породах пуйвинской свиты – около 900 млн лет. С учетом того, что в основании пуйвинской свиты фрагментарно выделяется ошизская толща слюдисто-полевошпатовых кварцитов и кварцитопесчаников с линзами гравелитов и конгломератов, формирование базальных отложений верхнего докембрия могло начаться раньше, но вряд ли раньше рубежа среднего и позднего рифея. Таким образом, пуйвинская свита является возрастным аналогом зильмердакской и, возможно, катавской свит стратотипического разреза Башкирского антиклинория.

Уточнение возраста пород пуйвинской свиты дает основание для корректировки стратиграфической позиции хобеинской свиты, которая в схеме IV Уральского стратиграфического совещания (Стратиграфические..., 1993) сопоставляется с зильмердакской свитой. Очевидно, она занимает более высокое положение и может быть отнесена к инзерскому уровню стратотипического разреза. В свете сказанного заключение Л.Т. Беляковой (1972) о миньярском уровне мороинской свиты, основанное на находках верхнерифейских микрофитоцитов, выглядит аргументированным. Остается вопрос о верхней возрастной границе мороинской свиты, на который результаты датирования детритовых цирконов ответа не дают.

Для оценки верхнего возрастного рубежа формирования мороинской свиты можно воспользоваться геохронологическими данными по интру-

Таблица 2. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритных цирконов из кварцитов хобеинской свиты

Table 2. Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from quartzites of the Khobeinskaya Formation

Номер зерна	Th/U	Изотопные отношения $\pm 1\sigma$ (1 σ)		Rh ₀	Возраст $\pm 1\sigma$, млн лет		D, %
		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
1	0.51	0.1250 \pm 1.0	0.0644 \pm 0.9	0.48	759 \pm 6	755 \pm 29	-0.59
2	0.60	0.1508 \pm 1.2	0.0697 \pm 0.9	0.54	905 \pm 6	921 \pm 26	1.71
3	0.34	0.1539 \pm 1.2	0.0702 \pm 1.0	0.51	923 \pm 7	933 \pm 28	1.11
4	0.20	0.1611 \pm 1.3	0.0707 \pm 1.0	0.49	963 \pm 7	948 \pm 28	-1.59
5	0.88	0.1542 \pm 1.2	0.0707 \pm 1.1	0.44	924 \pm 7	949 \pm 32	2.70
6	0.44	0.1482 \pm 1.2	0.0711 \pm 1.1	0.43	891 \pm 7	961 \pm 31	7.92
7	0.44	0.1558 \pm 1.7	0.0714 \pm 2.0	0.26	933 \pm 9	969 \pm 55	3.79
8	0.39	0.1558 \pm 1.2	0.0717 \pm 1.0	0.48	934 \pm 7	979 \pm 29	4.82
9	0.50	0.1613 \pm 1.3	0.0719 \pm 1.0	0.47	964 \pm 7	984 \pm 29	2.08
10	0.55	0.1705 \pm 1.4	0.0721 \pm 1.2	0.41	1015 \pm 8	988 \pm 33	-2.65
11	0.53	0.1641 \pm 1.3	0.0727 \pm 0.9	0.54	979 \pm 7	1006 \pm 26	2.73
12	0.30	0.1627 \pm 2.0	0.0728 \pm 2.5	0.24	972 \pm 11	1009 \pm 68	3.80
13	0.30	0.1707 \pm 1.4	0.0733 \pm 1.1	0.44	1016 \pm 8	1022 \pm 31	0.53
14	0.44	0.1572 \pm 1.7	0.0734 \pm 2.0	0.25	941 \pm 9	1025 \pm 55	8.90
15	0.38	0.1758 \pm 1.8	0.0737 \pm 1.8	0.27	1044 \pm 10	1032 \pm 48	-1.14
16	0.36	0.1733 \pm 1.3	0.0738 \pm 0.9	0.56	1030 \pm 7	1035 \pm 24	0.43
17	0.37	0.1776 \pm 1.3	0.0740 \pm 0.9	0.58	1054 \pm 7	1040 \pm 24	-1.29
18	0.35	0.1733 \pm 1.8	0.0740 \pm 2.0	0.26	1030 \pm 10	1041 \pm 52	1.08
19	0.27	0.1741 \pm 1.5	0.0740 \pm 1.3	0.37	1035 \pm 8	1043 \pm 36	0.77
20	0.47	0.1775 \pm 1.4	0.0744 \pm 1.0	0.50	1053 \pm 8	1052 \pm 27	-0.15
21	0.59	0.1708 \pm 1.8	0.0745 \pm 2.1	0.26	1016 \pm 10	1054 \pm 55	3.75
22	0.26	0.1688 \pm 1.7	0.0745 \pm 1.7	0.29	1006 \pm 9	1055 \pm 46	4.88
23	0.50	0.1634 \pm 1.9	0.0749 \pm 2.4	0.24	976 \pm 11	1066 \pm 63	9.30
24	0.48	0.1654 \pm 2.2	0.0753 \pm 2.9	0.26	987 \pm 12	1076 \pm 75	9.04
25	0.51	0.1657 \pm 1.6	0.0755 \pm 1.6	0.31	989 \pm 9	1082 \pm 42	9.47
26	0.35	0.1670 \pm 2.1	0.0759 \pm 2.7	0.25	995 \pm 12	1093 \pm 71	9.86
27	0.65	0.1761 \pm 2.1	0.0769 \pm 2.5	0.24	1045 \pm 11	1117 \pm 64	6.89
28	0.86	0.1753 \pm 1.4	0.0770 \pm 1.1	0.48	1041 \pm 8	1122 \pm 29	7.80
29	0.27	0.1870 \pm 1.5	0.0776 \pm 1.1	0.47	1105 \pm 8	1135 \pm 28	2.72
30	0.16	0.1901 \pm 1.6	0.0777 \pm 1.4	0.38	1122 \pm 9	1140 \pm 34	1.61
31	0.32	0.1998 \pm 1.6	0.0782 \pm 1.1	0.50	1174 \pm 8	1151 \pm 27	-1.97
32	0.44	0.1986 \pm 1.6	0.0784 \pm 1.1	0.50	1168 \pm 8	1158 \pm 27	-0.83
33	0.60	0.2049 \pm 1.6	0.0786 \pm 1.1	0.51	1201 \pm 9	1162 \pm 27	-3.28
34	0.26	0.2009 \pm 1.6	0.0787 \pm 1.0	0.54	1180 \pm 8	1166 \pm 25	-1.22
35	0.31	0.2005 \pm 1.8	0.0788 \pm 1.4	0.37	1178 \pm 9	1167 \pm 35	-0.93
36	0.44	0.1985 \pm 1.6	0.0790 \pm 1.0	0.51	1167 \pm 8	1171 \pm 26	0.36
37	0.27	0.1937 \pm 1.9	0.0793 \pm 1.7	0.30	1142 \pm 10	1180 \pm 43	3.34
38	1.40	0.1827 \pm 2.1	0.0794 \pm 2.5	0.24	1082 \pm 11	1183 \pm 60	9.30
39	0.52	0.2023 \pm 1.8	0.0797 \pm 1.5	0.36	1188 \pm 10	1190 \pm 35	0.19
40	0.22	0.1996 \pm 1.9	0.0797 \pm 1.7	0.30	1173 \pm 10	1190 \pm 42	1.43
41	0.25	0.2138 \pm 1.8	0.0805 \pm 1.3	0.42	1249 \pm 10	1209 \pm 31	-3.22
42	0.36	0.2102 \pm 1.7	0.0806 \pm 1.1	0.50	1230 \pm 9	1211 \pm 27	-1.51
43	0.29	0.2019 \pm 2.1	0.0806 \pm 2.2	0.25	1185 \pm 11	1212 \pm 52	2.22
44	0.39	0.2052 \pm 2.1	0.0809 \pm 2.0	0.27	1203 \pm 11	1218 \pm 48	1.20
45	0.29	0.2119 \pm 1.7	0.0814 \pm 1.0	0.53	1239 \pm 9	1231 \pm 25	-0.66
46	0.10	0.2142 \pm 1.8	0.0815 \pm 1.2	0.43	1251 \pm 9	1232 \pm 30	-1.49
47	0.32	0.1983 \pm 1.6	0.0817 \pm 1.2	0.47	1166 \pm 9	1237 \pm 28	6.11
48	0.19	0.2199 \pm 2.0	0.0817 \pm 1.6	0.33	1281 \pm 11	1238 \pm 38	-3.40
49	0.62	0.1946 \pm 2.2	0.0818 \pm 2.5	0.25	1146 \pm 12	1241 \pm 58	8.29
50	0.33	0.2076 \pm 1.8	0.0822 \pm 1.5	0.36	1216 \pm 10	1251 \pm 36	2.88
51	0.39	0.2080 \pm 2.1	0.0824 \pm 1.9	0.29	1218 \pm 11	1256 \pm 45	3.12
52	0.34	0.2254 \pm 2.1	0.0829 \pm 1.7	0.32	1311 \pm 11	1266 \pm 39	-3.41
53	0.42	0.2150 \pm 1.6	0.0830 \pm 1.0	0.57	1256 \pm 9	1268 \pm 23	0.99
54	0.28	0.1980 \pm 1.8	0.0832 \pm 1.6	0.36	1165 \pm 10	1273 \pm 36	9.32
55	0.43	0.2003 \pm 2.0	0.0832 \pm 2.0	0.28	1177 \pm 11	1274 \pm 47	8.19
56	0.33	0.2094 \pm 2.4	0.0832 \pm 2.5	0.25	1226 \pm 13	1274 \pm 58	3.97
57	0.50	0.2285 \pm 2.7	0.0879 \pm 2.9	0.25	1327 \pm 14	1381 \pm 61	4.11

