

УДК 550.93:549.514.81(234.851)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-61-76

**Н.Ю. НИКУЛОВА*, И.Н. БУРЦЕВ*,
В.Н. ФИЛИППОВ*, В.Б. ХУБАНОВ****

**ВОЗРАСТ ПЕСЧАНИКОВ
ПРОСКУРИНСКОЙ ТОЛЩИ
(СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ
ДЕТРИТНЫХ ЦИРКОНОВ**

**Институт геологии
и.м. академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

***Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ*

nikulova@geo.komisc.ru

**N.YU.NIKULOVA*, I.N.BURTSEV*,
V.N.FILIPPOV*, V.B.KHUBANOV****

**AGE OF SANDSTONES
OF THE PROSKURINSKY STRATA
(NORTHERN URALS)
ACCORDING TO U-Pb DATING
OF DETRITAL ZIRCONS**

** N.P.Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktivkar*

*** Geological Institute,
Siberian Branch, RAS,
Ulan-Ude*

Аннотация

Приводятся первые результаты U-Pb датирования детритового циркона из вулканомиктовых песчаников обломочной толщи, распространённой в контурах предполагаемой базальтоидной трубки взрыва в верховье р. Печоры. Установлено, что в составе песчаников, образованных в обстановке эпиконтинентального рифтогенеза, преобладают слабо изменённые в условиях холодного климата продукты разрушения вулканических пород преимущественно основного состава, связанные с проявлениями магматической активности близко или одновременно с осадконакоплением. На основании геохимических особенностей и возрастных характеристик, содержащихся в песчаниках зерен циркона, сделан вывод о принадлежности песчано-алевритовой проскуринской толщи к телпосской свите нижнего ордовика. Высказаны предположения о сходстве источников обломочного материала и условий осадконакопления различных пространственно удалённых разрезов основания палеозойского разреза севера Урала.

Ключевые слова:

песчаники, алевриты, туфогенно-осадочная толща, детритовые цирконы, условия образования, изотопный возраст

Abstract

The first results of U-Pb dating of detrital zircons from volcanoclastic sandstones of clastic strata distributed in the contours of the proposed basaltoid volcanic pipe in the upper reaches of the Pechora river are presented. It is established that the composition of the sandstones formed during epicontinental riftogenesis, is dominated by slightly altered, under cold climate conditions, products of destruction of volcanic rocks, mainly of the basic composition, associated with magmatic activity close to or simultaneous with sedimentation. On the basis of the geochemical features and age characteristics of the zircon grains contained in the sandstones, we concluded that the sand-aleurite Proskurinsky strata belongs to the Lower Ordovician Telpos suite. We suggested that the sources of clastic material and sedimentation conditions in various spatially remote sections of the basement of the Paleozoic section of the Northern Urals were similar.

Keywords:

sandstones, aleurolites, tufogenic-sedimentary strata, detrital zircons, formation conditions, isotopic age

Введение

В устье р. Маньской Волосницы (N 62°00'11.05", E 59°15'21.87"), левого притока р. Печоры (рис. 1), в ходе работ, направленных на

решение проблемы поисков коренных источников уральских алмазов, В. С. Озеровым сделано предположение о нахождении в этой местности базальтоидной трубки взрыва. Интерес к изучению данного объекта обусловлен ассоциацией базальтоидных трубок взрыва с кимберлитовыми трубками и локализацией их на периферии алмазоносной провинции. Геологической основой исследований В. С. Озерова послужили материалы съемки масштаба 1:50 000, проведенной Ключиковской ГСП под руководством Г. Ф. Проскурина¹ в 1969–1971 гг. Породы песчано-алевритовой толщи, выделенной в ходе поисково-съемочных работ в контуре магнитной аномалии в устье р. Маньской Волосницы и отнесенной к основанию тельпосской свиты, были определены В. С. Озеровым как базальтоидные пепловые туфы, выполняющие кратер кембрийской трубки взрыва, а сама песчано-алевритовая толща названа проскуринской² [1–4].



Рис. 1 Схема расположения участка «Проскуринский» (1).

Fig. 1. Layout of the site "Proskurinsky" (1).

В настоящее время представления о возрасте, слагающих толщу отложений основываются только на ее несогласном залегании на рифейских породах. Необычность объекта, его предполагаемая связь с алмазоносными кимберлитами и значение для реконструкции геологической истории региона, обусловили необходимость проведения U-Pb исследования зерен детритового циркона из туфопесчаников проскуринской толщи для корректировки ее возраста.

¹ Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. верхняя Печора (Северный Урал, листы Р-40-82-Б, Р-40-82-А, Б). Проскурин Г. Ф. и др. Отчет по поисково-съемочным работам, проведенным Ключиковской ГСП, ВКГРЭ-МГРИ в 1968–1971 гг.

² Название дано В. С. Озеровым в честь Г. Ф. Проскурина, руководившего геолого-съемочными работами в районе верхней Печоры.

Геологическое строение района верховья р. Печоры

Район исследования расположен в пределах Центрально-Уральского поднятия, представляющего собой выступы структурно-вещественных комплексов протоуралид-тиманид среди палеозойских образований (рис. 2).

Верхнепротерозойские толщи представлены метатерригенными породами хобеинской (RF_3hb) и мороинской (RF_3mr) свит и терригенно-базальтриолитовым парагенезом саблегорской (RF_3Vsb) свиты. С метавулканитами саблегорской свиты пространственно ассоциируют саблегорские субвулканические образования, являющиеся их магматами. Первая фаза внедрения связана с метаморфизованными долеритами (βRF_3sb_1), вторая – с гранит-порфирами ($\gamma RF_3-V_1sb_2$). Парнукский габбро-диоритовый комплекс представлен интрузивными телами габбро (vRF_3-V_1p), а саклаимсорский гранитовый комплекс ($\gamma O_{2-3}sk$) – гранитами с натриевым типом щелочности. Палеозойские образования, принадлежащие Присалатимскому аллохтону, значительно моложе изучаемого объекта.

Отдельно следует остановиться на приведенном в Легенде к геологической карте описании образований лаптопайской свиты (V_2-E_1lp). Область ее распространения совпадает с контурами выделенной В. С. Озеровым проскуринской толщи, и из которой, если опираться на карту, отобрана изученная проба для выделения зерен циркона (рис. 2). Место распространения образований, отнесенных к лаптопайской свите, «значительно оторвано в пространстве от известных севернее ареалов распространения; состав отличается некоторым своеобразием, интерпретируется неоднозначно и, как следствие, стратиграфическое положение и генетическая природа этих образований трактуется различно» [5, с. 28]. Толща была отнесена к лаптопайской свите, преимущественно на основе анализа материалов предшественников. Закартированные как лаптопайские образования, локально распространенные в районе устья р. Тумпы и на ее водоразделе с р. Маньской Волосницей, представлены туффитами, полимиктовыми песчаниками, алевролитами, полимиктовыми конгломератами, гравелитами и туфами.

Геологическое строение участка «Проскуринский»

На основе геологической съемки масштаба 1 : 50 000 (Проскурин и др., 1972 г.) и собственных наблюдений В. С. Озеровым была составлена геологическая карта участка Проскуринский (рис. 3), отражающая альтернативную точку зрения на геологическое строение и стратиграфическую принадлежность толщи, отнесенной съемщиками сначала к тельпосской, а затем к лаптопайской свите [1, 2].

Наиболее древними образованиями в пределах участка «Проскуринский»³ (рис. 3), в соответствии с представлениями В. С. Озерова, являются

³ Название дано В. С. Озеровым в честь Г. Ф. Проскурина.

