

Возрастные ограничения и возможные источники сноса базальных отложений рифея Приполярного Урала

©2023 А. М. Пыстин¹✉, О. В. Гракова¹, Ю. И. Пыстина¹,
Е. В. Кушманова¹, К. С. Попвасев¹, В. Б. Хубанов²

¹Институт геологии им. Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
ул. Первомайская, 54, 167982, Сыктывкар, Российская Федерация

²Геологический институт им. Н. Л. Добрецова СО РАН,
ул. Сахьяновская, 6а, 670047, Улан-Удэ, Российская Федерация

Аннотация

Введение: Полученные в последние годы изотопно-геохронологические данные для докембрийских образований Ляпинского мегантиклинория Приполярного Урала, где вскрывается наиболее полный разрез докембрия Тимано-Североуральского региона, указывают на необходимость значительной корректировки существующих схем стратиграфии докембрия этого района. Наиболее проблематичным остается вопрос о нижней возрастной границе базальных отложений верхнедокембрийской части разреза. В статье приведены новые результаты U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из пород пуйвинской свиты с целью дополнительного обоснования возраста базальных отложений рифея Приполярного Урала и уточнения возможных источников сноса терригенного материала при их формировании.

Методика: Методы исследования заключались в установлении морфологических особенностей и внутреннего строения детритовых цирконов с помощью поляризационного микроскопа БиОптик СР-400 и сканирующих электронных микроскопов TESCAN VEGA3 LMN с энерго-дисперсионной приставкой X-MAX50 mm Oxford instruments и JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link. Изотопное датирование цирконов выполнено U-Pb (LA-SF-ICP-MS) методом на базе одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Element XR и устройства лазерной абляции UP-213.

Результаты и обсуждение: В результате проведенных исследований подтвержден позднерифейский возраст базальных отложений верхнего докембрия рассматриваемого района (пуйвинской свиты) и показано, что на начальных стадиях формирования верхнедокембрийского разреза роль кристаллических пород фундамента, как источников сноса терригенного материала, была не велика или вовсе отсутствовала. Снос кластики в приполярноуральский бассейн осадконакопления происходил преимущественно с Фенноскандинавской части Балтики. Начиная с позднепуйвинского времени, постепенно возрастала роль местных источников сноса, а роль «скандинавских» кристаллических комплексов, напротив, уменьшалась, что, в свою очередь, могло быть связано с регрессией бассейна осадконакопления.

Выводы: В позднем докембрии северо-восточная периферия Восточно-Европейской платформы, включая Приполярный Урал, Северный и Средний Тиман, принадлежали к одной и той же континентальной окраине. Время ее заложения (около 900 млн лет назад) определяется нижней возрастной границей пуйвинской свиты – базального стратона типового верхнедокембрийского разреза



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Пыстин Александр Михайлович, e-mail: pystin.48@mail.ru

Тимано-Североуральского региона.

Ключевые слова: Ляпинский мегантиклинорий, верхний докембрий, детритовые цирконы, U-Pb изотопный возраст.

Источник финансирования: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ. Проект № 22-27-0019.

Для цитирования: Пыстин А. М., Гракова О. В., Пыстина Ю. И., Кушманова Е. В., Попвасев К. С., Хубанов В. Б. Возрастные ограничения и возможные источники сноса базальных отложений рифея Приполярного Урала // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2023. № 4. С. 4–17. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/4-17>

Введение

В пределах Тимано-Североуральского региона наиболее полный разрез докембрия вскрывается на Приполярном Урале в Ляпинском мегантиклинории. В последней официально утвержденной стратиграфической схеме [1] в позднедокембрийской части приполярноуральского разреза, как и в стратотипическом рифейском разрезе Башкирского мегантиклинория, выделяются отложения всех подразделений рифея. На изданных позднее Государственных картах масштабов 1:1000 000 – 1:200 000 [2–4] выделенные ранее стратиграфические подразделения и их последовательность остались прежними, однако оценка возраста стратонив, слагающих дохобеинскую часть разреза, дается разными исследователями по-разному, вплоть до того, что отрицается наличие нижнедокембрийских образований (рис. 1).

Выполненные в последние годы изотопно-геохронологические исследования пород нижней части докембрийского разреза северной части Ляпинского мегантиклинория в верхнем течении бассейна р. Кожим показали, что не только няртинский комплекс, но и выделяемые в основании рифейского разреза маньхобеинская и шокуринская свиты относятся к образованиям дорифейского структурного этажа: U-Pb возраст гранулитоморфных метаморфогенных цирконов в породах няртинского комплекса 2127±31 млн лет [5], в породах шокуринской свиты 2156±44 млн лет [6].

Таким образом, рифейский разрез рассматриваемого района начинается не с маньхобеинской или няртинской свит, а с пуйвинской свиты, как это раньше предполагал М. В. Фишман [7] и принимается в настоящее время некоторыми исследователями [8].

Подразделения стратиграф. шкалы [Divisions of the stratigraphic]	Стратиграфические подразделения: свиты (серии, комплексы) [Stratigraphic units: formations (series, complexes)]				
	[1]	[2]	[3]	[4]	
PR ₂	V	Лаптопайская [Laptopaiskaya]	Лаптопайская [Laptopaiskaya]		
	RF ₃	Саблегорская [Sablegorskaya]	Саблегорская [Sablegorskaya]	Саблегорская [Sablegorskaya]	Саблегорская [Sablegorskaya]
		Мороинская [Moroinskaya]	Мороинская [Moroinskaya]	Мороинская [Moroinskaya]	Мороинская [Moroinskaya]
		Хобеинская [Khobeinskaya]	Хобеинская [Khobeinskaya]	Хобеинская [Khobeinskaya]	Хобеинская [Khobeinskaya]
	RF ₂	Пуйвинская [Puivinskaya]	Шокуринская [Shchokurinskaya]	Пуйвинская [Puivinskaya]	Пуйвинская [Puivinskaya]
RF ₁	Шокуринская [Shchokurinskaya]	Маньхобеинская [Mankhobeinskaya]	Шокуринская [Shchokurinskaya]	Маньхобеинская [Mankhobeinskaya]	
PR ₁	Няртинский комплекс [Nyartin complex]	Няртинская серия [Nyartinskaya series]	Няртинская свита [Nyartinskaya formation]	Няртинская свита [Nyartinskaya formation]	

Рис. 1. Стратиграфические схемы докембрийских отложений Приполярного Урала.
[Fig. 1. Stratigraphic schemes of precambrian deposits in the Subpolar Urals.]

Первые результаты изотопного U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датирования детритовых цирконов (dZr) из метатерригенных отложений пуйвинской свиты свидетельствуют о том, что они не могут относиться к среднерифейскому разрезу, поскольку минимальные возрастные значения (867±71, 889±55, 892±86, 907±54, 909±46, 910±77 млн лет), указывают на их формирование не раньше 900 млн лет назад [9, 10]. При этом оказалось, что в выборке циркона из пород пуйвинской свиты в отличие от циркона из вышележающих рифейских отложений [11, 12] практически отсутствуют индивиды этого минерала с U-Pb возрастом, превышающим 1.6 млрд лет (из 93-х проанализированных зерен dZr только по одному зерну получена превышающая этот возрастной рубеж датировка – 1889±19 млн лет). Этот феномен мы объяснили тем, что на начальных стадиях формирования верхнедокембрийского разреза рассматриваемого района, роль кристаллических пород фундамента была не велика или вовсе отсутствовала; в это время в пределах доступности транспортировки обломочного материала они, вероятно, еще не были эродированы и не дренировались [11].

В настоящей статье приведены новые результаты U-Pb датирования dZr из пород пуйвинской свиты с целью дополнительного обоснования возраста базальных отложений рифея Приполярного Урала и уточнения

возможных источников сноса при их формировании.

Стратиграфическая позиция пуйвинской свиты

В основании докембрийского разреза северной части Ляпинского мегантиклинория мы выделяем няртинский (или николайшорский) метаморфический комплекс и щокуринскую свиту, которые слагают до-рифейский структурный этаж. Маньхобеинская свита была выделена ошибочно на месте средне-низкотемпературных диафторитов по породам, аналогичным тем, которыми сложен няртинский метаморфический комплекс и не может рассматриваться как самостоятельное стратиграфическое подразделение [6, 13]. Учитывая, что названная свита была в свое время выделена из состава николайшорской свиты (по М. В. Фишману), комплексу метаморфических пород, залегающему ниже щокуринской свиты (няртинскому комплексу и так называемой маньхобеинской свите), следует вернуть название николайшорский.