Таблица 2. Окончание

Table 2. Ending

Номер зерна	Th/U	Изотопные отношения $\pm 1\sigma$		Rh ₀	Возраст $\pm 1\sigma$, млн лет		D, %
		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
58	0.38	0.2336 \pm 1.9	0.0883 \pm 1.4	0.44	1353 \pm 10	1388 \pm 29	2.59
59	0.37	0.2357 \pm 2.2	0.0883 \pm 1.8	0.32	1364 \pm 11	1389 \pm 39	1.80
60	0.28	0.2412 \pm 2.0	0.0905 \pm 1.4	0.42	1393 \pm 10	1437 \pm 29	3.13
61	0.39	0.2503 \pm 2.5	0.0916 \pm 2.3	0.27	1440 \pm 13	1460 \pm 46	1.37
62	0.26	0.2367 \pm 3.1	0.0918 \pm 3.4	0.25	1370 \pm 16	1463 \pm 70	6.79
63	0.50	0.2483 \pm 3.3	0.0921 \pm 3.7	0.26	1430 \pm 17	1470 \pm 74	2.80
64	0.49	0.2479 \pm 1.9	0.0922 \pm 1.1	0.58	1428 \pm 10	1472 \pm 22	3.08
65	0.57	0.2557 \pm 2.0	0.0926 \pm 1.2	0.51	1468 \pm 10	1480 \pm 25	0.85
66	0.56	0.2416 \pm 2.4	0.0929 \pm 2.2	0.28	1395 \pm 12	1486 \pm 44	6.50
67	0.66	0.2546 \pm 3.1	0.0937 \pm 3.1	0.24	1462 \pm 16	1503 \pm 60	2.79
68	0.81	0.2596 \pm 2.6	0.0940 \pm 2.3	0.28	1488 \pm 13	1508 \pm 45	1.33
69	0.57	0.2671 \pm 2.3	0.0946 \pm 1.7	0.37	1526 \pm 12	1520 \pm 33	–0.41
70	0.33	0.2579 \pm 3.5	0.0950 \pm 3.8	0.26	1479 \pm 18	1529 \pm 74	3.38
71	0.16	0.2828 \pm 2.4	0.0954 \pm 1.5	0.40	1606 \pm 12	1537 \pm 30	–4.29
72	0.57	0.2614 \pm 2.3	0.0956 \pm 1.8	0.35	1497 \pm 12	1540 \pm 35	2.85
73	0.26	0.2675 \pm 2.9	0.0964 \pm 2.7	0.25	1528 \pm 15	1556 \pm 51	1.84
74	0.84	0.2598 \pm 2.0	0.0979 \pm 1.2	0.53	1489 \pm 10	1585 \pm 23	6.45
75	0.97	0.2569 \pm 3.1	0.0980 \pm 3.3	0.24	1474 \pm 16	1586 \pm 61	7.58
76	0.51	0.2618 \pm 2.1	0.0986 \pm 1.4	0.46	1499 \pm 11	1597 \pm 27	6.54
77	0.83	0.2665 \pm 3.1	0.0998 \pm 3.1	0.25	1523 \pm 16	1619 \pm 57	6.34
78	0.70	0.2804 \pm 3.6	0.0999 \pm 3.6	0.25	1593 \pm 18	1622 \pm 66	1.83
79	0.39	0.2926 \pm 2.5	0.1006 \pm 1.7	0.39	1655 \pm 13	1635 \pm 31	–1.20
80	0.79	0.2905 \pm 2.5	0.1012 \pm 1.6	0.41	1644 \pm 12	1645 \pm 29	0.08
81	0.62	0.2949 \pm 3.7	0.1028 \pm 3.6	0.25	1666 \pm 18	1675 \pm 64	0.54
82	0.25	0.3250 \pm 3.5	0.1090 \pm 3.1	0.25	1814 \pm 17	1782 \pm 50	–1.77
83	0.63	0.3168 \pm 3.0	0.1101 \pm 2.3	0.32	1774 \pm 15	1801 \pm 37	1.53
84	1.22	0.3070 \pm 2.4	0.1104 \pm 1.5	0.50	1726 \pm 12	1805 \pm 24	4.62
85	0.80	0.2996 \pm 4.2	0.1106 \pm 4.6	0.27	1689 \pm 21	1809 \pm 73	7.10
86	1.09	0.3194 \pm 3.3	0.1115 \pm 2.8	0.27	1787 \pm 16	1823 \pm 45	2.04
87	0.36	0.3302 \pm 2.6	0.1122 \pm 1.5	0.50	1839 \pm 13	1836 \pm 24	–0.19
88	0.83	0.3353 \pm 3.1	0.1138 \pm 2.3	0.32	1864 \pm 15	1861 \pm 36	–0.19
89	0.70	0.3380 \pm 3.0	0.1161 \pm 2.2	0.35	1877 \pm 15	1897 \pm 33	1.06
90	0.85	0.3334 \pm 3.2	0.1166 \pm 2.5	0.31	1855 \pm 15	1905 \pm 37	2.73
91	0.82	0.5262 \pm 4.9	0.1894 \pm 3.9	0.32	2725 \pm 21	2737 \pm 33	0.44
92	0.95	0.5215 \pm 6.9	0.1925 \pm 7.3	0.26	2706 \pm 29	2764 \pm 61	2.15