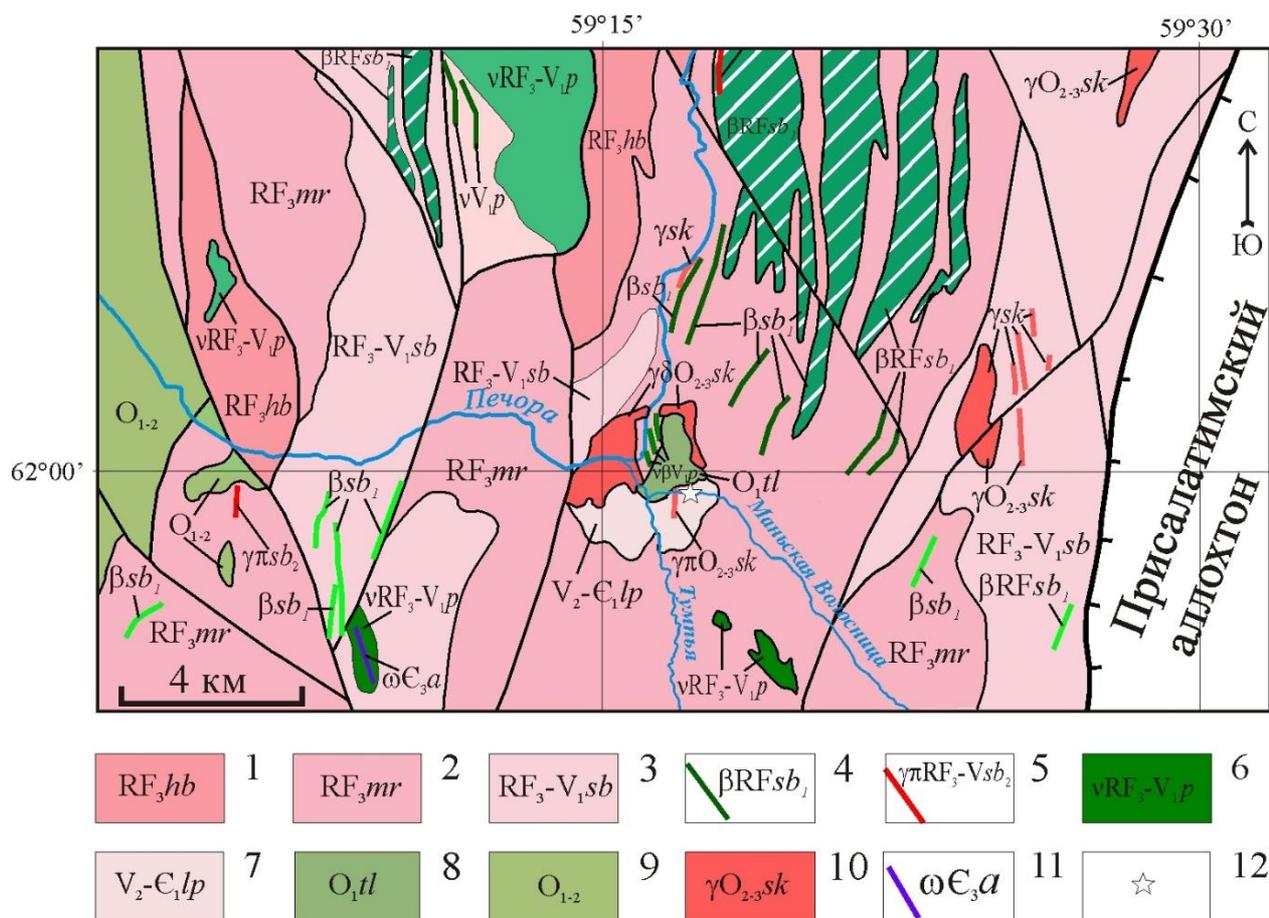


Рис. 2. Схематическая геологическая карта верховья р. Печоры (по: [5, 6] с изменениями). 1 – хобеинская свита: кварцитопесчаники, кварциты, метапесчаники с прослоями гравелитов, конгломератов и сланцев; 2 – мороинская свита: сланцы, кварцитопесчаники и метапесчаники, гравелиты, мелкогалечные конгломераты, метавулканики основного состава; 3–5 саблегорская свита: 3 – базальты, андезибазальты, риолиты, дациты и их туфы; 4 – субвулканические образования: метадолериты; 5 – гранит-порфиры; 6 – субвулканические образования парнукского комплекса; 7 – лаптопайская свита: туффиты, песчаники, алевролиты, прослой конгломератов, гравелитов, пепловых туфов; 8 – тельпосская свита: кварциты, метапесчаники, алевролиты, гравелиты, конгломераты, сланцы; 9 – тельпосская и хыдейская свиты: кварциты, метапесчаники, известковистые песчаники, алевролиты, сланцы; 10 – саклаимсорский гранитовый комплекс: граниты; 11 – антипинский комплекс пикритовый гипабиссальный: метаморфизованные пикриты; 12 – контуры участка «Проскуринский» и точка отбора пробы 200014.

Fig. 2. Schematic geological map of the upper reaches of the Pechora river (according to: [5, 6] with changes). 1 – Khomein Suite: quartzite sandstones, quartzites, metaescalines with layers of gravelites, conglomerates and shales; 2 – Moroin Suite: shales, quartzite sandstones and metaescalines, gravelites, pebble conglomerates, metavolcanics of basic composition; 3–5 Sablegor Suite: 3 – basalts, andesibasalts, rhyolites, dacites and their tuffs; 4 – subvolcanic formations: metadolerites; 5 – granite-porphyrines; 6 – subvolcanic formations of Parnuk complex; 7 – Laptopai Suite: tuffites, sandstones, siltstones, interlayers of conglomerates, gravelites, ash tuffs; 8 – Telpos Suite: quartzites, metaescalines, siltstones, gravelites, conglomerates, shales; 9 – Telpos and Khydei Suites: quartzites, metaescalines, calcareous sandstones, siltstones, shales; 10 – Saklaimsor granite complex: granites; 11 – Antipino complex picrite hypabyssal: metamorphosed picrites; 12 – contours of the site "Proskurinsky" and sampling point 200014.

серицит-кварцевые и серицит-альбит-кварцевые сланцы пуйвинской свиты среднего рифея (RF₂pv), на которых согласно залегает толща кварцитов и мусковитовых кварцитосланцев верхнерифейской хобеинской (RF₃hb) свиты. Рифейские отложения прорваны позднерифейско-вендскими интрузиями габбро и вендскими гранодиоритами. Раннекембрийские образования представлены брекчиями, туфогенными, туфогенно-осадочными отложениями проскуринской (песчано-алевритовой) толщи и континентальными грубообломочными породами тумпьянской толщи, выполняющими кратер щелочно-базальтоидной диатремы, возраст которой В.С. Озеров оценивает как раннекембрийский. Под-

стилающими породами для нижнекембрийских отложений, по его мнению, являются раннекембрийские магматические гипабиссальные и эффузивные породы основного-, ультраосновного ряда, сформировавшиеся в посттиманскую платформенную эпоху развития территории, а также субсинхронные с ними эффузивно-осадочные кратерные отложения диатрем [1].

Предполагается, что нижняя часть канала диатремы сложена взрывными брекчиями, в которых обломочная часть представлена габбро, гранодиоритами, риолитами, эпидотизированными базальтоидами, сфен-карбонат-амфибол-гранатовыми скарноподобными породами, кварцитами и

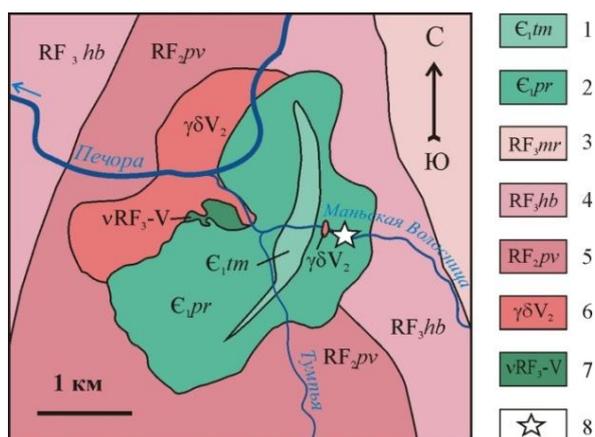


Рис. 3. Схематическая геологическая карта участка "Проскуринский" (по: [1]). Условные обозначения: 1 – тумпьянская толща: песчаники, гравелиты, конгломераты; 2 – проскуринская толща: туфы щелочных базальтов, туффиты; 3 – мороинская свита: карбонат-содержащие сланцы; 4 – хобейнская свита: кварциты, кварцито-песчаники; 5 – пуйвинская свита: серицит-кварцевые сланцы; 6 – комплекс поздневендских гранодиоритов; 7 – комплекс позднерифейско-вендских габбро; 8 – точка отбора пробы 200014.