Верхнедокембрийский разрез представлен (снизу-вверх) пуйвинской (RF₃), хобеинской (RF₃), мороинской (RF₃), саблгорской (RF₃-V₁) и лапторайской (V₂) свитами. Авторская схематическая геологическая карта района исследований и актуализированная стратиграфическая колонка докембрийских образований приведены на рис. 2.

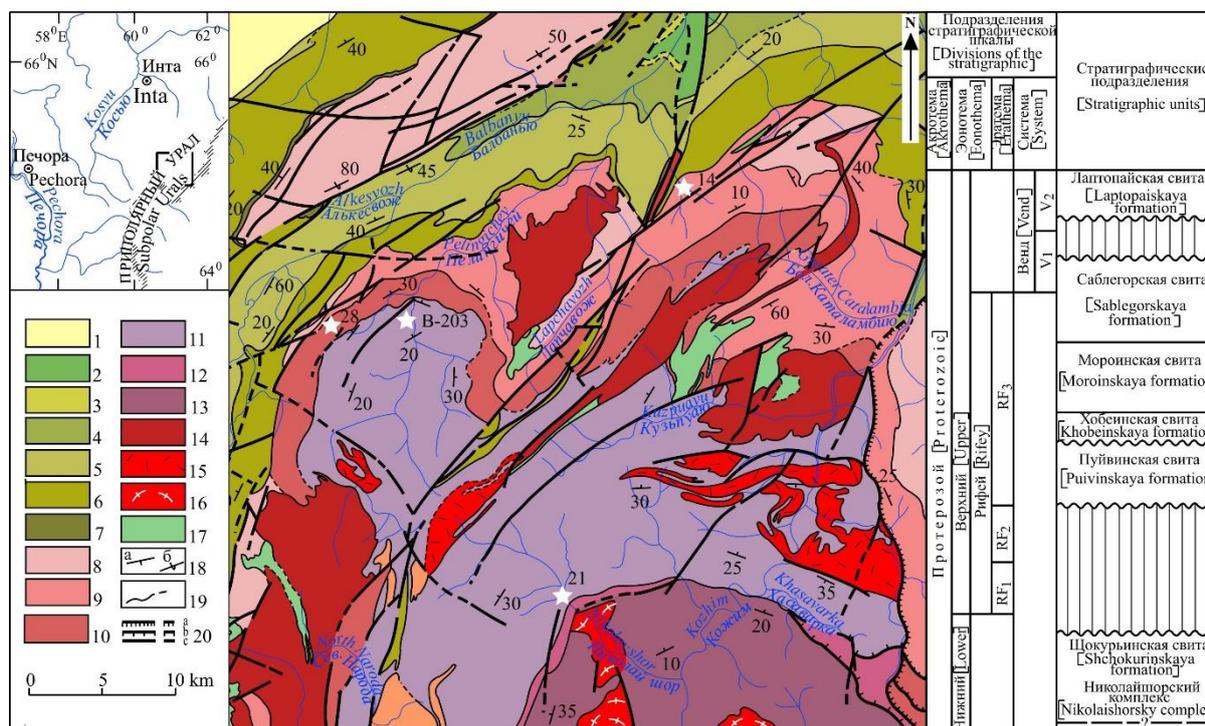


Рис. 2. Геологическая карта и стратиграфическая схема докембрийских образований северной части Приполярного Урала (по [14] и Стратиграфическая схема докембрийских образований северной части Приполярного Урала): 1 – верхнечетвертичные-современные отложения (Q₃₋₄), 2 – силурийские отложения (S₁₋₂), 3 – верхнеордовикские отложения (O₃), 4 – кожимская свита (O₂), 5 – салецкая свита (O₁₋₂), 6 – обеизская свита (O₁), 7 – алькесвожская толща (Є₃-O₁), 8 – саблгорская свита (RF₃-V), 9 – мороинская свита (RF₃), 10 – хобеинская свита (RF₃), 11 – пуйвинская свита (RF₃), 12 – щокуринский метаморфический комплекс (PR₁), 13 – николайшорский метаморфический комплекс (PR₁), 14–16 – гранитоидные комплексы: 14 сальнеро-маньхамбовский (RF₃-V), 15 – кожимский (RF₃), 16 – николайшорский (PR₁), 17 – хаталамбинский габбро-долеритовый комплекс (RF₃-V), 18 – элементы залегания плоскостных структур (слоистости, полосчатости, сланцеватости), 19 – границы геологических тел, 20 – тектонические границы: a – шарьяжи и надвиги, b – везбросы и сбросы, c – крутопадающие дизъюнктивы. Звездочка с цифрой – место отбора и номер пробы. На врезке прямоугольник – контур геологической карты.

[Fig. 2. Geological map of the northern part of the Subpolar Urals (after [14]): (1) – Upper Quaternary-Modern sediments (Q_{3-4}), (2) – Silurian sediments (S_{1-2}), (3) – Upper Ordovician sediments (O_3), (4) – Kozhimsky formation (O_2), (5) – Saled formation (O_{1-2}), (6) – Obyiz formation (O_1), (7) – Alkesvozh formation (ϵ_3-O_1), (8) – Sablegorsk formation (RF_3-V), (9) – Moroinская formation (Rf_3), (10) – Khobeinskaya formation (RF_3), (11) – Puiвinskaya formation (RF_3), (12) – Shchokurya metamorphic complex (PR_1), (13) – Nikolaishor metamorphic complex (PR_1), (14–16) – granitoid complexes: (14) – Salnero-Mankhambovsky (RF_3-V), (15) – Kozhimsky (RF_3), (16) – Nikolaishorsky (PR_1), (17) – Khatalambinsky-gabbro-dolerite complex (RF_3-V), (18) – elements of occurrence of planar structures (bedding, banding, schistosis), (19) – boundaries of geological bodies, (20) – tectonic boundaries: (a) – nodules and thrust faults, (b) – faults and faults dew, (c) – steeply dipping disjunctives. An asterisk with a number indicates the place of sampling and the number of the sample.]

Пуйвинская свита залегает с разрывом, структурным и метаморфическим несогласием на породах щокуринской свиты и николайшорского комплекса. Свита занимает центральную часть рассматриваемой площади и распространена в западном и северном обрамлении николайшорского комплекса и щокуринской свиты в верховье р. Кожим и бассейнах ручьев Кожимвож, Николайшор, Кузьпуаю, Игшор, Хасаварка, Осею, а также в западной части района в бассейне р. Пелингичей. Она сложена преимущественно сероцветными хлорит-мусковит-альбит-кварцевыми сланцами с различным соотношением породообразующих минералов. Иногда в сланцах отмечается гранат алмадин-гроссуляр-спессартинового состава [15].

В средней и нижней частях сланцевого разреза свиты встречаются прослои аповулканогенных зеленых сланцев и маломощные согласные тела метадолеритов, метапорфиритов и метапорфиров. Метаморфизм пород соответствует условиям биотит-хлоритовой и эпидот-мусковит-хлоритовой субфаций фации зеленых сланцев. В основании свиты фрагментарно выделяется ошизская толща (0–200, редко до 350 м), сложенная кварцитами, иногда с прослоями метагравелитов и метаконгломератов. Общая мощность пуйвинской свиты достигает 1600 м.

На пуйвинской свите с разрывом залегают мусковит-кварцевые сланцы и кварциты хобеинской свиты с конгломератами и гравелитами в основании, которые вверх по разрезу наращиваются вулканогенно-осадочными и карбонатными отложениями мороинской свиты и далее вулканитами основного, средне-кислого и кислого состава саблегорской свиты¹.

Выше с глубоким разрывом, структурным и метаморфическим несогласием залегают нижнепалеозойские отложения. Разрез начинается с грубообломочных пород, которые сменяются песчаниками, алевролитами и сланцами и венчается мощной толщей карбонатных отложений.

Материал и методы исследований

Для получения монофракции циркона была отобрана проба В-203 на левом берегу р. Пелингичей, в 1.2 км выше по течению от устья руч. Еркусей (СШ $65^{\circ}11'31.1''$; ВД $60^{\circ}24'39.3''$) из коренного обнажения хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев, которое прослеживается вдоль берега на расстоянии около 500 м (рис. 2, 3).

¹ Лаптопайская свита, имеющая ограниченное распространение, в рассматриваемом районе отсутствует.



Рис. 3. Обнажение мусковит-хлорит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты на берегу р. Пелингичей.

[Fig. 3. Outcrop of muscovite-chlorite-albite-quartz schists of the Puiвinskaya Formation on the bank of the Pelingich River.]