живным породам, прорывающим эти отложения. Приведем U-Pb датировки цирконов из гранитоидов, имеющих активные контакты с мороинской свитой (см. рис. 3): Кузпуаюский массив – 601 \pm 5 млн лет (Пыстин, Пыстина, 2008) и Малдинский массив – 551 \pm 5 млн лет (Соболева, 2020). Более древний возраст цирконов (Pb-Pb метод) получен из кварцевых диоритов Лапчавожского массива – 632 \pm 5 млн лет (Соболева, 2004). Имеется также Pb-Pb датировка циркона из андезидцитов саблегорской свиты, перекрывающей мороинские отложения, – 695 \pm 19 млн лет (Соболева, Андреев, 1997). С учетом этих данных наиболее предпочтительным является предположение, что возрастной диапазон мороинской свиты следует ограничить миньярским и, возможно, частью укского уровня.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Появление осадочного бассейна и накопление верхнедокембрийских отложений в позднем рифее на территории современного Приполярного Урала началось спустя 700 млн лет после образования подстилающих кристаллических комплексов (около 2.1 млрд лет назад породы претерпели высокотемпературный метаморфизм гранулитовой (?) фации и около 2.0–1.7 млн лет – метаморфизм амфиболитовой фации и гранитизацию (Пыстина, Пыстин, 2002; Пыстин, Пыстина, 2018а, б; Пыстина и др., 2019)). Поэтому при формировании залегающей в основании верхнедокембрийского разреза пуйвинской свиты роль кристаллических пород фундамента была невелика или вовсе отсутствовала (см. рис. 4г). Вероятно, в это время в пределах доступности транспортировки обломочного мате-

Таблица 3. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из кварцитов мороинской свиты

Table 3. Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from quartzites of the Moroinская Formation

Номер зерна	Th/U	Изотопные отношения \pm % (1 σ)		Rh ₀	Возраст \pm 1 σ , млн лет		D, %
		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
1	0.31	0.1589 \pm 1.3	0.0707 \pm 0.8	0.56	951 \pm 7	950 \pm 22	-0.06
2	0.00	0.1808 \pm 1.5	0.0734 \pm 0.8	0.54	1071 \pm 8	1024 \pm 23	-4.37
3	0.83	0.1991 \pm 2.0	0.0801 \pm 1.5	0.35	1171 \pm 10	1198 \pm 37	2.35
4	1.03	0.2179 \pm 2.1	0.0802 \pm 1.3	0.38	1271 \pm 11	1201 \pm 32	-5.50
5	0.35	0.1948 \pm 1.8	0.0802 \pm 1.2	0.42	1148 \pm 10	1203 \pm 28	4.81
6	0.36	0.1964 \pm 1.7	0.0808 \pm 1.0	0.52	1156 \pm 9	1217 \pm 23	5.25
7	0.58	0.2098 \pm 1.8	0.0808 \pm 1.0	0.52	1228 \pm 10	1218 \pm 23	-0.81
8	0.60	0.1935 \pm 1.7	0.0809 \pm 1.1	0.44	1141 \pm 9	1220 \pm 27	6.96
9	0.51	0.2099 \pm 1.8	0.0810 \pm 1.0	0.49	1228 \pm 10	1221 \pm 24	-0.57
10	0.09	0.1959 \pm 1.7	0.0811 \pm 1.0	0.47	1153 \pm 9	1223 \pm 25	6.09
11	0.56	0.1908 \pm 1.8	0.0811 \pm 1.2	0.40	1126 \pm 10	1223 \pm 30	8.60
12	1.41	0.2101 \pm 1.8	0.0811 \pm 1.0	0.53	1229 \pm 9	1224 \pm 23	-0.44
13	0.26	0.2143 \pm 1.9	0.0811 \pm 1.0	0.51	1252 \pm 10	1225 \pm 23	-2.15
14	0.37	0.2040 \pm 1.9	0.0811 \pm 1.2	0.39	1197 \pm 10	1225 \pm 29	2.31
15	0.35	0.2027 \pm 1.9	0.0814 \pm 1.2	0.42	1190 \pm 10	1232 \pm 28	3.54
16	0.43	0.2078 \pm 1.8	0.0816 \pm 1.0	0.48	1217 \pm 10	1237 \pm 24	1.61
17	0.11	0.2090 \pm 1.9	0.0820 \pm 1.1	0.46	1223 \pm 10	1246 \pm 26	1.83
18	0.29	0.2074 \pm 2.0	0.0820 \pm 1.4	0.38	1215 \pm 11	1246 \pm 33	2.59
10	0.35	0.2082 \pm 1.8	0.0821 \pm 1.0	0.50	1219 \pm 10	1248 \pm 24	2.40
20	0.42	0.2167 \pm 1.8	0.0826 \pm 1.0	0.52	1265 \pm 10	1260 \pm 23	-0.32
21	0.27	0.2117 \pm 1.8	0.0828 \pm 1.0	0.50	1238 \pm 10	1263 \pm 24	2.07
22	0.19	0.2080 \pm 1.8	0.0827 \pm 1.1	0.47	1218 \pm 10	1263 \pm 25	3.69
23	0.53	0.2142 \pm 1.9	0.0828 \pm 1.1	0.46	1251 \pm 10	1264 \pm 25	1.03
24	0.62	0.2288 \pm 1.9	0.0837 \pm 1.0	0.55	1328 \pm 10	1286 \pm 22	-3.16
25	1.77	0.2240 \pm 2.1	0.0837 \pm 1.4	0.39	1303 \pm 11	1286 \pm 33	-1.31
26	0.36	0.2078 \pm 1.9	0.0843 \pm 1.2	0.42	1217 \pm 10	1300 \pm 27	6.80
27	0.51	0.2119 \pm 1.9	0.0845 \pm 1.2	0.45	1239 \pm 10	1304 \pm 27	5.25
28	1.03	0.2148 \pm 1.9	0.0853 \pm 1.1	0.49	1255 \pm 10	1323 \pm 24	5.44
29	0.66	0.2142 \pm 1.9	0.0854 \pm 1.2	0.43	1251 \pm 10	1325 \pm 26	5.87
30	1.02	0.2311 \pm 2.0	0.0855 \pm 1.1	0.49	1340 \pm 11	1328 \pm 24	-0.95
31	1.02	0.2426 \pm 2.1	0.0863 \pm 1.0	0.53	1400 \pm 11	1346 \pm 22	-3.89
32	0.39	0.2310 \pm 2.0	0.0864 \pm 1.0	0.51	1340 \pm 10	1348 \pm 23	0.57
33	0.39	0.2250 \pm 2.0	0.0868 \pm 1.1	0.50	1308 \pm 10	1355 \pm 23	3.56
34	0.50	0.2422 \pm 2.1	0.0873 \pm 1.0	0.52	1398 \pm 11	1367 \pm 22	-2.20
35	0.50	0.2360 \pm 2.0	0.0879 \pm 1.0	0.53	1366 \pm 10	1380 \pm 22	1.02
36	0.29	0.2544 \pm 2.5	0.0886 \pm 1.6	0.36	1461 \pm 13	1395 \pm 34	-4.53
37	0.44	0.2273 \pm 2.3	0.0886 \pm 1.6	0.35	1320 \pm 12	1395 \pm 35	5.64
38	0.41	0.2365 \pm 2.2	0.0891 \pm 1.3	0.41	1368 \pm 11	1406 \pm 29	2.76
39	0.23	0.2493 \pm 2.1	0.0906 \pm 1.1	0.53	1435 \pm 11	1439 \pm 22	0.26
40	0.79	0.2368 \pm 2.0	0.0907 \pm 1.0	0.54	1370 \pm 10	1440 \pm 21	5.10
41	0.31	0.2499 \pm 2.1	0.0908 \pm 1.0	0.55	1438 \pm 11	1442 \pm 21	0.26
42	0.40	0.2505 \pm 2.2	0.0911 \pm 1.1	0.51	1441 \pm 11	1449 \pm 22	0.53
43	0.33	0.2655 \pm 2.3	0.0916 \pm 1.1	0.51	1518 \pm 12	1460 \pm 22	-3.81
44	0.68	0.2628 \pm 2.3	0.0940 \pm 1.1	0.51	1504 \pm 11	1508 \pm 23	0.29
45	0.28	0.2601 \pm 2.3	0.0946 \pm 1.2	0.48	1490 \pm 12	1520 \pm 24	2.01
46	0.09	0.2689 \pm 2.3	0.0948 \pm 1.1	0.55	1535 \pm 12	1525 \pm 21	-0.70
47	0.15	0.2706 \pm 2.3	0.0950 \pm 1.1	0.53	1544 \pm 12	1528 \pm 21	-1.04
48	0.14	0.2817 \pm 2.4	0.0952 \pm 1.1	0.53	1600 \pm 12	1532 \pm 21	-4.25
49	0.35	0.2578 \pm 2.3	0.0954 \pm 1.2	0.49	1479 \pm 12	1536 \pm 23	3.88
50	0.31	0.2764 \pm 2.4	0.0961 \pm 1.1	0.53	1573 \pm 12	1550 \pm 21	-1.51
51	0.33	0.2680 \pm 2.5	0.0965 \pm 1.3	0.41	1531 \pm 12	1558 \pm 26	1.81
52	0.44	0.2667 \pm 2.4	0.0971 \pm 1.3	0.45	1524 \pm 12	1569 \pm 24	2.95
53	0.34	0.2685 \pm 2.4	0.0975 \pm 1.2	0.47	1533 \pm 12	1577 \pm 23	2.84
54	0.52	0.2738 \pm 2.5	0.0975 \pm 1.4	0.41	1560 \pm 13	1577 \pm 27	1.06
55	1.20	0.2651 \pm 2.4	0.0976 \pm 1.3	0.46	1516 \pm 12	1579 \pm 24	4.18
56	0.47	0.2783 \pm 2.5	0.0979 \pm 1.3	0.46	1583 \pm 13	1584 \pm 24	0.04
57	1.09	0.2724 \pm 2.3	0.0988 \pm 1.1	0.56	1553 \pm 12	1601 \pm 20	3.08