Fig. 3. Schematic geological map of the site "Proskurinsky" (according to: [1]). Symbols: 1 – Tumpyinsky strata: sandstones, gravelites, conglomerates; 2 – Proskurinsky strata: alkali basalts tuffs, tuffites; 3 – Moroin suite: carbonate-bearing schists; 4 – Khobein suite: quartzites, quartzite sandstones; 5 – Puyvin suite: sericite-quartz schists; 6 – complex of Late Riphean-Vendian granodiorites; 7 – complex of Late Riphean-Vendian gabbro; 8 – sampling point 200014.

кварцем, а состав заполнителя соответствует составу вышележащей мелкопсаммитовой проскуринской толщи – кварц-альбит-эпидот-хлоритовый [7]. Залегающие в поле распространения алевритовой толщи гравелиты и мелкогалечные конгломераты тумпьянской толщи выполняют депрессию серповидных очертаний, размерами 2500 x 350 м.

Таким образом, песчано-алевритовая толща различными авторами интерпретируется по-разному: как верхневендско-раннекембрийская лаптопайская свита, нижнекембрийская проскуринская толща в кратере кембрийской трубки взрыва, или как нижнеордовикская тельпосская свита. Неоднозначность трактовки стратиграфической и генетической принадлежности является важным дополнительным аргументом в пользу необходимости проведения специальных исследований, позволяющих установить возраст проблематичной толщи.

Объект и методы исследования

Проба (обр. 200014) мелкозернистого зеленовато-серого песчаника отобрана в коренном выходе в борту долины р. Маньской Волосницы, 700 м выше слияния с р. Тумпьей (N 61°59'51.32", E 59°16'54.72"). Петрографический состав песчаника изучен в прозрачном шлифе. Содержания породообразующих оксидов определено традиционным весовым химическим методом. По результатам химического анализа исследуемого образца песчаника обр. 200014 рассчитаны индикаторные соотношения и петрохимические модули, используемые для палеогеографических реконструкций и

позволяющие судить об условиях образования данной породы и источниках обломочного материала [7–16].

Минералогическая проба в полевых условиях раздроблена в ступе и промыта до серого шлиха, после чего разделена на фракции с использованием бромформа, магнитной и электромагнитной сепарации. Извлеченная под биноклем монофракция циркона помещена в эпоксидную шашку. Морфологические особенности и химический состав зерен циркона изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Ускоряющее напряжение и ток на образцах – 20 кВ и $2 \cdot 10^{-8}$ А, соответственно. В качестве стандартов для определения химического состава использовались сертифицированные стандарты фирмы «Microspec».

Определения U-Pb изотопного возраста зерен циркона проводились с помощью устройства лазерной абляции UP-213 и одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Element XR (LA-ICP-MS) в ЦКП «Аналитический центр минералогеохимических и изотопных исследований» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Методика измерения, обработка масс-спектрометрического сигнала, расчет изотопных отношений и возрастов изложены в работе [17]. Применялось лазерное излучение с частотой импульсов 10 Гц, плотностью потока энергии около 3.5 Дж/см² и диаметром пучка излучения 25 мкм. В качестве внешнего стандарта использовались эталонные зерна циркона 91500 [18], контрольного образца – эталонные зерна циркона Plešovice (аттестованный ID-TIMS возраст 337.13±0.37 млн лет [19] и GJ-1 (аттестованный ID-TIMS возраст 608.5±0.4 млн лет [20]). В течение сессии, состоящей из 98 измеренных точек в исследуемой пробе, внешний стандарт был измерен в 24 точках, каждый контрольный образец – в 12 точках. Относительная среднеквадратичная погрешность определения изотопного отношения в контрольных стандартах варьировала: для $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в пределах 1.5–2.5%; $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – 1.3–2.5%; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 0.7–1%. Средневзвешенное значение оценки возраста контрольных эталонных Plešovice зернах циркона по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ отношению составило 350±22 млн лет, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – 345±6 млн лет и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 338±1.5 млн лет; возраст GJ-1 по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ отношению – 591±21 млн лет, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – 602±4 млн лет и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 605±3 млн лет. Эти данные отличаются от аттестованного возраста эталонных зерен циркона [21] не более чем на 0.6% для средневзвешенного значения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возрастов, не более чем на 2.3% для $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возрастов и не более чем на 3.8% для $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов.

При интерпретации для зерен циркона моложе 1 млрд лет принимался $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст, для цирконов древнее 1 млрд лет – $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст.

Вещественный состав и геохимические особенности песчаников

Тонкозернистые песчаники характеризуются бластопсаммитовой структурой и сланцеватой за счет ориентировки чешуек хлорита текстурой. Порода сложена слабо окатанными зернами плагиоклаза и кварца, погруженными в базальный хлорит-

товый цемент, содержащий неравномерно распределенный (на отдельных участках составляющий до 5 %) эпидот, представленный отдельными зернами с идиоморфным сечением и плохо окристаллизованными новообразованными зернами агрегатного строения, вероятно, развитыми по кальциевым минералам. Порода имеет следующую химический состав (мас. %): SiO₂ 56.60, TiO₂ 1.03, Al₂O₃ 15.72, Fe₂O₃ 3.98, FeO 5.68, MnO 0.18, CaO 4.12, MgO 5.57, K₂O 0.63, Na₂O 2.96, P₂O₅ 0.120, CO₂ 0.09, п.п.п. 3.77. По результатам нормативного пересчета песчаники состоят (об. %) из: среднего (№ 34) плагиоклаза (38), кварца (23), хлорита (21), магнетита (5.3), биотита (3.6), эпидота (2.6), титанита (2.4), калиевого полевого шпата (2) и акцессорных количеств апатита, кальцита, ильменита.

Песчаники являются граувакками, образованными в рифтогенной обстановке, со значениями коэффициентов DF1 и DF2⁴ [22] 3.07 и 2.52, соответственно. Значения индексов CIA⁵ 55, CIW⁶ 56 и ICV⁷ 1.98 указывают на присутствие в изученных песчаниках большого количества неглинистых силикатных минералов и слабую степень химического разложения исходных пород в холодных условиях. Соотношение индексов ICV–CIA [14] предполагает преобладание в составе песчаников материала слабо измененных базальтов. Фациальный индикатор для осадочных пород Fe/Mn [8] составляет 41, что характерно для осадков, сформированных в бассейне с незначительной глубиной. Титановый модуль (Fe+Mn)/Ti [9] 8.28 и алюминевый модуль Al/(Al+Fe+Mn) [12] 0.59 характеризуют песчаники как не содержащие примесь эксгалитивного материала.

Результаты датирования зерен детритового циркона

В исследуемой пробе циркон представлен прозрачными кристаллами и полупрозрачными окатанными зернами различных оттенков розового и желтовато-коричневого цвета. Цирконы размером 50–100 мкм составляют около 40 % от общего количества. Они представлены и неокатанными короткопризматическими кристаллами (K_{удл} 1.0–1.5) и обломками зерен и кристаллов. Около 35 % от общего количества составляют среднеокатанные зерна (K_{удл} 1.5–2.5), реже – обломки зерен циркона размером 100–150 мкм. Примерно 20 % зерен циркона представлены хорошо окатанными овальными зернами (K_{удл} 1.5–2.5) размером 150–200 мкм. Около 5% – это хорошо окатанные зерна циркона размером 200–230 мкм. Обломки зерен, образовавшиеся, вероятно, при дроблении пробы, составляют около 40 % от общего количества зе-

рен и содержатся преимущественно в мелкой фракции. Состав зерен циркона (мас. %): ZrO₂ 64.87–69.71, SiO₂ 31.08–32.85, HfO₂ 0.4–1.82.