Проба была измельчена в ступе до размера <0.25 мм и промыта в проточной водопроводной воде до серого шлиха. Полученный серый шлик был разделен на фракции с использованием бромформа, магнитной и электромагнитной сепарации. Извлеченные под биноклем зерна циркона из тяжелой немагнитной фракции изучались в проходящем и отраженном свете с помощью поляризационного микроскопа БиОптик СР-400. Морфологические особенности цирконов изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA3 LMN с энерго-дисперсионной приставкой X-MAX50 mm Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 180 нм и области возбуждения до 5 мкм, и сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link, с ускоряющим напряжением и током на образцах – 20 кВ и 2×10^{-9} А, соответственно, и сертифицированными стандартами фирмы «Microspres». Катодолюминесцентные изображения цирконов получены с использованием СЭМ ThermoFischer Scientific Axia ChemiSEM с выдвижным детектором катодолюминесценции RGB с диапазоном обнаружения длин волн: 350–850 нм.

Все вышеперечисленные исследования выполнены в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Изотопные исследования циркона из пробы В-203

выполнены U-Pb (LA-SF-ICP-MS) методом. Этот метод реализован на базе одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Element XR и устройства лазерной абляции UP-213 в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Технология пробоподготовки, анализ и расчет возраста изложены в работе В. Б. Хубанова с соавторами [16]. В качестве внешнего стандарта использовался цирконовый эталон 91500 [17]. Обработка данных масс-спектрометрического анализа проводилась с помощью программы Glitter, разработанной Австралийским научным центром GEMOC при Университете Маккуори [18, 19]. Для построения U-Pb диаграмм с конкордией использовался макрос Isoplot 3 [20] для программы Microsoft Excel.

При интерпретации изотопных датировок dZr 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.

Результаты датирования детритового циркона

Монофракция циркона получена из пробы пуйвинских сланцев (проба 203), отобранных из верхней части разреза свиты, примерно в 300 м (по мощности) от границы с залегающей выше хобеинской свитой. Место отбора пробы выбрано с целью оценки возможного изменения источников сноса терригенного материала и условий осадконакопления в течение пуйвинского времени с учетом того, что ранее был датирован циркон из метатерригенных сланцев нижней части разреза пуйвинской свиты [9].

Отобранный сланец характеризуется лепидогранобластовой структурой (рис. 4). В сланце кроме главных породообразующих минералов: кварца, альбита, мусковита и хлорита присутствует биотит (около 2 %).

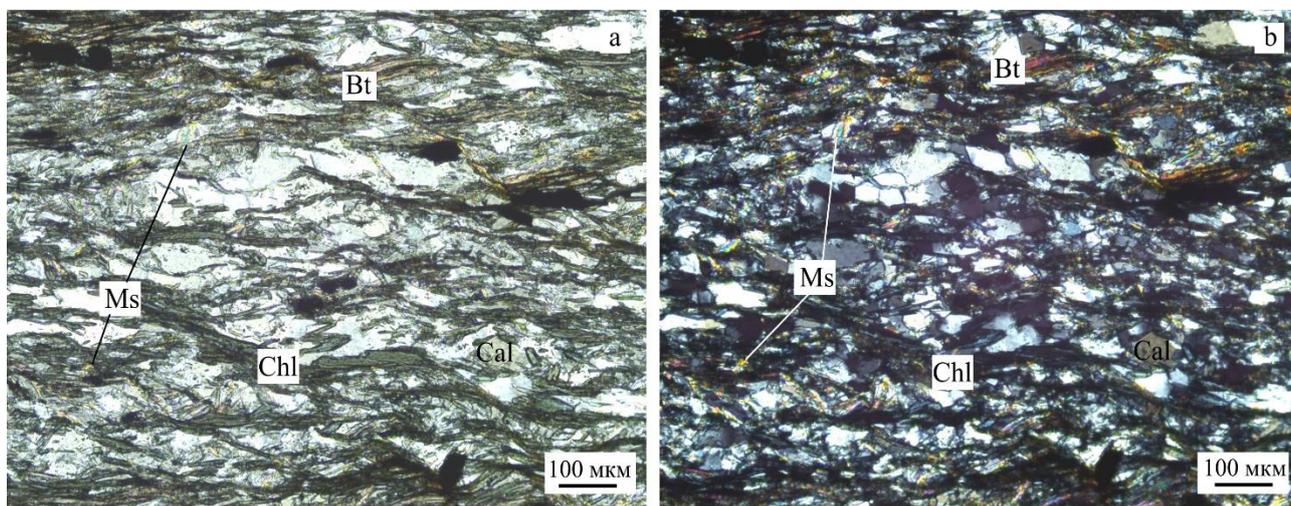


Рис. 4. Микрофотографии шлифа В-203 (а – без анализатора; б – анализатором) мусковит-хлорит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты. Сокращения минералов: *Bt* – биотит, *Cal* – кальцит, *Chl* – хлорит, *Ms* – мусковит.

[Fig. 4. Microphotographs of thin section В-203 ((a) – without an analyzer; (b-c) –with an analyzer) of muscovite-chlorite-albite-quartz schists of the Puiva Formation. Mineral abbreviations: *Bt* – biotite, *Cal* – calcite, *Chl* – chlorite, *Ms* – muscovite.]

Среди аксессуарных минералов установлены апатит, циркон, титанит, ильменит и сульфиды: пирит, халькопирит, пентландит. Циркон представлен светло-розовыми, желтовато-розовыми и реже темно-розовыми слабо- и среднеокатанными призматическими зернами, размером 100–250 мкм, при $K_{уд}=2-5$. Присутствуют также хорошо окатанные шаровидные светло-розовые зерна циркона с однородным внутренним строением.

Проанализировано 70 зерен циркона. Все они оказались древнее 1 млрд лет, либо близки этому значению. Поэтому для оценки возраста их кристаллизации в источнике сноса использовались возрастные значения по отношению $^{207}Pb/^{206}Pb$. Двадцать анализов с высокой дискордантностью ($D>10\%$) были исключены из рассмотрения. Результаты изотопных

анализов оставшихся 50 зерен циркона приведены в табл. 1.

Точки их составов на диаграмме Аренса-Везерилла находятся на конкордии (рис. 5), что свидетельствует об отсутствии или незначительном содержании нерадиогенного свинца, не влияющего на оценку возраста. Циркон с максимальной датировкой имеет позднерифейский возраст -2782 ± 19 млн лет, самый молодой – датируется поздним рифеем – 959 ± 3 млн лет. Основная масса зерен циркона (66 %) имеет ранне-среднерифейский возраст и варьируется в интервале 1617–1061 млн лет. Рассчитанный средневзвешенный возраст трех наиболее молодых зерен циркона составляет 981 ± 33 млн лет. Полученные результаты подтверждает ранее установленный позднерифейский возраст пуйвинской свиты [9].