Таблица 3. Окончание

Table 3. Ending

Номер зерна	Th/U	Изотопные отношения $\pm 1\sigma$		Rh ₀	Возраст $\pm 1\sigma$, млн лет		D, %
		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
58	0.42	0.2680 ± 2.4	0.0988 ± 1.2	0.48	1531 ± 12	1601 ± 23	4.61
59	0.44	0.2681 ± 3.3	0.0989 ± 2.6	0.27	1531 ± 17	1604 ± 48	4.76
60	0.23	0.2794 ± 2.4	0.0991 ± 1.1	0.54	1588 ± 12	1607 ± 21	1.16
61	0.55	0.3063 ± 2.6	0.1007 ± 1.2	0.54	1723 ± 13	1637 ± 21	-5.00
62	0.66	0.2628 ± 2.4	0.1012 ± 1.4	0.44	1504 ± 12	1646 ± 25	9.42
63	0.51	0.2920 ± 2.7	0.1017 ± 1.4	0.44	1651 ± 13	1656 ± 25	0.26
64	1.14	0.2910 ± 2.5	0.1022 ± 1.2	0.51	1646 ± 13	1665 ± 22	1.12
65	0.61	0.2962 ± 2.6	0.1036 ± 1.2	0.51	1673 ± 13	1689 ± 22	0.99
66	0.40	0.3109 ± 2.7	0.1036 ± 1.2	0.51	1745 ± 13	1690 ± 22	-3.14
67	0.46	0.2851 ± 2.6	0.1039 ± 1.4	0.44	1617 ± 13	1695 ± 25	4.83
68	0.12	0.2957 ± 2.5	0.1055 ± 1.2	0.54	1670 ± 12	1723 ± 20	3.17
69	0.93	0.3109 ± 2.7	0.1072 ± 1.3	0.53	1745 ± 13	1753 ± 21	0.42
70	0.45	0.3028 ± 2.8	0.1076 ± 1.5	0.41	1705 ± 14	1759 ± 26	3.16
71	0.25	0.3155 ± 2.9	0.1085 ± 1.5	0.41	1768 ± 14	1774 ± 25	0.36
72	0.79	0.3099 ± 2.9	0.1089 ± 1.6	0.42	1740 ± 14	1781 ± 27	2.30
73	1.41	0.3159 ± 2.8	0.1092 ± 1.4	0.47	1770 ± 14	1786 ± 23	0.94
74	0.61	0.3341 ± 2.9	0.1102 ± 1.3	0.51	1858 ± 14	1803 ± 22	-2.98
75	0.34	0.3226 ± 2.9	0.1105 ± 1.4	0.47	1802 ± 14	1807 ± 23	0.27
76	0.08	0.3374 ± 2.9	0.1107 ± 1.2	0.55	1874 ± 14	1811 ± 20	-3.37
77	1.88	0.3296 ± 2.8	0.1107 ± 1.3	0.53	1837 ± 14	1811 ± 21	-1.37
78	0.64	0.3261 ± 2.8	0.1113 ± 1.4	0.51	1820 ± 14	1820 ± 22	0.04
79	1.83	0.3371 ± 3.1	0.1150 ± 1.6	0.43	1873 ± 15	1880 ± 25	0.41
80	1.04	0.3651 ± 3.1	0.1239 ± 1.4	0.53	2006 ± 15	2013 ± 20	0.32
81	0.91	0.5173 ± 4.7	0.1873 ± 2.4	0.47	2688 ± 20	2719 ± 21	1.15

риала они не были эродированы и не дренировались.

В возрастных спектрах вышезалегающих хобейнской и мороинской свит (см. рис. 4а–в) сохраняется доминирующая роль рифейских датировок, но уже присутствует отчетливый пик, образованный раннепротерозойскими возрастами позднекарельского уровня, и отмечаются единичные зерна раннекарельских и позднеархейских цирконов. Это может быть связано как с возрастанием степени эродированности, так и расширением областей сноса кластики в позднеархейский осадочный бассейн Приполярного Урала. Обращает на себя внимание почти полное отсутствие позднеархейских датировок (один анализ) в цирконах мороинской свиты (см. рис. 4а). В целом в трех возрастных группах в рифейской выборке, которые довольно отчетливо выделяются на гистограммах и графиках плотности вероятности U-Pb возрастов цирконов из пород хобейнской (см. рис. 4б, в) и мороинской (см. рис. 4а) свит (850–1100, 1100–1450 и 1450–1700 млн лет), распределение датировок снизу вверх по разрезу составляет соответственно, %: 48:31:3, 32:43:26 и 3:58:39.

Сравнение графиков плотности вероятности распределения U-Pb датировок детритовых цирконов в докембрийских отложениях Приполярного Урала и сопоставимых с ними по возрасту отложе-

ний сопредельных территорий (рис. 5) показывает наибольшее сходство графиков для приполярно-уральских стратонов со средне- и северотиманскими. Учитывая преобладание среди раннепротерозойских датировок цирконов в верхнем докембрии Среднего и Северного Тимана значений в интервале 1.75–1.95 млрд лет, многие исследователи принимают гипотезу о фенноскандинавских источниках сноса этих цирконов (Андреичев и др., 2014, 2018; Удоратина и др. 2017; Брусницына и др., 2018; Соболева и др., 2022; и др.), связанных со свекофенской орогенцией и аккреционными событиями, синхронными с формированием Среднерусского орогена (Бибикина и др., 1995; Bogdanova et al., 2008; и др.). Тем не менее детритовые цирконы с возрастными значениями около 2.0–2.15 млрд лет отмечаются как в отложениях Среднего и Северного Тимана, так и Приполярного Урала. Это может свидетельствовать о том, что в формировании этих отложений участвовали продукты разрушения орогенов, спаявших отдельные части Волго-Уралии в интервале 2.1–1.8 млрд лет назад. В северной части Волго-Уралии (в современных координатах) реликтами таких орогенов могут быть раннепротерозойские метаморфические и гранитоидные комплексы Кожимского (Приполярный Урал) и Собского (Полярный Урал) поперечных поднятий. В верхнерифейских толщах Южно-