Продатировано 98 зерен циркона, анализы с дискордантностью ≥10 %, (пять зерен) исключены из рассмотрения.

Возраст зерен циркона охватывает диапазон от мезоархея (2835±22 млн лет) до раннего ордовика (482±6 млн лет) (таблица, рис. 4).

Наиболее древний мезоархейский возраст 2835±22 млн лет зафиксирован в одном зерне, в двух зернах установлен неоархейский возраст – 2734±45 и 2533±31 млн лет. В диапазоне 2078±53–1075±57 млн лет, охватывающем верхнюю половину раннего протерозоя и весь ранний и средний рифей, выделяется несколько временных интервалов: 2078±53–1984±24 млн лет, представленный шестью зернами или ~6% от общего количества: 1796±35–1661±33 млн лет, включающий 10 зерен (11 %), 1561±35–1362±39 млн лет – девять зерен (10%), а также два зерна с возрастными 1115±47 и 1075±57 млн лет.

Позднерифейско-позднекембрийские датировки, образующие непрерывный ряд, объединяют несколько популяций. Позднерифейский (криогенийский) возраст имеют 12 зерен (13 %) циркона с возрастными 732±9–651±10 млн лет. Максимальное количество зерен (42 зерна или 45 %) принадлежат к вендской (эдиакарской) популяции с возрастными 645±9–545±7 млн лет и девять зерен (~10%) имеют кембрийский возраст – 541±8–482±6 млн лет.

Отношение Th/U в датированных зернах циркона

Зерна циркона различного генезиса различаются по величине Th/U отношениями. Анализ критерию деления цирконов магматического и метаморфического происхождения при реконструкции формирования метаморфических и осадочных комплексов посвящено значительное количество публикаций, в том числе обзоров, уделяющих геохимической характеристике зерен циркона большое внимание [24–30].

Отношения Th/U в датированных зернах циркона из песчаников проскуринской толщи варьируют в широких пределах: от 0.04 до 2.43 (рис. 5). Большинство фигуративных точек зерен циркона всех возрастных диапазонов укладываются в интервал значений 0.3<Th/U<1.1, типичных для большинства магматических и метаморфических горных пород. Лишь в 12 зернах величины Th/U выходят за пределы этого интервала. Для двух зерен циркона с мезоархейскими возрастными, одного зерна средне-рифейского возраста и четырех зерен из вендской популяции значения Th/U<0.3. Зерна циркона, характеризующиеся высокими (более 1.1) значениями Th/U, имеют позднерифейские и кембрийские датировки.

Большинство зерен циркона из метаморфических пород начальных ступеней метаморфизма характеризуется значениями Th/U<0.5 [28]. Известно, что наиболее низкие отношения Th/U, близкие к 0.1, установлены для зерен циркона из метаморфических пород и жильных образований [29]. Ис-

⁴ $DF1_{(Arc-Rift-Col)adj} = (0/608 * \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj}) + (-1.854 * \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (0.299 * \ln(Fe_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (-0.550 * \ln(MnO/SiO_2)_{adj}) + (0.120 * \ln(MgO/SiO_2)_{adj}) + (0.194 * \ln(CaO/SiO_2)_{adj}) + (-1.510 * \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj}) + (1.941 * \ln(K_2O/SiO_2)_{adj}) + (0.003 * \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj}) - 0.294;$

$DF2_{(Arc-Rift-Col)adj} = (-0.554 * \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj}) + (-0.995 * \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (1.765 * \ln(Fe_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (-1.034 * \ln(MnO/SiO_2)_{adj}) + (0.225 * \ln(MgO/SiO_2)_{adj}) + (0.713 * \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj}) + (0.330 * \ln(K_2O/SiO_2)_{adj}) + (0.637 * \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj}) - 3.631$ (по: [22]).

⁵ $CIA = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ (по: [16]).

⁶ $CIW = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$ (по: [13]).

⁷ $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + Ca_2O + Mg_2O) / (TiO_2 / Al_2O_3)$ (по: [12]).

*Результаты U-Pb датирования зерен детритового циркона
The results of U-Pb dating of detrital zircon grains*

№ п/п	№ зерна	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ (%)		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	
1	14	1.04	0.0569	2.14	0.6085	2.23	0.0777	1.30	0.6	486	47	483	9	482	6	0
2	17	0.92	0.0597	1.46	0.6609	1.62	0.0805	1.26	0.8	591	31	515	7	499	6	3
3	47	0.72	0.0592	4.21	0.6742	4.27	0.0826	1.42	0.3	575	89	523	17	511	7	2
4	78	0.64	0.0616	3.46	0.7050	3.49	0.0830	1.52	0.4	661	72	542	15	514	8	5
5	55	0.94	0.0593	2.61	0.6886	2.68	0.0843	1.41	0.5	578	56	532	11	522	7	2
6	76	0.64	0.0624	13.04	0.7316	13.02	0.0850	1.78	0.1	689	256	558	56	526	9	6
7	77	1.06	0.0597	8.20	0.7024	8.21	0.0854	1.55	0.2	591	168	540	34	528	8	2
8	75	2.29	0.0579	2.33	0.6853	2.44	0.0859	1.40	0.6	525	51	530	10	531	7	0
9	53	0.62	0.0587	7.53	0.7090	7.55	0.0876	1.52	0.2	556	156	544	32	541	8	1
10	11	1.47	0.0584	1.85	0.7100	1.96	0.0882	1.28	0.7	546	40	545	8	545	7	0
11	72	0.84	0.0598	3.48	0.7325	3.51	0.0888	1.51	0.4	597	74	558	15	549	8	2
12	82	0.63	0.0621	2.66	0.7619	2.74	0.0889	1.44	0.5	679	56	575	12	549	8	5
13	59	0.48	0.0589	2.28	0.7237	2.36	0.0892	1.38	0.6	563	49	553	10	551	7	0
14	71	0.69	0.0637	3.13	0.7868	3.17	0.0897	1.48	0.5	731	65	589	14	554	8	6
15	74	0.74	0.0620	2.40	0.7669	2.50	0.0898	1.40	0.6	673	51	578	11	554	7	4
16	62	0.81	0.0601	2.18	0.7425	2.29	0.0897	1.37	0.6	607	47	564	10	554	7	2
17	84	0.31	0.0637	3.20	0.7974	3.25	0.0907	1.50	0.5	732	66	595	15	560	8	6
18	12	0.62	0.0574	1.72	0.7172	1.85	0.0908	1.28	0.7	506	38	549	8	560	7	-2
19	27	0.61	0.0619	2.02	0.7727	2.12	0.0907	1.31	0.6	669	43	581	9	560	7	4
20	91	0.87	0.0630	3.46	0.7895	3.50	0.0909	1.54	0.4	707	72	591	16	561	8	5
21	79	0.1	0.0619	2.36	0.7847	2.47	0.0919	1.40	0.6	671	50	588	11	567	8	4
22	57	0.83	0.0633	2.28	0.8043	2.37	0.0923	1.39	0.6	717	48	599	11	569	8	5
23	7	0.61	0.0586	1.47	0.7456	1.61	0.0925	1.24	0.8	551	32	566	7	570	7	-1
24	15	0.35	0.0582	1.82	0.7410	1.94	0.0925	1.29	0.7	537	40	563	8	570	7	-1
25	89	0.88	0.0622	7.84	0.7927	7.84	0.0924	1.69	0.2	682	159	593	35	570	9	4
26	18	0.35	0.0620	1.69	0.7937	1.82	0.0929	1.28	0.7	675	36	593	8	573	7	4
27	58	0.63	0.0627	2.43	0.8055	2.51	0.0933	1.39	0.6	696	51	600	11	575	8	4
28	25	0.63	0.0622	3.95	0.8002	3.99	0.0934	1.38	0.3	681	82	597	18	576	8	4
29	42	0.42	0.0591	2.13	0.7651	2.27	0.0939	1.33	0.6	571	46	577	10	579	7	0
30	85	0.66	0.0613	9.14	0.7938	9.14	0.0940	1.68	0.2	648	185	593	41	579	9	2
31	81	0.37	0.0632	4.49	0.8347	4.48	0.0957	1.65	0.4	716	93	616	21	589	9	5
32	49	0.54	0.0604	2.38	0.7994	2.53	0.0959	1.37	0.5	619	51	597	11	590	8	1
33	54	0.71	0.0614	2.28	0.8184	2.36	0.0968	1.38	0.6	653	48	607	11	595	8	2
34	26	0.42	0.0624	2.90	0.8302	2.95	0.0966	1.40	0.5	687	61	614	14	595	8	3
35	97	0.78	0.0614	2.98	0.8348	3.07	0.0986	1.48	0.5	651	63	616	14	606	9	2
36	46	0.56	0.0610	4.44	0.8292	4.50	0.0986	1.43	0.3	638	93	613	21	606	8	1
37	52	0.54	0.0630	3.30	0.8617	3.39	0.0992	1.42	0.4	707	69	631	16	610	8	3
38	87	0.61	0.0635	4.62	0.8719	4.65	0.0996	1.51	0.3	724	95	637	22	612	9	4
39	20	0.62	0.0617	3.34	0.8472	3.38	0.0997	1.35	0.4	664	70	623	16	612	8	2
40	29	0.89	0.0618	2.70	0.8479	2.79	0.0997	1.34	0.5	665	57	624	13	612	8	2
41	4	0.55	0.0627	1.67	0.8638	1.79	0.1001	1.26	0.7	698	35	632	8	615	7	3