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

Номер зерна [Grain number]	Th/U	Изотопные отношения [Isotope ratios] ±%(1σ)		Rho	Возраст [Age] ±1σ, млн лет		D,%
		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
1	0.27	0.1577±0.8	0.0730±1.4	0.5	944±7	1013±26	7
2	0.85	0.1584±0.9	0.0715±2.1	0.4	948±8	970±41	2
3	0.28	0.1593±0.9	0.0711±1.5	0.4	953±8	959±31	1
4	0.29	0.2340±0.9	0.0845±1.5	0.4	1356±11	1304±30	-4
5	0.46	0.3273±0.8	0.1076±1.3	0.5	1825±13	1759±23	-4
6	1.33	0.2322±0.9	0.0845±1.5	0.4	1346±10	1304±29	-3
7	0.31	0.2428±0.8	0.0875±1.3	0.5	1401±10	1371±24	-2
8	0.56	0.2638±0.8	0.0925±1.4	0.5	1510±11	1479±26	-2
9	0.43	0.3230±0.8	0.1089±1.2	0.5	1805±13	1781±22	-1
10	0.34	0.2174±0.8	0.0823±1.3	0.5	1286±9	1253±25	-1
11	0.54	0.2106±0.9	0.0809±2.0	0.4	1232±11	1218±39	-1
12	0.47	0.3246±0.8	0.1100±1.3	0.5	1812±13	1799±23	-1
13	0.83	0.3526±0.8	0.1192±1.3	0.5	1947±14	1944±24	0
14	0.60	0.3352±0.8	0.1138±1.3	0.5	1864±13	1861±23	0
15	0.56	0.2979±0.8	0.1031±1.5	0.5	1681±13	1680±26	0
16	0.78	0.3634±0.9	0.1228±1.5	0.4	1998±15	1997±25	0
17	0.48	0.3037±0.8	0.1050±1.2	0.5	1710±12	1715±23	0
18	0.74	0.2617±0.9	0.0941±1.6	0.4	1499±12	1510±31	1
19	1.89	0.3727±0.8	0.1217±1.3	0.5	2042±14	2058±22	1
20	0.80	0.3161±0.8	0.1092±1.3	0.5	1771±13	1786±23	1
21	0.78	0.2820±0.8	0.0996±1.4	0.5	1601±12	1617±26	1
22	0.29	0.5313±0.8	0.1947±1.2	0.6	2747±18	2782±19	1
23	0.88	0.2787±0.8	0.0990±1.2	0.6	1585±11	1606±22	1
24	0.71	0.2734±0.9	0.0976±1.4	0.5	1558±12	1579±27	1
25	0.44	0.2505±0.8	0.0919±1.3	0.5	1441±11	1464±26	2
26	0.37	0.2263±0.8	0.0862±1.3	0.5	1315±10	1342±25	2
27	0.30	0.1749±0.9	0.0747±1.7	0.4	1039±9	1061±35	2
28	0.31	0.1943±0.9	0.0789±1.5	0.4	1145±9	1169±31	2
29	0.39	0.1968±0.8	0.0795±1.3	0.5	1158±9	1184±25	2
30	0.32	0.1871±0.9	0.0774±1.4	0.5	1106±9	1130±28	2
31	0.77	0.2361±0.8	0.0887±1.2	0.5	1367±10	1397±23	2
32	2.22	0.3542±0.8	0.1231±1.4	0.5	1955±14	2002±24	2
33	1.13	0.2548±0.8	0.0936±1.2	0.5	1463±10	1500±22	2
34	0.48	0.2615±0.9	0.0954±1.8	0.4	1497±12	1537±32	3
35	0.94	0.2655±0.8	0.0968±1.3	0.5	1518±11	1564±25	3
36	0.59	0.3001±0.8	0.1070±1.2	0.6	1692±12	1748±21	3
37	0.66	0.2184±1.0	0.0851±1.9	0.4	1274±11	1318±36	3
38	0.55	0.2162±0.8	0.0847±1.3	0.5	1262±9	1308±25	4
39	0.18	0.2495±0.8	0.0932±1.2	0.5	1436±10	1493±22	4
40	0.37	0.2610±0.8	0.0964±1.2	0.5	1495±11	1556±23	4
41	0.26	0.2591±0.9	0.0959±1.6	0.4	1485±12	1546±30	4
42	0.15	0.2565±0.8	0.0955±1.3	0.5	1472±11	1538±23	5
43	0.25	0.3472±0.8	0.1240±1.3	0.5	1921±14	2015±22	5
44	0.29	0.2508±0.8	0.0949±1.2	0.6	1442±10	1527±22	6
45	1.03	0.2224±0.8	0.0875±1.3	0.5	1294±9	1371±23	6
46	0.24	0.1816±0.9	0.0777±1.5	0.4	1076±9	1139±31	6
47	0.61	0.2568±0.9	0.0968±1.3	0.5	1474±11	1564±26	6
48	1.47	0.1790±0.9	0.0773±1.8	0.4	1062±9	1130±36	6
49	0.47	0.1952±0.8	0.0812±1.5	0.5	1150±9	1226±28	7
50	0.47	0.2574±0.9	0.0976±1.5	0.4	1477±11	1579±28	7

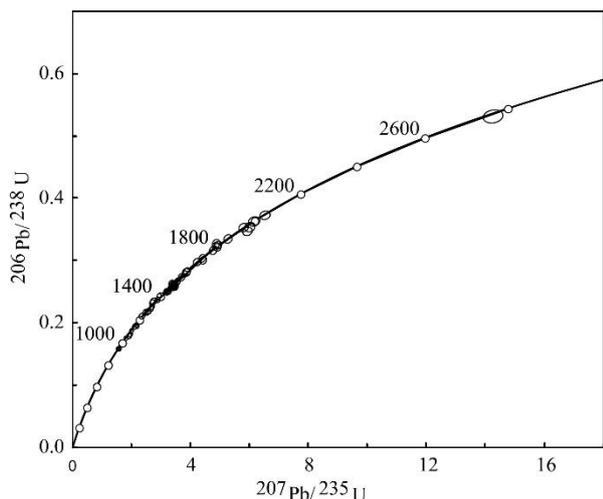


Рис. 5. Диаграмма Аренса-Везерилла с конкордией для U-Pb датировок детритовых цирконов из обр. B-203.
[Fig. 5. Ahrens-Wetherill concordia diagrams for detrital zircons, sample B-203.]

Обсуждение результатов

На рис. 6 приведены гистограммы U-Pb возрастов dZr с графиками плотности вероятности, где кроме пробы B-203 (рис. 6-с), характеризующей верхнюю часть пуйвинской свиты, показаны с целью сравнения аналогичные диаграммы для нижней части этой же свиты (рис. 6-д), а также перекрывающихся отложений хобеинской (рис. 6-б) и мороинской (рис. 6-а) свит.

Из приведенного рисунка видно, что возрастные спектры dZr из пород верхней части пуйвинской свиты в целом совпадают с соответствующими спектрами dZr из пород хобеинской и мороинской свит.

Обращает также на себя внимание, что в нижней части пуйвинской свиты циркон представлен хорошо окатанными зёрнами шаровидной и эллипсоидной формы с равномерно-шероховатой поверхностью [9]. В перекрывающихся толщах, в том числе в верхних горизонтах пуйвинской свиты наряду с хорошо окатанными зёрнами циркона отмечаются средние и слабо окатанные разновидности и доля последних увеличивается вверх по разрезу (рис. 7). Отмечаются также изменения в окраске зёрен циркона. В нижней части пуйвинской свиты циркон окрашен в дымчатые и коричневато-кремовые тона. В верхней части этой свиты, а также залегающих выше отложениях – преимущественно в розовые и темно-розовые тона. При этом доля темно-розовых зёрен циркона увеличивается вверх по разрезу и в мороинской свите превышает 50 % от общего количества зёрен этого минерала в навеске. Эти данные свидетельствуют о разных источниках сноса терригенного материала, их разной удаленности и изменении во времени доли тех или иных источников сноса в пополнение массы терригенного материала, поступающего в верхнерифейский бассейн, существовавший на территории современного Приполярного Урала.

Наличие среди раннепротерозойских датировок зёрен циркона возрастных значений в интервале 2.1–1.9 млрд лет может указывать на то, что в поставке

терригенного материала в бассейн осадконакопления наряду с феноскандинавскими кристаллическими комплексами, связанными со свекофеннской орогенцией и аккреционными событиями, синхронными с формированием Среднерусского орогена – 1.95–1.65 млн лет назад [22] участвовали продукты разрушения орогенов, спаявших отдельные части Волго-Уралии в интервале 2.1–1.9 млрд лет назад. В северной части Волго-Уралии, реликтами таких орогенов могут быть раннепротерозойские полиметаморфические и гранитоидные комплексы Кожимского (Приполярный Урал) и Собского (Полярный Урал) поперечных поднятий [11].

Цирконы с датировками, отвечающими раннему и первой половине среднего рифея, являются преобладающими в терригенных толщах всех стратонев верхнего докембрия Приполярного Урала (рис. 6). Вероятно, основными источниками сноса обломочного материала явились магматические и метаморфические породы соответствующего возраста, распространенные в Фенноскандии. В тиманско-североуральской окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП) магматические породы ранне-среднерифейского возраста практически не известны. На южноуральской окраине ВЕП с процессами континентального рифтогенеза связаны щелочно-базальтовый вулканизм в навышской подсвите айской свиты (U-Pb возраст циркона из базальтов 1752 ± 11 млн лет [23]), риолит-базальтовый вулканизм в машакской свите (U-Pb возраст цирконов из риолитов 1386 ± 6 – 1383 ± 3 млн лет [24]) и другие проявления анарогенного магматизма. По мнению В. Н. Пучкова [24, 25] как навышский, так и машакский магматизм плломовой 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 коррелируются с навышским и машакским эндогенными событиями, установлены в ряде полиметаморфических комплексов западного склона Урала [26]. Эти комплексы также могли быть источниками сноса цирконов соответствующего возрастного уровня в позднедокембрийский бассейн осадконакопления.