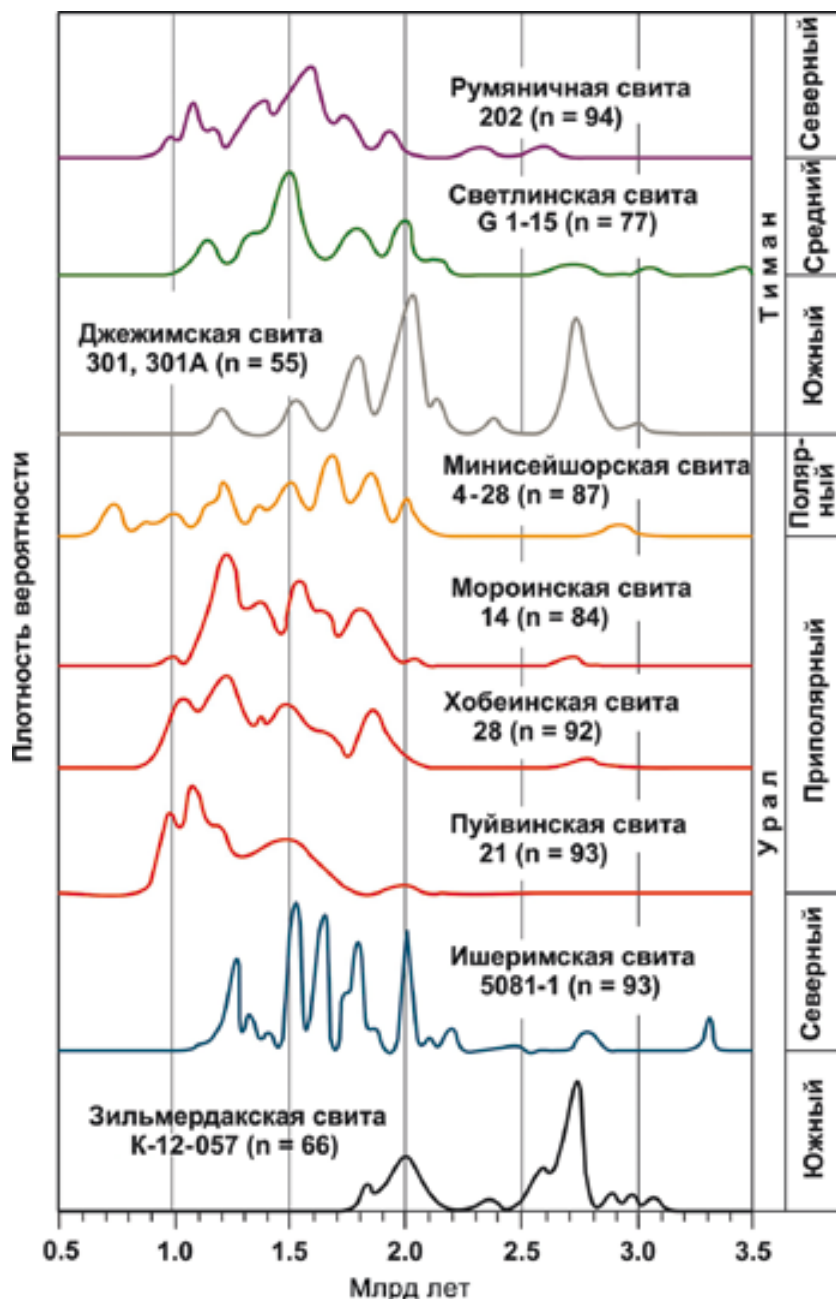


Рис. 5. Нормированные графики плотности вероятности U-Pb возраста зерен детритового циркона из верхне-докембрийских метатерригенных отложений Тимана и Урала.

Места отбора и номера проб – см. рис. 1.

Fig. 5. Normalized plots of the probability density of U-Pb age of detrital zircon grains from the Upper Precambrian metaterrigenous deposits of Timan and the Urals.

See Fig. 1 for sampling sites and sample numbers one.

го Урала и Южного Тимана цирконы с пиковым значением возрастов около 2.0 млрд лет составляют соответственно 35 и 49%. По мнению Т.В. Романюк и ее коллег (2013), в верхнерифейское время материал в район Южного Урала поступал преимущественно из восточной части Восточно-

Европейской платформы (ВЕРП). Поставщиками материала могли быть Тараташский ороген, а также Волго-Самарский ороген, возникший при коллизии Волго-Уралии и Сарматии (Кузнецов и др., 2010). В осадочный бассейн, существовавший в это время на территории современного Южного

Тимана, материал частично также мог поступать из восточной части ВЕП.

Детритовые цирконы с датировками, отвечающими раннему рифею и первой половине среднего рифея, являются наиболее многочисленными в терригенных толщах верхнего докембрия Среднего и Северного Тимана и северной части Урала (см. рис. 5). В верхнедокембрийских отложениях Приполярного Урала роль цирконов этого возрастного интервала является доминирующей в породах хобеинской и мороинской свит (см. рис. 4). Вероятно, основными источниками сноса обломочного материала явились магматические и метаморфические породы соответствующего возраста, распространенные в Фенноскандии. В тиманско-североуральской окраине ВЕП магматические породы ранне- и среднепротерозойского возраста практически не известны. Единственный пример – диориты в фундаменте Ижемской зоны Печорской плиты (скв. 21-Палью), Rb-Sr возраст которых составляет 1360 ± 31 млн лет (Андреичев, 2010). На южноуральской окраине ВЕП с процессами континентального рифтогенеза связаны проявления щелочно-базальтового вулканизма в навышской подсвите айской свиты (U-Pb возраст циркона из базальтов 1752 ± 11 млн лет (Краснобаев и др., 2018)) и риолит-базальтового вулканизма в машакской свите (U-Pb возраст цирконов из риолитов (1386 ± 6) – (1383 ± 3) млн лет (Puchkov et al., 2013)). К проявлениям магматизма машакского уровня могут быть отнесены Главная Байкальская дайка, рапакиви Бердяшского плутона, граниты Ахмеровского массива и другие магматиты на Южном Урале. По мнению В.Н. Пучкова (Puchkov et al., 2013; Пучков, 2018), как навышский, так и машакский магматизм плюмовой природы могут представлять собой процессы субглобального масштаба на суперконтиненте Нуна/Колумбия. С ними может быть связано синхронное проявление метаморфизма. Признаки метаморфической активизации, которые по времени коррелируют с навышским и машакским эндогенными событиями, установлены в ряде полиметаморфических комплексов Урала (Пыстина, Пыстин, 2002). Эти комплексы также могли быть источниками сноса цирконов соответствующего возрастного уровня в осадочный бассейн, существовавший на территории современного Приполярного Урала.