Продолжение таблицы

№ п/п	№ зерна	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ (%)		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	
42	36	0.52	0.0605	3.30	0.8323	3.36	0.0998	1.37	0.4	623	70	615	16	613	8	0
43	24	0.58	0.0614	6.53	0.8506	6.52	0.1007	1.66	0.3	651	135	625	30	618	10	1
44	66	0.78	0.0635	2.32	0.8809	2.42	0.1008	1.39	0.6	723	49	642	12	619	8	4
45	19	0.53	0.0627	1.66	0.8713	1.79	0.1009	1.28	0.7	699	35	636	8	619	8	3
46	3	0.69	0.0618	1.88	0.8598	1.96	0.1010	1.28	0.7	668	40	630	9	620	8	2
47	35	0.84	0.0617	2.21	0.8571	2.31	0.1009	1.34	0.6	662	46	629	11	620	8	1
48	64	0.28	0.0622	2.20	0.8692	2.31	0.1013	1.38	0.6	682	46	635	11	622	8	2
49	13	0.7	0.0605	1.67	0.8437	1.80	0.1012	1.27	0.7	623	36	621	8	622	8	0
50	23	0.93	0.0633	1.83	0.9057	1.96	0.1039	1.29	0.7	718	38	655	9	637	8	3
51	93	0.54	0.0613	2.80	0.8908	2.90	0.1053	1.46	0.5	651	59	647	14	645	9	0
52	88	0.79	0.0642	3.58	0.9409	3.62	0.1063	1.55	0.4	747	74	673	18	651	10	3
53	48	2.43	0.0646	2.20	0.9737	2.35	0.1094	1.34	0.6	760	46	690	12	669	9	3
54	32	0.66	0.0647	2.23	0.9789	2.33	0.1098	1.31	0.6	764	46	693	12	672	8	3
55	8	0.12	0.0650	1.51	0.9841	1.65	0.1100	1.25	0.8	773	32	696	8	673	8	3
56	43	0.59	0.0628	2.09	0.9543	2.23	0.1102	1.33	0.6	701	44	680	11	674	9	1
57	51	0.98	0.0608	2.32	0.9320	2.47	0.1111	1.36	0.6	634	49	669	12	679	9	-2
58	1	1.1	0.0623	1.73	0.9626	1.85	0.1123	1.26	0.7	683	37	685	9	686	8	0
59	80	1.53	0.0669	3.23	1.0509	3.27	0.1139	1.51	0.5	835	66	729	17	695	10	5
60	44	1.42	0.0635	2.57	1.0087	2.67	0.1152	1.38	0.5	726	54	708	14	703	9	1
61	60	0.62	0.0633	2.02	1.0104	2.14	0.1159	1.36	0.6	718	43	709	11	707	9	0
62	5	0.23	0.0618	1.60	1.0005	1.72	0.1176	1.26	0.7	668	34	704	9	717	9	-2
63	41	0.55	0.0672	2.26	1.1135	2.39	0.1202	1.35	0.6	843	47	760	13	732	9	4
64	98	0.04	0.0752	2.91	1.9486	3.02	0.1877	1.48	0.5	1075	57	1098	20	1109	15	-3
65	45	0.56	0.0768	2.38	1.9592	2.50	0.1851	1.37	0.5	1115	47	1102	17	1095	14	2
66	39	0.33	0.0871	2.06	2.7820	2.19	0.2318	1.33	0.6	1362	39	1351	16	1344	16	1
67	73	0.64	0.0873	2.16	2.7389	2.28	0.2276	1.40	0.6	1367	41	1339	17	1322	17	3
68	63	0.34	0.0885	1.78	3.1018	1.92	0.2545	1.34	0.7	1392	34	1433	15	1462	18	-5
69	40	0.46	0.0898	2.31	2.9976	2.42	0.2422	1.37	0.6	1420	43	1407	18	1398	17	2
70	83	0.81	0.0907	2.22	3.4362	2.34	0.2748	1.39	0.6	1440	42	1513	18	1565	19	-8
71	38	0.45	0.0938	1.92	3.4266	2.07	0.2651	1.32	0.6	1504	36	1511	16	1516	18	-1
72	21	0.42	0.0950	2.01	3.4112	2.12	0.2606	1.31	0.6	1529	37	1507	17	1493	17	2
73	67	0.35	0.0964	1.82	3.5814	1.96	0.2696	1.35	0.7	1556	34	1545	16	1539	18	1
74	65	0.34	0.0967	1.91	3.6424	2.04	0.2734	1.37	0.7	1561	35	1559	16	1558	19	0
75	30	0.49	0.1020	1.80	3.8005	1.94	0.2703	1.30	0.7	1661	33	1593	16	1543	18	8
76	16	0.46	0.1048	1.52	4.4039	1.66	0.3051	1.27	0.8	1711	28	1713	14	1717	19	0
77	22	0.6	0.1048	1.60	4.0803	1.75	0.2825	1.28	0.7	1712	29	1650	14	1604	18	7
78	92	0.67	0.1062	2.61	4.2335	2.71	0.2890	1.44	0.5	1735	47	1681	22	1637	21	6
79	69	1.03	0.1067	1.90	4.5910	2.04	0.3122	1.36	0.7	1744	34	1748	17	1752	21	0
80	94	0.49	0.1070	2.72	4.7526	2.83	0.3220	1.45	0.5	1748	49	1777	24	1800	23	-3
81	34	0.51	0.1079	1.86	4.6895	2.00	0.3152	1.31	0.7	1765	34	1765	17	1766	20	0
82	90	0.79	0.1080	2.81	4.5027	2.89	0.3023	1.50	0.5	1766	50	1732	24	1703	22	4
83	70	0.51	0.1082	2.00	4.6192	2.12	0.3097	1.38	0.7	1770	36	1753	18	1739	21	2