В конце среднего и в начале позднего рифея уральская и тиманская окраины ВЕП были амагматичны [8], обломочный материал с цирконами «гренвильского» возраста (900–1100 млн лет), вероятно, в основном поступал с Фенноскандинавской части ВЕП. В изученном нами разрезе количество таких цирконов наиболее высокое в породах нижней части пуйвинской свиты: 46 изотопных датировок или 49.5%, минимальное – в породах мороинской свиты: две изотопные датировки или 2.5 % (рис. 6). Это, вероятно, обусловлено тем, что при формировании верхнедокембрийского разреза рассматриваемого района роль близ расположенных полиметаморфических комплексов, как источников сноса терригенного материала, начиная с позднепуйвинского времени, постепенно возрастала, а роль «скандинавских» кристаллических комплексов, напротив, уменьшалась, что, в свою очередь, могло быть связано с регрессией бассейна осадконакопления.

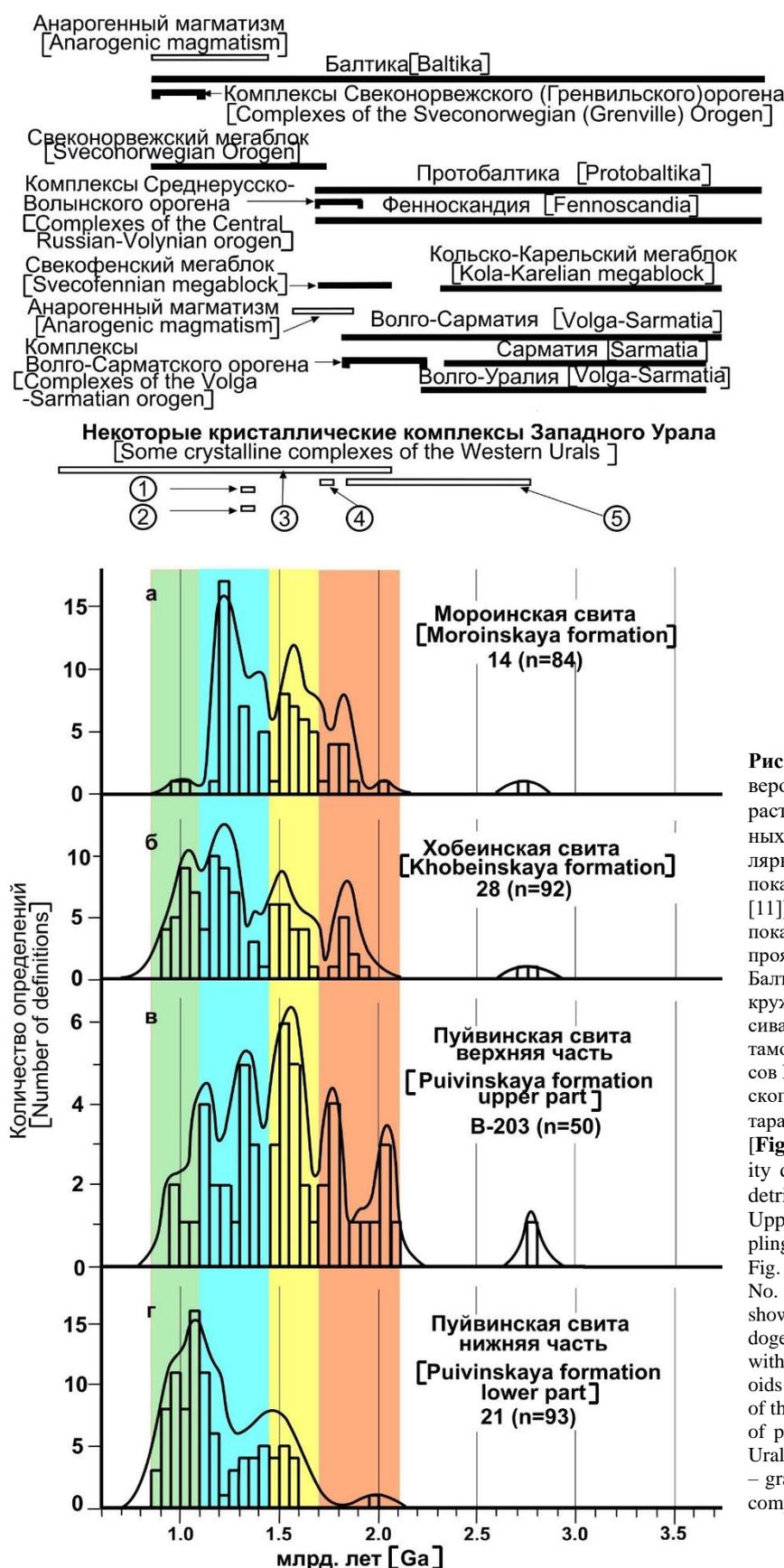


Рис. 6. Гистограммы и графики плотности вероятности распределения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала. Места отбора и номера проб показаны на рис. 2. Пробы №№ 21, 28, 14 (по [11]), № B-203 – наши данные. Над графиками показаны временные диапазоны основных фаз проявления эндогенной активности в пределах Балтики (по [21] с дополнениями). Номера в кружочках: 1 – гранитоиды Бердяушского массива, 2 – вулканиты машакской свиты, 3 – метаморфиты полиметаморфических комплексов Приполярного Урала, 4 – базальты навышского комплекса, 5 – граниты и метаморфиты тараташского комплекса.

[Fig. 6. Histograms and graphs of the probability density distribution of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of detrital zircons from terrigenous deposits of the Upper Precambrian of the Subpolar Urals. Sampling locations and sample numbers are shown in Fig. 2. Samples No. No. 21, 28, 14 (after [11]), No. B-203 are our data. Above the graphs are shown the time ranges of the main phases of endogenous activity within the Baltic (after [21] with additions). Numbers in circles: (1) – granitoids of the Berdyaushsky massif, (2) – volcanics of the Mashakaya formation, (3) – metamorphites of polymetamorphic complexes of the Subpolar Urals, (4) – basalts of the Navyshsky complex, (5) – granites and metamorphites of the Taratashsky complex.]