Основная возрастная популяция детритовых цирконов в породах пуйвинской свиты с возрастом 867–1179 млн лет соответствует времени проявления гренавильского (свеконорвежского) орогенеза (900–1100 млн лет) (Bogdanova et al., 2008; Vinzen et al., 2008; и др.). Высока доля цирконов этого возрастного интервала также в породах вышележающей хобеинской свиты, хотя она уменьшается вверх по разрезу (см. рис. 4). Заметна роль цирконов с такими возрастными значениями в верхне-

докембрийских отложениях Среднего и Северного Тимана, а также Полярного Урала (см. рис. 5). Поскольку в конце среднего и начале позднего рифея уральская и тиманская окраины ВЕП, по-видимому, были амагматичны (Пучков, 2010), обломочный материал с цирконами “гренавильского” возраста в основном поступал с фенноскандинавской части ВЕП. Тем не менее в нижнедокембрийских полиметаморфических комплексах Урала с этим возрастным интервалом связывается один из этапов полиметаморфизма в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций (Пыстина, Пыстин, 2002). Продукты этого этапа метаморфизма тоже могли поступать в позднерифейский осадочный бассейн Приполярного Урала. Проявление зонального метаморфизма дистен-силлиманитового типа в позднем рифее (973 ± 49 млн лет), достигавшего пиковых значений $T = 600$ – 650°C , $P = 8$ – 10 кбар, зафиксировано в породах белокаменского метаморфического комплекса Ишеримского блока на Северном Урале, хотя вопрос о принадлежности названного блока в позднерифейское время к кратону Балтика является предметом обсуждения. Предполагается, что Ишеримский блок мог быть аккрецирован к Балтике в позднем венде–раннем кембрии (Петров, 2020). Но не исключено и автохтонное залегание Ишеримского блока. В верхнедокембрийские толщи Полярного Урала (минсейшорскую свиту) цирконы “гренавильского” возраста, как и более древние, могли в основном поступать из близрасположенных источников. Таковыми источниками могли быть полиметаморфические комплексы и связанные с ними магматические образования, фрагменты которых на современной земной поверхности обнажаются в Харбейском, Марункеуском и Малыкском блоках на Полярном Урале (Пыстин и др., 2020).

Данные, приведенные в настоящей статье, свидетельствуют о том, что при формировании верхнедокембрийского разреза Приполярного Урала, так же как Среднего и Северного Тимана, существенную роль играли западные (фенноскандинавские) питающие провинции. Определенное значение могли иметь также местные источники сноса обломочного материала. В качестве возможных источников ближнего сноса наиболее предпочтительными являются полиметаморфические образования восточно-уральской части фундамента ВЕП, фрагменты которых выступают на дневной поверхности в виде небольших тектонических блоков в Западной тектонической зоне Урала.

Западный снос кластики предполагается также при формировании джежимской свиты Южного Тимана. Транспортировка материала в позднерифейский бассейн Южного Тимана могла происходить по Среднерусскому авлакогену (Кузнецов и др., 2010). Как уже отмечалось выше, материал в этот бассейн частично мог поступать из восточной части ВЕП.

Идентичный набор детритовых цирконов в верхнедокембрийских отложениях северо-восточной периферии ВЕП, включая Приполярный Урал, указывает на принадлежность всей этой территории в позднем докембрии к одной и той же континентальной окраине. Стратиграфические взаимоотношения верхнедокембрийских толщ с подстилающими нижнедокембрийскими образованиями известны только на Приполярном Урале. Поэтому для установления нижней возрастной границы тимано-североуральского верхнего докембрия определяющим является именно разрез Приполярного Урала. Залегающая в основании этого разреза пуйвинская свита, по полученным изотопно-геохронологическим данным, относится к верхнерифейским отложениям зильмердакско-катавского уровня. Нижний возрастной рубеж формирования отложений этого уровня (около 1000 млн лет назад) определяет вероятное время заложения Тиманской пассивной окраины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные минимальные возрастные датировки детритовых цирконов из терригенных отложений пуйвинской свиты (около 900 млн лет) свидетельствуют о том, что нижняя возрастная граница формирования базальных слоев верхнего докембрия Приполярного Урала не выходит за пределы позднего рифея.

Идентичный набор групп детритовых цирконов в верхнедокембрийских отложениях северо-восточной периферии ВЕП, включая Приполярный Урал, указывает на принадлежность всей этой территории в позднем докембрии к одной и той же континентальной окраине и о накоплении средне- и северотиманских, приполярноуральских верхнерифейских осадков в общем бассейне седиментации.

Учитывая, что стратиграфические взаимоотношения верхнедокембрийских толщ с подстилающими нижнедокембрийскими образованиями на северо-восточной периферии ВЕП достоверно известны только в северной части Ляпинского антиклинория на Приполярном Урале, именно этот район является опорным для установления нижней возрастной границы тимано-североуральского верхнего докембрия: нижний возрастной рубеж формирования пуйвинской свиты (около 1000 млн лет назад) определяет вероятное время заложения Тиманской пассивной окраины.

Отсутствие на северо-восточной периферии ВЕП ниже- и среднерифейских отложений может быть объяснено высоким стоянием этой территории в допозднерифейское время и нахождением ее во внутренней части фрагмента суперконтинента Нуна/Колумбия, избежавшего деструкции вплоть до вхождения Протобалтики в Родинию. Таким образом, заложение и развитие тиманид на северо-

восточной окраине ВЕП, очевидно, связаны с эволюцией Родинии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреичев В.Л. (2010) Эволюция фундамента Печорской плиты по изотопно-геохронологическим данным. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 44 с.
- Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж. (2014) U-Pb возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **22**(2), 32-45. <https://doi.org/10.7868/S0869522X14020021>
- Андреичев В.Л., Соболева А.А., Хубанов В.Б., Соболев И.Д. (2018) U-Pb (LA-ICP-MS) возраст детритовых цирконов из метаосадочных пород основания верхнедокембрийского разреза Северного Тимана. *Бюлл. МОИП. Отд. Геол.*, **93**(2), 14-26.
- Бибикова Е.В., Богданова С.В., Горбачев Р.М., Клаэссон С., Киризова Т.И. (1995) Изотопный возраст, природа и структура докембрийской коры в Беларуси. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, (6), 68-78.
- Белякова Л.Т. (1972) Геосинклинальный рифей севера Урала. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 26 с.
- Брусницына Е.Б., Ершова В.Б., Худoley А.К., Андерсен Т. (2018) Результаты исследований U-Pb изотопного возраста обломочных цирконов из средне-верхнерифейских отложений Четлаского Камня Тиманской гряды. *Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Мат-лы 50-го Тектонич. совещ.* М.: ГЕОС, 384-388.
- Глубинное строение Тимано-Североуральского региона. (2011) (Отв. ред. А.М. Пыстин). Сыктывкар: Геопринт, 261 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2001) Масштаб 1 : 1 000 000. Лист Q-40, 41 – Воркута. Объяснительная записка. (Ред. О.А. Кондаин). СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 342 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2007) Масштаб 1 : 1 000 000. Лист Q-41 – Воркута. Объяснительная записка. (Ред. В.А. Водолазская). СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 541 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2013) Масштаб 1 : 200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка. (Ред. М.А. Шишкин). М.: МФ ВСЕГЕИ, 252 с.
- Краснобаев А.А. (1986) Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 152 с.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018) Полихронная цирконология навыйских вулканитов айской свиты (Южный Урал). *Докл. АН*, **478**(1), 74-80. <https://doi.org/10.7868/S0869565218010152>
- Кузнецов Н.Б., Натапов Л.М., Белоусова Е.А., Гриффин У.Л., Рейлли С.О., Куликова К.В., Соболева А.А., Удоратина О.В. (2010) Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма). *Докл. АН*, **435**(6), 798-805.
- Петров Г.А. (2020) Докембрийские комплексы Ишеримского антиклинория (Северный Урал): Стратигра-