№ п/п	№ зерна	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ (%)		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	
84	33	0.6	0.1098	1.96	4.7915	2.09	0.3166	1.32	0.6	1796	35	1783	18	1773	21	1
85	9	0.82	0.1219	1.37	6.0388	1.52	0.3597	1.25	0.8	1984	24	1982	13	1981	21	0
86	31	0.97	0.1223	1.85	5.9747	1.98	0.3546	1.31	0.7	1990	32	1972	17	1956	22	2
87	10	0.45	0.1259	1.49	6.5126	1.64	0.3757	1.27	0.8	2041	26	2048	14	2056	22	-1
88	56	0.78	0.1277	1.87	6.5431	2.00	0.3720	1.38	0.7	2066	33	2052	18	2039	24	1
89	61	0.42	0.1277	1.77	6.5419	1.91	0.3718	1.36	0.7	2066	31	2052	17	2038	24	1
90	95	0.59	0.1285	3.05	6.5546	3.13	0.3696	1.55	0.5	2078	53	2053	28	2028	27	2
91	37	0.23	0.1676	1.87	10.1405	2.02	0.4391	1.31	0.6	2533	31	2448	19	2347	26	8
92	96	0.24	0.1891	2.78	13.5159	2.89	0.5180	1.47	0.5	2734	45	2716	27	2691	32	2
93	2	0.65	0.2011	1.33	15.4445	1.49	0.5577	1.25	0.8	2835	22	2843	14	2857	29	-1

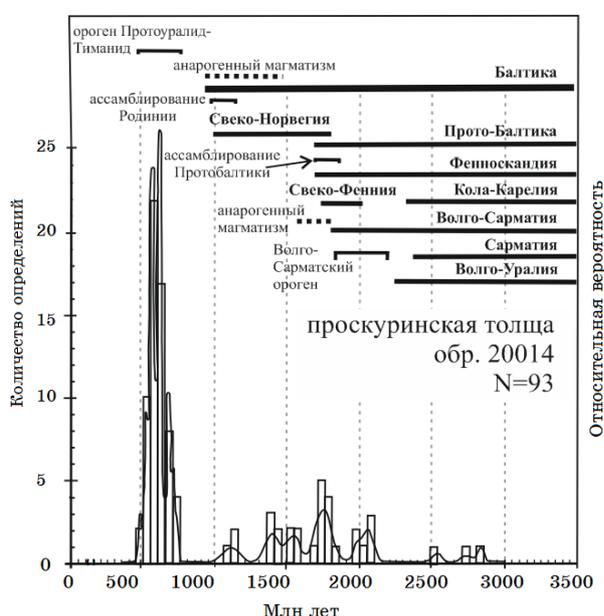


Рис. 4. Гистограмма и кривая плотности вероятности распределения возрастов зерен циркона из песчаников проскуринской толщи. Сплошными и пунктирными отрезками над графиками отмечены временные диапазоны основных тектоно-магматических событий (по: [23]).

Fig. 4. The histogram and the probability density curve for the age distribution of zircon grains from sandstones of the Proskurinsky strata. The time ranges of the main tectonic-magmatic events are marked with solid and dotted segments above the graphs (according to: [23]).

точником зерен циркона с величинами Th/U 0.5–0.8 могут быть гранитоиды и метаморфические породы амфиболитовой фации [24, 30]. В диапазоне 0.2 до 1.0 располагаются значения Th/U, характерные для основных вулканитов, а Th/U > 1.5 может свидетельствовать о происхождении зерен циркона из мафических пород [31].

Обсуждение результатов

Вероятным источником архейских зерен циркона из изученных песчаников были породы, участвующие в строении кристаллического фундамента

Волго-Уральской и Сарматской частей древнего остова Восточно-Европейской платформы [23]. Зерна циркона с возрастными 2078±53–1984±24 млн лет могли происходить из различной степени метаморфизованных пород начальных этапов свекофенского метаморфизма и плутонических пород Свекофенского орогена [32]. Возрастные диапазоны 1796±35–1661±33 млн лет, 1561±35–1362±39 млн лет соответствуют поздним метаморфическим комплексам Свекофенского мегаблока и гранитам рапакиви проявлений анорогенного магматизма на окраинах Волго-Сарматии и Фенноскандии [6]. По значению Th/U зерна циркона, относящиеся к этим популяциям, можно условно разделить на гранитные (>0.5) и метаморфогенные (0.33–0.49) низкой степени метаморфизма [24, 26, 27, 33].

Самую многочисленную группу составляют зерна циркона с позднерифейско-раннепалеозойскими возрастными (645±9–545±7–541±8–82±6 млн лет). Позднерифейско-вендские зерна циркона могли поступать из вулканитов и субинтрузивных образований саблегорской свиты, интрузий парнукского габбро-диоритового комплекса и гранитов первой фазы внедрения сальнерско-маньхамбовского комплекса из крупнейшего на севере Урала гранитного массива Мань-Хамбо, расположенного в нескольких десятках километров южнее описываемого района [34–36]. Мы не исключаем, что часть интрузивных образований, отнесенных к средне-позднеордовикскому саклаимсорскому гранитовому комплексу, также являются сальнерско-маньхамбовскими.

Позднерифейско-раннеордовикская позднекембрийская популяция зерен циркона отличается значительным разбросом значений Th/U. Четыре зерна с вендскими возрастными характеристиками низкими значениями Th/U отношения (0.1–0.28), свойственными цирконам из метаморфических пород низких ступеней метаморфизма и жильным образованиям [37]. На диаграмме (см. рис. 5), отражающей зависимость Th/U от возраста зерен циркона, позднерифейско-вендские зерна образуют группу из 40 точек со значениями Th/U в диапазоне 0.5–0.8. Значения величин Th/U в зернах кембрийского

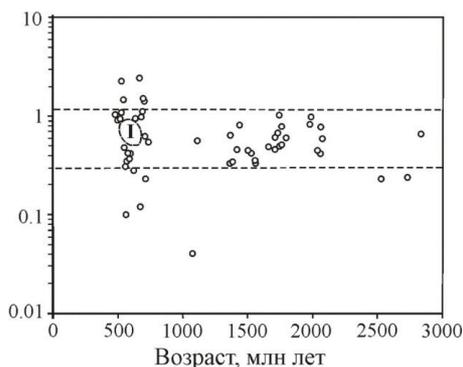


Рис. 5. Диаграмма зависимости величины Th/U в зернах детритового циркона из песчаников проскуринской толщи от их возраста. I – группа из 40 точек. Пунктирными линиями выделен диапазон преобладающих значений.

Fig. 5. Diagram of the dependence of Th/U value in detrital zircon grains from sandstones of the Proskurinsky strata on their age. I – a group of 40 points. Dotted lines indicate the range of prevailing values.

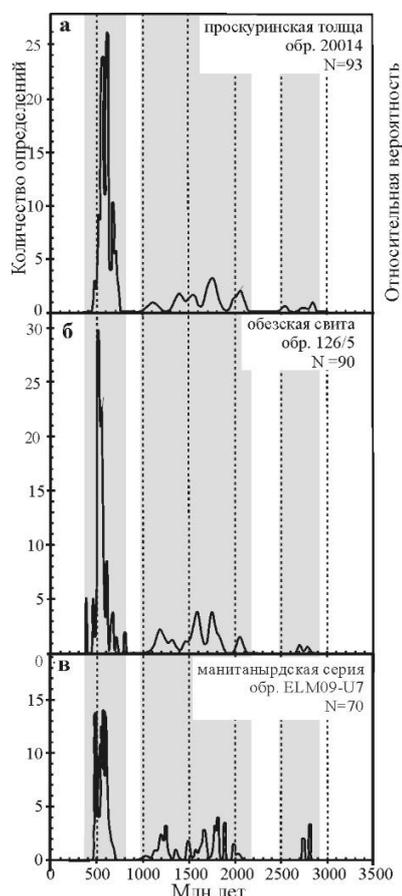


Рис. 6. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения U-Pb изотопных возрастов зерен циркона из песчаников: а – проскуринской толщ; б – основания обоезской свиты, г. Сабля, Приполярный Урал [38]; в – основание манитаньрдской серии, кряж Енганэ-Пэ, Полярный Урал [40].

Fig. 6. Histograms and probability density curves for the distribution of U-Pb isotopic ages of zircon grains from sandstones: а – Proskurinsky strata; б – bases of the Oboiz suite, Sablya mount, Circumpolar Urals [38]; в – base of the Manitanyrd series, Engane-Pe ridge, Polar Urals [40].