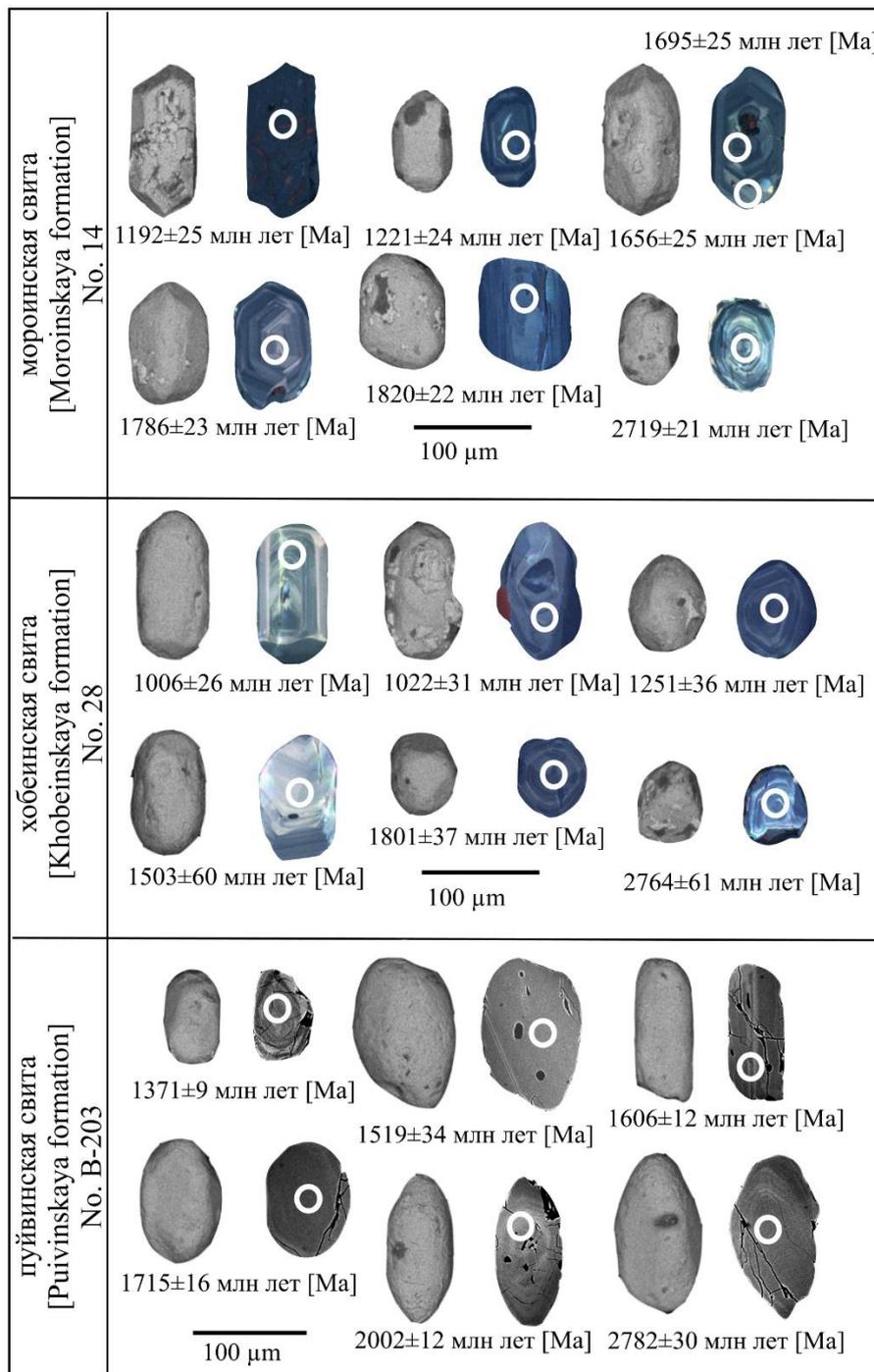


Рис. 7. Морфология и строение зерен циркона в режиме катодолуминесценции с расположением лазерного кратера.
[Fig. 7. Morphology and structure of zircon grains in the cathodoluminescence mode with the position of the laser crater.]

Сравнение графиков плотности вероятности распределения U-Pb датировок dZr из изученных нами верхнедокембрийских толщ и сопоставимых с ними по возрасту отложений сопредельных территорий [11] показывает наибольшую их схожесть со средне и северотиманскими, в которых по данным U-Pb датирования dZr нижняя возрастная граница, как и на Приполярном Урале, близка к рубежу среднего и

позднего рифея [27–30]. Это может указывать на то, что в позднем докембрии северо-восточная периферия ВЕП (в современных координатах), включая Приполярный Урал, Северный и Средний Тиман, принадлежали к одной и той же континентальной окраине, а начало формирования пуйвинской свиты (около 900 млн лет назад) определяет время ее заложения.

Заключение

Результаты U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датирования dZr из мусковит-хлоритовых сланцев верхней части разреза пуйвинской свиты подтверждают ранее полученные данные о позднерифейском возрасте этого стратиграфического подразделения [9].

Установленные различия в возрастных спектрах dZr из пород нижней и верхней частей пуйвинской свиты (отсутствие dZr с раннепротерозойскими изотопными датировками в первых и заметная роль таких датировок во вторых) можно объяснить тем, что на начальных стадиях формирования верхнедокембрийского разреза рассматриваемого района, роль кристаллических пород фундамента, как источников сноса терригенного материала, была не велика или вовсе отсутствовала; в это время в пределах доступности транспортировки обломочного материала они, вероятно, еще не были эродированы и не дренировались. Терригенный материал поступал из удаленных «феноскандинавских» источников.

Начиная с позднепуйвинского времени наряду с феноскандинавскими кристаллическими комплексами, связанными со свекофеннской орогенцией и аккреционными событиями, синхронными с формированием Среднерусского орогена, участвовали продукты разрушения орогенов, спаявших отдельные части Волго-Урала в интервале 2.1–1.9 млрд лет назад. В северной части Волго-Урала реликтами таких орогенов могут быть раннепротерозойские полиметаморфические и гранитоидные комплексы Кожимского (Приполярный Урал) и Собского (Полярный Урал) поперечных поднятий. Их роль при формировании верхнедокембрийского разреза рассматриваемого района, как источников сноса терригенного материала, начиная с позднепуйвинского времени, постепенно возрастала, а роль «скандинавских» кристаллических комплексов, напротив, уменьшалась.

В позднем докембрии северо-восточная периферия ВЕП, включая Приполярный Урал, Северный и Средний Тиман, принадлежали к одной и той же континентальной окраине; начало формирования пуйвинской свиты (около 900 млн лет назад) определяет время ее заложения.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1993.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000. Лист Q-40, 41 – Воркута. Объяснительная записка. Ред. О. А. Кондияйн. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. 342 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000. Серия Уральская. Лист Q-41. Объяснительная записка. Ред. В. П. Водлазская. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Северо-Уральская. Лист

Q-41-XXV. Объяснительная записка. Ред. М. А. Шишкин. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 252 с.

5. Пыстина Ю. И., Пыстин А. М., Хубанов В. Б. Нижний докембрий в структуре палеозойда на Приполярном Урале // *Докл. РАН*. 2019. Т. 486. № 5. С. 72–576. DOI: 10.31857/S0869-56524865572-576
6. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Докембрий Приполярного Урала: хроностратиграфический аспект // *Труды КарНЦ РАН, Геология докембрия*. 2019. № 2. С. 34–52. DOI: 10.17076/geo904
7. Фишман М. В., Голдин Б. А. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. Л.: Наука, 1963. 105 с.
8. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
9. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Хубанов В. Б. Первые результаты U-Pb-датирования детритовых цирконов из базальных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала // *Докл. РАН*. 2019. Т. 488. № 2. С. 172–175. DOI: 10.31857/S0869-56524882172-17512.
10. Pystin A. M., Pystina Yu. I., Ulyasheva N. S., Grakova O. V. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic age // *International Geology Review*. 2020. Vol. 62. No. 17. P. 2189–2202. DOI: 10.1080/00206814.2019.1689533.
11. Пыстин А. М., Гракова О. В., Пыстина Ю. И., Кушманова Е. В., Поповасев К. С., Потапов И. Л., Хубанов В. Б. U-Pb (LA-SF-ICP-MS) возраст и вероятные источники сноса детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала // *Литосфера*. 2022. № 22(6). С. 242–249. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-760
12. Соболева А. А., Андреичев В. Л., Михайленко Ю. В., Хубанов В. Б. U-Pb (LA-ICP-MS) изотопные возрасты и вероятные источники детритового циркона в кварцито-песчаниках хобейнской свиты (Приполярный Урал) // *Вестник геонаук*. 2022. № 1. С. 4–20. DOI: 10.19110/geov.2022.1.1
13. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе // *Литосфера*. 2014. № 3. С. 41–50.
14. Пыстин А.М. Геологическое наследие Б. А. Голдина. // *Вестник геонаук*. 2021. № 12. С. 51–60. DOI:10.19110/geov.2021.12.6
15. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Потапов И. Л., Панфилов А. В., Вшивцев А. Н. Нижний докембрий Приполярного Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2010. 37 с.
16. Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д., Цыганков А. А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258. DOI: 10.15372/GiG20160113
17. Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F. et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // *Geostandards Newsletter*. 1995. Vol. 19. P. 1–23. DOI: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x
18. Van Achterbergh E., Ryan C. G., Jackson S. E., Griffin W. L. LA-ICP-MS in the Earth Science - Appendix 3, data reduction software for LA-ICP-MS / Ed. P.J. Sylvester. Shot Course: St. John's Mineral. Assoc. Canada. 2001. Vol. 29. P. 239–243.
19. Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: ICP-MS / Ed data reduction software for laser. P.J. Sylvester. Laser ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues // *Mineral. Assoc. Canada. Shot Course*. 2008. Vol. 40. P. 308–311.