- фия, магматизм, метаморфизм, металлогения. Екатеринбург: УрО РАН, 176 с.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В. (2015) Первые результаты U-Pb (La-ISP-MS) датирования обломочных цирконов из песчаников Ишери́мского антиклина́рия (Северный Урал). *Докл. АН*, **464**(5), 589-593. <https://doi.org/10/7868/S08696521521529023X>
- Пучков В.Н. (1975) Структурные связи Приполярного Урала и смежной части Русской платформы. Л.: Наука, 208 с.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н. (2018) Плюмы – новое слово в геологии Урала. *Литосфера*, **18**(4), 483-499. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499>
- Пучков В.Н., Карстен Л.А. (1986) Раннепротерозойские метаморфические комплексы Приполярного Урала. *Ежегодник-1985*. Свердловск: ИГТ УНЦ АН СССР, 25-27.
- Пыстин А.М. (2021) Геологическое наследие Б.А. Голдина. *Вестник геонаук*, (12), 51-60. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.12.6>
- Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. (2008) Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры. *Литосфера*, (6), 25-38.
- Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. (2014) Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе. *Литосфера*, (3), 41-50.
- Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. (2018а) Геологическая позиция и возраст маньхобейской свиты (RF₁?) на Приполярном Урале. *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, (9), 3-9. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-9-3-9>
- Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. (2018б) Геологическая позиция и возраст шокуринской свиты на Приполярном Урале. *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, (10), 3-9. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-10-3-9>
- Пыстин А.М., Пыстина Ю.И., Хубанов В.Б. (2019) Первые результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из базальных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала. *Докл. АН*, **488**(2), 172-175. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524882172-175>
- Пыстин А.М., Уляшева Н.С., Пыстина Ю.И., Гракова О.В. (2020) Источники сноса и U-Pb возраст обломочных цирконов из верхнепротерозойских отложений Полярного Урала: к вопросу о времени заложения тиманской пассивной окраины. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **28**(5), 3-25. <https://doi.org/10.31857/S0869592X20050087>
- Пыстина Ю.И. (1997) Минералогическая стратиграфия метаморфических образований Приполярного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 124 с.
- Пыстина Ю.И., Пыстин А.М. (2002) Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 167 с.
- Пыстина Ю.И., Пыстин А.М., Хубанов В.Б. (2019) Нижний докембрий в структуре палеозойда на Приполярном Урале. *Докл. АН*, **486**(5), 72-76. <https://doi.org/10.31857/S0869-5652486572-76>
- Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б. (2013) Первые результаты U/Pb LA-ICP-MS датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклина́рия (Южный Урал). *Докл. АН*, **452**(6), 642-645.
- Соболева А.А. (2004) Вулканиды и ассоциирующие с ними гранитоиды Приполярного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 147 с.
- Соболева А.А. (2020) Результаты U-Pb (SIMS)-датирования циркона из гранитов и риолитов хр. Малдынырд, Приполярный Урал. *Современные проблемы теоретической и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2020)*. Мат-лы Росс. конф. с междунар. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 63-65.
- Соболева А.А., Андреичев В.Л. (1997) Вулкано-плутоническая ассоциация габбро-тоналит-гранодиорит-гранитного состава на Приполярном Урале. *Гранитоидные вулкано-плутонические ассоциации. Тезисы докл. Всерос. совещ.* Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 38-39.
- Соболева А.А., Андреичев В.Л., Михайленко Ю.В., Хубанов В.Б. (2022) U-Pb (LA-ICP-MS) изотопные возрасты и вероятные источники детритового циркона в кварцито-песчаниках хобейской свиты (Приполярный Урал). *Вестник геонаук*, (1), 4-20. <https://doi.org/10.19110/geov.2022.1.1>
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). (1993) Екатеринбург: Уралгеолком.
- Удортатина О.В., Бурцев И.Н., Никулова Н.Ю., Хубанов В.Б. (2017) Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов. *Бюлл. МОИП. Отд. Геол.*, **92**(5), 15-32.
- Уляшева Н.С., Пыстина Ю.И., Пыстин А.М., Гракова О.В., Хубанов В.Б. (2019) Первые результаты U-Pb LA-SF-ICP-MS датирования детритовых цирконов из среднерифейских(?) терригенных отложений Полярного Урала. *Докл. АН*, **485**(4), 488-492. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524854488-492>
- Фишман М.В., Голдин Б.А. (1963) Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. Л.: Наука, 105 с.
- Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. (2016) U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление со SHRIMP-данными. *Геология и геофизика*, **57**(1), 241-258. <https://doi.org/10.15372/GiG20160113>
- Bingen B., Nordgulen O., Giulio V. (2008) A four-phase model for the Sveconorwegian orogeny, SW Scandinavia. *Norw. J. Geol., Trondheim*, **88**, 43-72.
- Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N. (2008) The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precamb. Res.*, **160**, 23-45.
- Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. (2008) Glitter: Data reduction software for laser ablation ICP-MS. *Laser ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues*. (Ed. P.J. Sylvester). *Mineral. Assoc. Canada. Short Course*, **40**, 307-311.

- Ludwig K.R. (2012) User's manual for Isoplot 3.75. A geochronological toolkit for Microsoft Excel: Berkeley Geochronology Center. Spec. Publ., No. 5, 75 p.
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund, Vingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D. (2013) The 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals. *Lithos*, **174**, 109-124.
- Pystin A.M., Pystina Yu.I., Ulyasheva N.S., Grakova O.V. (2020) U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic age. *Int. Geol. Rev.*, **62**(17), 2189-2202. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1689533>
- Pystin A., Pystina J. (2015) The early Precambrian history of rock metamorphism in the Urals segment of crust. *Int. Geol. Rev.*, **57**(11-12), 1650-1659. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.991767>
- Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. (2001) LA-ICP-MS in the Earth Science – Appendix 3, data reduction software for LA-ICP-MS. (Ed. P.J. Sylvester). *Mineral. Assoc. Canada. Short Course*, **29**, 239-243.
- Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. (1995) Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace elements and REE analyses. *Geostand. Newslett.*, **19**, 1-23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>
- Andreichev V.L. (2010) Evolution of the basement of the Pechora plate according to isotope-geochronological data. Dr. geol.-min. nauk. Diss. Ekaterinburg, 44 p. (In Russ.)
- Andreichev V.L., Soboleva A.A., Gerels J. (2014) U-Pb age and provenance of detrital zircons from the Upper Precambrian deposits of the Northern Timan. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **22**(2), 32-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0869522X14020021>
- Andreichev V.L., Soboleva A.A., Khubanov V.B., Sobolev I.D. (2018) U-Pb (LA-ICP-MS) age of detrital zircons from metasedimentary rocks at the base of the Upper Precambrian section of Northern Timan. *Byull. MOIP. Otd. Geol.*, **93**(2), 14-26. (In Russ.)
- Belyakova L.T. (1972) Geosynclinal Riphean of the north of the Urals. Cand. geol.-min. nauk. Diss. Moscow, 26 p. (In Russ.)
- Bibikova E.V., Bogdanova S.V., Gorbachev R.M., Claesson S., Kirnozova T.I. (1995) Isotopic age, nature and structure of the Precambrian crust in Belarus. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **3**(6), 68-78. (In Russ.)
- Bingen B., Nordgulen O., Giulio V. (2008) A four-phase model for the Sveconorwegian orogeny, SW Scandinavia. *Norw. J. Geol., Trondheim*, **88**, 43-72.
- Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N. (2008) The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precamb. Res.*, **160**, 23-45.
- Brusnitsyna E.B., Ershova V.B., Khudolei A.K., Andersen T. (2018) Results of studies of the U-Pb isotopic age of clastic zircons from the Middle-Upper Riphean deposits of the Chetla Kamen of the Timan Ridge. *Problems of tectonics and geodynamics of the Earth's crust and robes. Materials of the 50th Tectonic Conference*. Moscow, GEOS Publ., 384-388. (In Russ.)
- Deep structure of the Timan-Severouralsk region. (2011) (Ed. A.M. Pystin). Syktyvkar, Geoprint Publ., 261 p. (In Russ.)
- Fishman M.V., Goldin B.A. (1963) Granitoids of the central part of the Subpolar Urals. Leningrad, Nauka Publ., 105 p. (In Russ.)
- Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. (2008) Glitter: Data reduction software for laser ablation ICP-MS. Laser ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues. (Ed. P.J. Sylvester). *Mineral. Assoc. Canada. Short Course*, **40**, 307-311.
- Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A. (2016) U-Pb isotope dating of zircons from PZ₃-MZ igneous complexes of Transbaikalia by magnetic sector mass spectrometry with laser sampling: Determination procedure and comparison with SHRIMP data. *Geol. Geofiz.*, **57**(1), 241-258. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG20160113>
- Krasnobaev A.A. (1986) Zircon as an indicator of geological processes. Moscow, Nauka Publ., 152 p. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2018) Polychronic zirconology of the Navysh volcanics of the Ai Formation (Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **478**(1), 74-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0869565218010152>
- Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Kulikova K.V., Soboleva A.A., Udoratina O.V. (2010) First results of U/Pb dating and isotope-geochemical study of detrital zircons from Late Precambrian sandstones of South Timan (Dzhezhim-Parma ridge). *Dokl. Akad. Nauk*, **435**(6), 798-805. (In Russ.)
- Ludwig K.R. (2012) User's manual for Isoplot 3.75. A geochronological toolkit for Microsoft Excel: Berkeley Geochronology Center. Spec. Publ., No. 5, 75 p.
- Petrov G.A. (2020) Precambrian complexes of the Isherim anticlinorium (Northern Urals): stratigraphy, magmatism, metamorphism, metallogeny. Ekaterinburg, RIO UB RAN Publ., 176 p. (In Russ.)
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Gerdes A., Maslov A.V. (2015) First results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from metasandstones of the Isherim anticlinorium (Northern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **464**(5), 589-593. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S086956521529923X>
- Puchkov V.N. (1975) Structural links between the Subpolar Urals and the adjacent part of the Russian platform. Leningrad, Nauka Publ., 208 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, DesignPolygraphService Publ., 280 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2018) Plumes – a new word in the geology of the Urals. *Lithosphere (Russia)*, **18**(4), 483-499. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499>
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund, Vingate M.T.D., Postnikov A.V., Segeeva N.D. (2013) The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals. *Lithos*, **174**, 109-124.
- Puchkov V.N., Karsten L.A. (1986) Early Proterozoic metamorphic complexes of the Subpolar Urals. *Ezhegod-*