20. Ludwig, K. R. User's manual for Isoplot 3.75. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // *Berkeley Geochronology Center. Spec. Publ.* 2012. No. 5. 75 p.
21. Кузнецов Н. Б., Романюк Т. В., Шацилло А. В. и др. Первые U-Pb данные о возрастах детритных цирконов из песчаников верхнеэмской такатинской свиты Западного Урала (в связи с проблемой коренных источников уральских алмазоносных россыпей) // *Докл. РАН.* 2014. Т. 455. № 4. С. 427–432. DOI: 10.7868/S0869565214100181
22. Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // *Precambrian Res.* 2008. Vol. 160. P. 23–45.
23. Краснобаев А. А., Пучков В. Н., Сергеева Н. Д. Полихронная цирконология навьшских вулканитов айской свиты (Южный Урал) // *Докл. РАН.* 2018. Т. 478. № 1. С. 74–80. DOI: 10.7868/S0869565218010152
24. Puchkov V. N., Bogdanova S. V., Ernst R. et al. The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // *Lithos.* 2013. Vol. 174. P. 109–124.
25. Пучков В. Н. Плюмы – новое слово в геологии Урала // *Литосфера.* 2018. № 4. С. 483–499. DOI:10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499.
26. Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. 167 с.
27. Андреичев В. Л., Соболева А. А., Герелс Дж. U-Pb возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // *Стратиграфия. Геологическая корреляция.* 2014. Т. 22. № 2. С. 32–45. DOI: 10.7868/S0869522X14020021
28. Удоратина О. В., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четлаской серии среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов // *Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. Геол.* 2017. Т. 92. Вып. 5. С. 15–32.
29. Соболева А. А., Андреичев В. Л., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б., Соболев И. Д. Детритовые цирконы из верхнедокембрийских пород вымской серии Среднего Тимана (U-Pb возраст и источники сноса) // *Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. Геол.* 2019. Т.94. Вып. 1. С. 3–16.
30. Брусницына Е. А., Ершова В. Б., Худолей А. К., Андерсон Т., Маслов А. В. Возраст и источники сноса пород четлаской серии (рифей) Среднего Тимана по результатам U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов // *Стратиграфия. Геологическая корреляция.* 2021. Т. 29. № 6. С. 3–23. DOI: 10.31857/S0869592X21060028

Age restrictions and possible Provenance basal deposits of the Riphean Subpolar Urals

©2023 A. M. Pystin^{1✉}, O. V. Grakova¹, Yu. I. Pystina¹,
E. V. Kushmanova¹, K. S. Popvasev¹, V. B. Khubanov²

¹*Institute of Geology named after Academician N. P. Yushkin of Komi Science centre
of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 54 ul. Pervomayskaya,
Syktyvkar, 167892, Russian Federation*

²*Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
6a ul. Sakhyanovskaya, Ulan-Ude, 670047, Russian Federation*

Annotation

Introduction: The isotope-geochronological data obtained in recent years for the Precambrian formations of the Lyapinsky meganticlinorium of the Subpolar Urals, where the most complete section of the Precambrian of the Timan-Northern Ural region is revealed, indicate the need for a significant adjustment of the existing schemes of the Precambrian stratigraphy of this region. The question of the lower age boundary of the basal deposits of the Upper Precambrian part of the section remains the most problematic. The article presents new results of U-Pb (LA-SF-ICP-MS) dating of detrital zircons from the rocks of the Puiva Formation in order to further substantiate the age of the basal deposits of the Riphean of the Subpolar Urals and clarify possible provenance of terrigenous material during their formation.

Methodology: The research methods consisted in establishing the morphological features and internal structure of detrital zircons using a BioOptik SR-400 polarizing microscope and TESCAN VEGA3 LMH scanning electron microscopes with an X-MAX50 mm Oxford instruments energy-dispersive attachment and JSM-6400 with a Link energy spectrometer. Isotopic dating of zircons was performed by the U-Pb (LA-SF-ICP-MS) method based on an Element XR single-collector magnetic sector mass spectrometer with inductively coupled plasma and an UP-213 laser ablation device.

Results and Discussion: As a result of the studies, the Late Riphean age of the basal deposits of the Upper Precambrian of the area under consideration (Puiva Formation) was confirmed and it was shown that at the initial stages of formation of the Upper Precambrian section, the role of crystalline basement rocks as provenance of terrigenous material was not great or was completely absent. The provenance of clastics to the subpolar Urals sedimentation basin occurred mainly from the Fennoscandian part of the Baltic. Starting from the late Puivin time, the role of local provenance gradually increased, while the role of Scandinavian crystalline complexes, on the contrary, decreased, which, in turn, could be associated with the regression of the sedimentation basin.

Conclusions: In the Late Precambrian, the northeastern periphery of the East European Platform, including the Subpolar Urals, Northern and Middle Timan, belonged to the same continental margin. The time of its inception (about 900 Ma ago) is determined by the age of the Puiva Formation – the basal straton of the typical Upper Precambrian section of the Timan-Northern Uralt region.

Keywords: Lyapinsky meganticlinorium, Upper Precambrian, detrital zircons, U-Pb isotopic age.

Funding: The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation. Project No. 22-27-0019.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Alexander M. Pystin, e-mail: pystin.48@mail.ru

For citation: Pystin A. M., Grakova O. V., Pystina Yu. I., Kushmanova E. V., Popvasev K. S., Khubanov V. B. Age restrictions and possible sources of demolition of the basal deposits of the Riphean Subpolar Urals *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 4, pp. 4–17. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/4-17>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. *Stratigraficheskiye skhemy Urala (dokembriy, paleozoy)* [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg, Uralgeolcom publ., 1993 (In Russ.)
2. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii*. Masshtab 1:1000000. List Q-40, 41 – Vorkuta. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000 000. Sheet Q-40, 41 – Vorkuta. Explanatory note. Ed. O. A. Condiain. Saint Petersburg, Cartographic factory VSEGEI publ., 2001, 342 p. (In Russ.)
3. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii*. Masshtab 1:1000000. List 41 – Vorkuta. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000 000. Sheet Q-41 – Vorkuta. Explanatory note]. Ed. V. A. Vodolazskaya. Saint Petersburg, Cartographic factory VSEGEI publ., 2007, 541 p. (In Russ.)
4. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii*. Masshtab 1 : 200 000. Seriya Severo-Ural'skaya. List Q-41-XXV. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. Severo-Ural'skaya series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory note]. Ed. M. A. Shishkin. Moscow, MF VSEGEI publ., 2013, 252 p. (In Russ.)
5. Pystina Yu. I., Pystin A. M., Khubanov V. B. Nizhnii dokembriy v strukture paleozoid na Pripolyarnom Urale [Lower Precambrian in the Paleozoic structure in the Subpolar Urals]. *Dokl. RAN – Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 486, no. 2, pp. 609–612. DOI: 10.1134/S1028334X19060199
6. Pystin A. M., Pystina Yu. I. Dokembriy Pripolyarnogo Urala: khronostratigraficheskiy aspekt [The Precambrian in the Sub-Polar Urals: The chronostratigraphic aspect]. *Trudy KarNC RAN, Geologiya dokembriya – Proceedings of the Karelian Research Centre RAS. Precambrian geology*, 2019, no. 2, pp. 34–52. DOI: 10.17076/geo904 (In Russ.)
7. Fishman M. V., Goldin B. A. Granitoidy tsentral'noy chasti Pripolyarnogo Urala [Granitoids of the central part of the Subpolar Urals]. Leningrad, Nauka publ., 1963, 105 p. (In Russ.)
8. Puchkov V. N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nyye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DesignPol-ygraphService publ., 2010, 280 p. (In Russ.)
9. Pystin A. M., Pystina Yu. I., Khubanov V. B. Pervyye rezul'taty U–Pb-datirovaniya detritovykh tsirkonov iz bazal'nykh otlozheniy verkhnego dokembriya Pripolyarnogo Urala [First results of U-Pb dating of detrital zircons from Upper Precambrian basal deposits of the Subpolar Urals]. *Dokl. RAN – Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 488, no. 1, pp. 1031–1034 DOI: 10.1134/S1028334X19090198
10. Pystin A. M., Pystina Yu. I., Ulyasheva N. S., Grakova O. V. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic age. *International Geology Review*, 2020, vol. 62, no. 17, pp. 2189–2202 DOI: 10.1080/00206814.2019.1689533.
11. Pystin A. M., Grakova O. V., Pystina Yu. I., Kushmanova E. V., Popvasev K. S., Potapov I. L. U-Pb (LA-SF-ICP-MS) vozrast i veroyatnyye istochniki snosa detritovykh tsirkonov iz terrigen-nykh otlozheniy verkhnego dokembriya Pripolyarnogo Urala [U-Pb (LA-SF-ICP-MS) dating and probable provenance of detrital zircons from terrigenous deposits of the Upper Precambrian of the Subpolar Urals]. *Litosfera – Lithosphere*, 2022, no. 22(6), pp. 242–249. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-760 (In Russ.)
12. Soboleva A. A., Andreichev V. L., Mikhailenko Yu. V., Khubanov V. B. U-Pb (LA-ICP-MS) izotopnyye vozrasty i veroyatnyye istochniki detritovogo tsirkona v kvartsitno-peschani-kakh khobeinskoy svity (Pripolyarnyy Ural) [U-Pb (LA-ICP-MS) isotopic ages and probable sources of detrital zircon in quartzite sandstones of the Khobeinskaya suite (Polar Urals)]. *Vestnik geonauk – Vestnik Geonauk*, 2022, no.1, pp. 4–20 DOI: 10.19110/geov.2022.1.1 (In Russ.)
13. Pystin A. M., Pystina Yu. I. Bazal'nyye otlozheniya verkh- nego dokembriya v Timano-Severoural'skom regione [Upper Pre- cambrian basal deposits in the Timan-North Urals region]. *Li- tosfera – Lithosphere*, 2014, no. 3, pp. 41–50 (In Russ.)
14. Pystin A. M. Geologicheskoye naslediyе B. A. Goldina [Ge- ological legacy of B. A.]. Goldin. *Vestnik geonauk – Vestnik Geonauk*, 2021, no. 12, pp. 51–60 DOI: 10.19110/geov.2021.12.6 (In Russ.)
15. *Nizhnii dokembriy Pripolyarnogo Urala* [Lower Precam- brian of the Subpolar Urals]. A. M. Pystin, Yu. I. Pystina, I. L. Potapov, A. V. Panfilov, A. N. Vshivtsev. Syktyvkar, Geoprint publ., 2010, 37 p. (In Russ.)
16. Khubanov V. B., Buyantuev M. D., Tsygankov A. A. U-Pb izotopnoye datirovaniye tsirkonov iz PZ₃-MZ magmaticheskikh kompleksov Zabaykal'ya metodom magnitno-sektornoy mass- spektrometrii s lazernym probotohorom: protsedura opredeleniya i sopostavleniye s SHRIMP dannymi [U-Pb isotope dating of zir- cons from PZ₃-MZ igneous complexes of Transbaikalia by mag- netic sector mass spectrometry with laser sampling: determina- tion procedure and comparison with SHRIMP data]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 1, pp.190–205. DOI: DOI: 10.1016/j.rgg.2016.01.013
17. Wiedenbeck M., Alle, P., Corfu F. et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyzes. *Geostandards Newsletter*, 1995, vol. 19, pp. 1–23. DOI: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x
18. Van Achterbergh E., Ryan C. G., Jackson S. E., Griffin W. L. LA-ICP-MS in the Earth Science - Appendix 3, data reduction software for LA-ICP-MS. Ed. P.J. Sylvester. *Shot Course: St. John's Mineral. Assoc. Canada*, 2001, vol. 29, pp. 239–243.
19. Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: ICP-MS / Ed data reduction software for laser. P.J. Sylvester. *Laser ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues. Mineral. Assoc. Canada. Shot Course*, 2008, vol. 40, pp. 308–311.
20. Ludwig, K. R. User's manual for Isoplot 3.75. A geochrono- logical toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Cen- ter, Spec. Publ.*, 2012, no. 5, 75 p.
21. Kuznetsov N. B., Romanyuk T. V., Shatsillo A. V. et al. Pervyye U-Pb dannyye o vozrastakh detritnykh tsirkonov iz

peschanikov verkhneemskoy takatinskoj svity Zapadnogo Urala (v svyazi s problemoy korennykh istochnikov ural'skikh almazonosnykh rossypey) [First U-Pb data on the ages of detrital zircons from sandstones of the Upper Emskaya Takatinsky formation of the Western Urals (in connection with the problem of the primary sources of the Ural diamond-bearing placers)]. *Dokl. RAN – Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 455, no. 2, pp.370–375. DOI: 10.1134/S1028334X14040084

22. Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Res.*, 2008, vol. 160, pp. 23–45.

23. Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. Polikhronnaya tsirkonologiya navyshskikh vulkanitov ayskoy svity (Yuzhnyy Ural) [Polychronic zirconology of the Navysh volcanics of the Ai Formation (Southern Urals)]. *Dokl. RAN – Doklady Earth Sciences*, 2018, vol. 478, no. 1, pp. 56–61. DOI: 10.1134/S1028334X18010038

24. Puchkov V. N., Bogdanova S. V., Ernst R. et al. The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals. *Lithos*, 2013, vol. 174, pp. 109–124.

25. Puchkov V.N. Plyumy – novoye slovo v geologii Urala [Plumes – a new word in the geology of the Urals]. *Litosfera – Lithosphere*, 2018, no. 18(4), pp. 483–499. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499 (In Russ.)

26. Pystina Yu. I., Pystin A. M. Tsirkonovaya letopis' ural'skogo dokembriya [Zircon Chronicle of the Ural Precambrian]. Ekaterinburg UB RAS publ., 2002, 167 p. (In Russ.)

27. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Gerels J. U–Pb vozrast i istochniki snosa oblomochnykh tsirkonov iz verkhnedokemb-

riyskikh otlozheniy Severnogo Timana [U-Pb age and provenance of detrital zircons from the Upper Precambrian deposits of the Northern Timan]. *Stratigrafija. Geologicheskaja korrelyatsiya – Stratigraphy. Geological Correlation*, 2014, vol. 22, no. 2, pp. 32–45. DOI: 10.1134/S0869593814020026

28. Udoratina O. V., Burtsev I. N., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. Vozrast metapeschanikov verkhnedokembriyskoy chetlaskoy serii srednego Timana na osnovanii U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov [Age of metasandstones of the Upper Precambrian Chetlas Group of the middle Timan based on U-Pb dating of detrital zircons]. *Bjul. Mosk. ob-va ispytatelej prirody. Otd. Geol. – Bull. MOIP. Otd. Geol.*, 2017, vol. 92, no. 5, pp.15–32. (In Russ.)

29. Soboleva A. A., Andreichev V. L., Burtsev I. N., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B., Sobolev I. D. Detritovyie tsirkony iz verkhnedokembriyskikh porod vymskoy serii Srednego Timana (U-Pb vozrast i istochniki snosa) [Detrital zircons from Upper Precambrian rocks of the Vym series of Middle Timan (U-Pb age and sources of demolition)]. *Bjul. Mosk. ob-va ispytatelej prirody. Otd. Geol. – Bull. MOIP. Otd. Geol.*, 2019, vol. 94, no. 1, pp. 3–16. (In Russ.)

30. Brusnitsyna E. A., Ershova V. B., Khudoley A. K., Anderson T., Maslov A. V. Vozrast i istochniki snosa porod chetlaskoy serii (rifey) Srednego Timana po rezul'tatam U–Th–Pb (LA-ICP-MS) datirovaniya oblomochnykh tsirkonov [Age and Provenance of the riphean rocks of the Chetlas group of the Middle Timan of U–Th–Pb (LA- ICP-MS) dating of detrital zircons]. *Stratigrafija. Geologicheskaja korrelyatsiya – Stratigraphy. Geological Correlation*, 2021, vol. 29, no. 6, pp.607–626. DOI: 10.1134/S0869593821060022

Пыстин Александр Михайлович, д.г.-м.н., профессор, заведующий лабораторией, Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская федерация; e-mail: pystin.48@mail.ru; ORCID 0000-0002-5875-4353

Гракова Оксана Васильевна, к.г.-м.н. Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская федерация; e-mail: ygrakov@yandex.ru; ORCID 0000-0001-5917-9218

Пыстина Юлия Ивановна, д.г.-м.н., Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская федерация; e-mail: yuliya_pystina@mail.ru; ORCID 0000-0001-6580-442X

Кушманова Евгения Валерьевна, мл.н.с., Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская федерация; e-mail: .v.kushmanova@mail.ru; ORCID 0000-0003-0300-9732

Попвасев Константин Степанович, мл.н.с., Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская федерация; e-mail: kpopvasev@gmail.com; ORCID 0000-0002-2005-5901

Хубанов Валентин Борисович, к.г.-м.н., зав. лаб., Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Российская федерация; e-mail: khubanov@mail.ru; ORCID 0000-0001-5237-6614

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Alexander M. Pystin, Dr. habil. in Geol.-Min., Professor, head of the laboratory, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: pystin.48@mail.ru; ORCID 0000-0002-5875-4353

Oksana V. Grakova, Ph.D. in Geol.-Min., Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: ygrakov@yandex.ru; ORCID 0000-0001-5917-9218

Yulia I. Pystina, Dr. habil. in Geol.-Min., Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: yuliya_pystina@mail.ru; ORCID 0000-0001-6580-442X

Evgenia V. Kushmanova, Junior Researcher, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: e.v.kushmanova@mail.ru; ORCID 0000-0003-0300-9732

Konstantin S. Popvasev, Junior Researcher, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russian Federation; E-mail: kpopvasev@gmail.com; ORCID 0000-0002-2005-5901

Valentin B. Khubanov, Ph.D. in Geol.-Min., head of laboratory, Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation; e-mail: khubanov@mail.ru; ORCID 0000-0001-5237-6614

Authors have read and approved the final manuscript.