- nik-1985. Sverdlovsk, IGG UNTs AN SSSR, 25-27. (In Russ.)
- Pystin A.M. (2021) Geological legacy of B.A. Goldin. *Vestnik Geonauk*, (12), 51-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/geov.2021.12.6>
- Pystin A.M., Pystina Yu.I. (2008) Metamorphism and granite formation in the Proterozoic-Early Paleozoic history of the formation of the Subpolar Ural segment of the Earth's crust. *Lithosphere (Russia)*, (6), 25-38. (In Russ.)
- Pystin A.M., Pystina Yu.I. (2014) Upper Precambrian basal deposits in the Timan-North Ural region. *Lithosphere (Russia)*, (3), 41-50. (In Russ.)
- Pystin A.M., Pystina Yu.I. (2018a) Geological position and age of the Mankhobeinskaya Formation (RF₁?) in the Subpolar Urals. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN*, (9), 3-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-9-3-9>
- Pystin A.M., Pystina Yu.I. (2018b) Geological position and age of the Shchokurinskaya Formation in the Subpolar Urals. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN*, (10), 3-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-10-3-9>
- Pystin A.M., Pystina Yu.I., Khubanov V.B. (2019) First results of U-Pb dating of detrital zircons from Upper Precambrian basal deposits of the Subpolar Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **488**(2), 172-175. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524882172-175>
- Pystin A.M., Pystina Yu.I., Ulyasheva N.S., Grakova O.V. (2020) U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic age. *Int. Geol. Rev.*, **62**(17), 2189-2202. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1689533>
- Pystin A., Pystina J. (2015) The early Precambrian history of rock metamorphism in the Urals segment of crust. *Int. Geol. Rev.*, **57**(11-12), 1650-1659. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.991767>
- Pystin A.M., Ulyasheva N.S., Pystina Yu.I., Grakova O.V. (2020) Fossil zircons and U-Pb age of detrital zircons from the Upper Proterozoic deposits of the Polar Urals: on the question of the time of initiation of the Timan passive margin. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **28**(5), 3-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869592X20050087>
- Pystina Yu.I. (1997) Mineralogical stratigraphy of metamorphic formations in the Subpolar Urals. Ekaterinburg, RIO UB RAS Publ., 124 p. (In Russ.)
- Pystina Yu.I., Pystin A.M. (2002) Zircon Chronicle of the Ural Precambrian. Ekaterinburg, RIO UB RAS Publ., 167 p. (In Russ.)
- Pystina Yu.I., Pystin A.M., Khubanov V.B. (2019) Lower Precambrian in the Paleozoic structure in the Subpolar Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **486**(5), 72-576. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524865572-576>
- Romanyuk T.V., Maslov A.V., Kuznetsov N.B. (2013) First results of U/Pb LA-ICP-MS dating of detrital zircons from the Upper Riphean sandstones of the Bashkirian Anticlinorium (Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **452**(6), 642-645. (In Russ.)
- Soboleva A.A. (2004) Volcanites and associated granitoids of the Subpolar Urals. Ekaterinburg, RIO UB RAS Publ., 147 p. (In Russ.)
- Soboleva A.A. (2020) Results of U-Pb (SIMS) dating of zircon from granites and rhyolites Mt. Maldynyrd, Subpolar Urals. *Modern problems of theoretical and applied mineralogy (Yushkin Readings – 2020). Materials of the Russian conference with international participation*. Syktyvkar, IG Komi Scientific Center UB RAS, 63-65. (In Russ.)
- Soboleva A.A., Andreichev V.L. (1997) Volcano-plutonic association of gabbro-tonalite-granodiorite-granite composition in the Subpolar Urals. *Granitoid volcano-plutonic associations. Abstracts All-Russian meeting*. Syktyvkar, IG Komi SC UB RAS, 38-39. (In Russ.)
- Soboleva A.A., Andreichev V.L., Mikhailenko Yu.V., Khubanov V.B. (2022) U-Pb (LA-ICP-MS) isotopic ages and probable sources of detrital zircon in quartzite sandstones of the Khobeinskaya suite (Polar Urals). *Vestnik Geonauk*, (1), 4-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/geov.2022.1.1>
- State geological map of the Russian Federation. (2001) Scale 1 : 1,000,000. Sheet Q-40, 41 – Vorkuta. Explanatory note. (Ed. O.A. Condiain). St.Petersburg, Cartographic factory VSEGEI Publ., 342 p. (In Russ.)
- State geological map of the Russian Federation. (2007) Scale 1 : 1,000,000. Sheet Q-41 – Vorkuta. Explanatory note. (Ed. V.A. Vodolazskaya). St.Petersburg, Cartographic factory VSEGEI, 541 p. (In Russ.)
- State geological map of the Russian Federation. (2013) Scale 1 : 200,000. Severo-Uralskaya series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory note. (Ed. M.A. Shishkin). Moscow, MF VSEGEI Publ., 252 p. (In Russ.)
- Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic). (1993) Ekaterinburg, Uralgeolcom Publ. (In Russ.)
- Udoratina O.V., Burtsev I.N., Nikulova N.Yu., Khubanov V.B. (2017) Age of metasediments of the Upper Precambrian Chetlas Group of the middle Timan based on U-Pb dating of detrital zircons. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **92**(5), 15-32. (In Russ.)
- Ulyasheva N.S., Pystina Yu.I., Pystin A.M., Grakova O.V., Khubanov V.B. (2019) First results of U-Pb LA-SF-ICP-MS dating of detrital zircons from the Middle Riphean (?) terrigenous deposits of the Polar Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **485**(4), 488-492. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524854488-492>
- Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. (2001) LA-ICP-MS in the Earth Science – Appendix 3, data reduction software for LA-ICP-MS. (Ed. P.J. Sylvester). *Mineral. Assoc. Canada. Short Course*, **29**, 239-243.
- Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. (1995) Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Newslett.*, **19**, 1-23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>