циркона составляют 0.62–1.06, за исключением одного зерна с возрастом 531 млн лет, в котором этот показатель равен 2.29. Цирконы со столь высоким значением Th/U могут происходить из вулканитов основного и ультраосновного состава.

Петрохимические особенности песчаников проскуринской толщи свидетельствуют о преобладании в их составе слабо измененного вулканокластического материала, источником которого могли быть близкие по возрасту основные вулканиты. Проявления вулканической активности, связанные с эпиконтинентальным рифтогенезом, характерны для всего севера Урала. Сопоставление результатов датирования зерен детритового циркона из песчаников проскуринской толщи с возрастными данными зерен циркона из близких им по структурно-тектонической позиции и литолого-геохимическим характеристикам песчаников из разрезов основания позднекембрийско-раннеордовикских обоезской свиты хр. Сабля на Приполярном Урале [39] и манитаньрдской серии кряжа Енганэ-Пэ на Полярном Урале [39, 40] показывает явное сходство в распределении возрастов зерен циркона, при преобладании позднерифейско-раннекембрийских датировок, присутствие которых связано с проявлениями магматической активности близко или одновременно с осадконакоплением (рис. 6), что соответствует времени проявления коллизионных процессов при формировании орогена протоуралид-тиманид [41, 42].

Заключение

В результате датирования зерен детритового циркона из песчаников проскуринской толщи установлено, что накопление обломочного материала песчаников происходило преимущественно за счет разрушения развитых в районе интрузивных образований, принадлежащих к магматическим коллизионным комплексам протоуралид-тиманид. В меньшей степени в формировании изученных песчаников принимали участие докембрийские комплексы окраин пассивной окраины Балтики и активной окраины Арктиды. По геохимическим особенностям песчаники проскуринской толщи соответствуют осадочной породе, образованной за счет размыва и переотложения слабо измененных в условиях холодного климата вулканических пород преимущественно основного состава на незначительной глубине в обстановке эпиконтинентального рифтогенеза, что с учетом данных о возрасте зерен детритового циркона полностью соответствует тельпосской свите нижнего ордовика.

Сходство возрастных характеристик зерен детритового циркона из песчаников пространственно разобщенных разрезов в различных районах западного склона Полярного и Приполярного Урала свидетельствует о единой истории развития располагавшегося вдоль западного склона севера Урала осадочного бассейна.

Авторы признательны д.г.-м.н. В. Л. Андрееву и к.г.-м. н. А. А. Соболеву за консультации.

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (проект № АААА-А17-117121270034-3) и РАН ГИН СО РАН (проекты № АААА-А17-117011650013-4 и АААА-А16-116122110027-2).

Литература

1. *Озеров В. С., Озерова Э. Н.* Открытие кембрийской базальтоидной трубки взрыва на Северном Урале // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2001 а. С. 90–92.
2. *Озеров В. С., Озерова Э. Н.* Перспективы алмазоносности Верхнепечорского района Северного Урала // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2001 б. С. 93–95.
3. *Озеров В. С., Озерова Э. Н., Игнатович О. О.* Открытие тел метакимберлитов в верховье Печоры // Южные районы Республики Коми: геология, минеральные ресурсы, проблемы освоения: Материалы III Всерос. науч. конференции, 23–25 апреля 2002 г. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 197–200.
4. *Озеров В. С., Озерова Э. Н., Игнатович О. О.* Кембрийские диатремы верховьев Печоры (Северный Урал) // Литосфера. 2006. № 1. С. 91–101.
5. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Изд. 2. Серия Северо-Уральская. Лист Р-40-ХVIII (Лопский). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. 148 с. (Минприроды России, Роснедра, Уралнедра, ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция»).*
6. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-40 (Североуральск). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.*
7. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Никулова Н. Ю., Швецова И. В.* Верхнепечорские «проскуриты» // Геохимия древних толщ Севера Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 86–90.
8. *Розен О. М., Журавлев Д. З., Ляпунов С. М.* Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печорской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.
9. *Страхов Н. М.* Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.
10. *Bhatia M. R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* 1983. Vol. 91. № 6. P. 611–627.
11. *Bostrom K.* The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // *Stockholm Contrib. geol.*, 1973. Vol. 27. № 2. P. 148–243.
12. *Cox R., Lowe D. R.* Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // *J. Sed. Res.* 1995. Vol. 65. P. 1–12.
13. *Harnois L.* The CIW index: a new chemical index of weathering // *Sed. Geol.* 1988. Vol. 55. №. 3/4. P. 319–322.
14. *Lee Y. I.* Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea // *Sedimentary Geology.* 2002. Vol. 149. P. 219–235.
15. *Nesbitt H. W., Young G. M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature.* 1982. Vol. 299. P. 715–717.
16. *Roser B. P., Korsch R. J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol.* 1986. Vol. 94. № 5. P. 635–650.
17. *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 сопоставления с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258.
18. *Wanless V.D., Perfit M.R., Ridley W.I., Wallace P.J. et al.* Volatile abundances and oxygen isotopes in basaltic to dacitic lavas on mid-ocean ridges: the role of assimilation at spreading centers. // *Chemical Geology.* 2011. No 287 (1–2). P. 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeol.2011.05.017>
19. Plesovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis / *J. Sláma, J. Košler, D.J. Condon, J. L. Crowley et al.* // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 249. P. 1–35.
20. *Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A.* The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology // *Chemical Geology.* 2004. Vol. 211. P. 47–69.
21. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / *M. Wiedenbeck, P. Allé, F. Corfu, W.L. Griffin et al.* // *Geostandards Newsletter.* 1995. № 19. P. 1–23.
22. *Verma S. P., Armstrong-Altrin J. S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. // *Chem. Geol.* 2013. № 355. P. 117–133.
23. *Кузнецов Н. Б., Алексеев А. С., Белоусова Е. А.* и др. Тестирование моделей поздненевандской эволюции северо-восточной периферии Восточно-Европейской платформы на основе первых результатов U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из верхненевандских песчаников Юго-Восточного Беломорья // Докл. РАН. 2014. Т. 458, № 3. С. 313–317.
24. *Вотьяков С. Л., Шапова Ю. В., Хиллер В. В.* Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микрозондового датирования. Ека-

- теринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2011. 336 с.
25. *Каулина Т. В.* Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. 144 с.
 26. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И.* Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожжиской среднерифейской гранит-риолитовой формации // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. Вып. 4(8). С. 73–78.
 27. *Пыстин А. М., Пыстина Ю. И.* Распределение U и Th в цирконах метаморфических пород и гранитоидов Севера Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы XII межрегиональной научно-практической конференции. Уфа, 2018. С. 294–299.
 28. *Kirkland C.L., Smithies R.H., Taylor R.J.M., Evans N., McDonald B.*, 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos* 212–215, 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.021>
 29. *Rubatto D.* Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism // *Chem. Geol.* 2002. Vol. 184. P. 123–138.
 30. *Kaczmarek M.A., Müntener O., Rubatto D.* Trace element chemistry and U–Pb dating of zircons from oceanic gabbros and their relationship with whole rock composition (Lanzo, Italian Alps) // *Contributions to Mineralogy and Petrology.* 2008. No. 155(3). P. 295–312. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0243-3>
 31. *Глебовицкий В.А., Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А. и др.* Вулканиты в свекофеннидах Приладожья: результаты определения изотопного возраста // Докл. РАН. 2001. Т. 396. №5. С. 369–373.
 32. *Košler J., Sylvester P.J.* Present trends and the future in geochronology: laser ablation ICPMS. In: J.M. Hanchar and P.W.O. Hoskin. (Eds.), *Reviews in Mineralogy and Geochemistry.* 2003. Vol. 53. P. 243–275.
 33. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В.* и др. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ч. 2. Позднедокембрийско-кембрийская коллизия Балтики и Арктиды // *Литосфера.* 2007. № 1. С. 32–45.
 34. Возраст гранитоидов массивов Маньхембовского и Ильязского массивов (Северный Урал): U-Pb данные / *О.В. Удоротина, А.А. Соболева, Н.А. Кузнецов, Н.В. Родионов, С.Л. Пресняков* // ДАН. 2006 Т. 406. № 6. С. 810–815.
 35. Граниты Маньхембовского, Ильязского массивов и редкометалльные породы Маньхембовского массива (Северный Урал) / *О.В. Удоротина, В. Л. Андреев, В.А. Капитанова, М.А. Кобл, Ц. Ген* // Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании: Материалы III Международной геол. конф. (28–31 августа, Екатеринбург). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. С. 298–300. ISBN 978-5-7691-2482-2
 36. Палеотектонические и палеогеографические обстановки накопления нижнерифейской айской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) на основе изучения детритовых цирконов методом «TerraneChrono®» / *Т.В. Романюк, Н.Б. Кузнецов, Е.А. Белоусова, В.М. Горожанин, Е.Н. Горожанина* // *Геодинамика и тектонофизика.* 2018. №1. С. 1–37. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0335
 37. *Heaman L.M., Bowins R., Crocket J.* The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies // *Geochim Cosmochim Acta.* 1990. No. 54. P. 1597–1607.
 38. *Никулова Н. Ю., Удоротина О. В., Хубанов В. Б.* Возраст песчаников в основании разреза уралид на хр. Сабля (Приполярный Урал) по результатам U-Pb датирования детритных цирконов // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 1. С. 15–23.
 39. *Соболева А. А.* Проявления кремнекислого вулканизма на рубеже кембрия и ордовика на северо-восточной окраине Восточно-Европейского континента // *Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии.* Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 1. С. 524–527.
 40. Результаты U-Pb датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уралид (Полярный Урал) / *А. А. Соболева, Н. Б. Кузнецов, Э. Л. Миллер, О. В. Удоротина, Герелс Дж.* // ДАН. 2012. Т. 445. № 5. С. 570–576.
 41. *Кузнецов Н. Б., Натанов Л. М., Белоусова Е. А.* и др. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Докл. АН. 2010. Т. 435. № 6. С. 798–805.
 42. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В.* и др. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ч. 1. Протоуралиды, Тиманиды и Доордовикские гранитоидные вулкано-плутонические ассоциации севера Урала и Тимано-Печорского региона // *Литосфера.* 2006. № 4. С. 3–22.

References

1. *Ozerov V.S., Ozerova E.N.* Otkritie kembriiskoi bazaltoidnoi trubki vzryva na Severnom Urale // *Almazы i almazonosnost' Timano-Uralskogo regiona* [Discovery of the Cambrian basaltoid volcanic pipe in the Northern Urals // *Diamonds and diamond content of the Timan-Urals region*]: Proc. of the All-Russia meeting. Syktывkar: Geoprint, 2001 a. P. 90–92.
2. *Ozerov V.S., Ozerova E.N.* Perspektivy almazonosnosti Verhnepechorskogo raiona

- Severnogo Urala // *Almazы i amazonosnost' Timano-Uralskogo regiona* [Prospects for diamond content in the Upper Pechora region of the Northern Urals // *Diamonds and diamond content in the Timan-Urals region*]; Proc. of the All-Russia meeting. Syktyvkar: Geoprint, 2001 b. P. 93–95.
3. *Ozerov V.S., Ozerova E.N., Ignatovich O.O.* Otkritie tel metakimberlitov v verhovye Pechory // *Yuzhnie raiony Respubliki Komi: geologiya, mineralnie resursy, problem osvoeniya* [Discovery of metakimberlite bodies in the upper course of the Pechora river // Southern regions of the Komi Republic: geology, mineral resources, development problems]; Proc. of the 3rd all-Russian sci. conf., April 23–25, 2002. Syktyvkar: Geoprint, 2002. P. 197–200.
 4. *Ozerov V.S., Ozerova E.N., Ignatovich O.O.* Kembriiskie diatremy verhovye Pechory (Severnii Ural) [Cambrian diatremes of the upper course of the Pechora river (Northern Urals) // *Lithosphere*. 2006. № 1. P. 91–101.
 5. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii*. Masshtab 1 : 200 000. Izd. 2. Seriya Severo-Uralskaya. List P-40-XVIII (Lopsiya). Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. 2nd edition. North Urals series. Sheet P-40-XVIII (Lapse). Explanatory note]. Moscow: VSEGEI, Moscow Branch, 2017. 148 p. (Ministry of Natural Resources of Russia, Rosnedra, Uralnedra, JSC “Ural geological survey expedition”).
 6. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii*. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretye pokolenie). Uralskaya seriya. List P-40 (Severouralsk). Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (3rd generation). Ural series. Sheet P-40 (Severouralsk). Explanatory note]. St.Petersburg: Publ. House of St. Petersburg VSEGEI map factory, 2005. 332 p.
 7. *Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Nikulova N.Yu., Shvetsova I.V.* Verhnepechorskies “proskurity” // *Geohimiya drevnih tolsch Severa Urala* [Upper Pechora “proskurites” // *Geochemistry of ancient strata of the North of the Urals*]. Syktyvkar: Geoprint, 2002. P. 86–90.
 8. *Rosen O.M., Zhuravlev D.Z., Lyapunov S.M.* Geohimicheskie issledovaniya osadochnyh otlozhenii Timano-Pechorskoi provincii // *Razvedka i ohrana nedr* [Geochemical studies of sedimentary deposits of the Timan-Pechora province // *Exploration and protection of mineral resources*]. 1994. № 1. P. 18–21.
 9. *Strakhov N.M.* Problemy geohimii sovremenogo okeanskogo litogeneza [Problems of geochemistry of modern ocean lithogenesis]. Moscow: Nauka, 1976. 300 p.
 10. *Bhatia M.R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* 1983. Vol. 91. № 6. P. 611–627.
 11. *Bostrom K.* The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // *Stockholm Contrib. geol.*, 1973. Vol. 27. № 2. P. 148–243.
 12. *Cox R., Lowe D. R.* Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // *J. Sed. Res.* 1995. Vol. 65. P. 1–12.
 13. *Harnois L.* The CIW index: a new chemical index of weathering // *Sed. Geol.* 1988. Vol. 55. №. 3/4. P. 319–322.
 14. *Lee Y.I.* Provenance derived from the geochemistry of Late Paleozoic-Early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*. 2002. Vol. 149. P.219–235.
 15. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 715–717.
 16. *Roser B. P., Korsch R. J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol.* 1986. Vol. 94. № 5. P. 635–650.
 17. *Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A.* U-Pb izotopnoe datirovanie cirkonov iz PZ3-MZ magmaticallykh kompleksov Zabai-kalya metodom magnetno-sekturnoi mass-spektrometrii s lazernym probotooborom: procedura opredeleniya i sopostavleniya s SHRIMP dannymi [U-Pb isotope dating of zircons from PZ3-MZ magmatic complexes of Transbaikalia by magnetic sector mass spectrometry with laser sampling: procedure for determination and comparison with SHRIMP data] // *Geology and Geophysics*. 2016. Vol. 57. № 1. P. 241–258.
 18. *Wanless V.D., Perfit M.R., Ridley W.I., Wallace P.J.* et al. Volatile abundances and oxygen isotopes in basaltic to dacitic lavas on mid-ocean ridges: the role of assimilation at spreading centers // *Chemical Geology*. 2011. No. 287 (1–2). P. 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.05.017>
 19. Plesovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis / *J.Sláma, J.Košler, D.J.Condon, J.L. Crowley et al.* // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 249. P. 1–35.
 20. *Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A.* The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // *Chemical Geology*. 2004. Vol. 211. P. 47–69.
 21. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / *M.Wiedenbeck, P.Allé, F.Corfu, W.L.Griffin et al.* // *Geostandards Newsletter*. 1995. № 19. P. 1–23.
 22. *Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // *Chem. Geol.* 2013. № 355. P. 117–133.
 23. *Kuznetsov N.B., Alekseev A.S., Belousova E.A.* et al. Testirovanie modelei pozdnevendskoi evolucii severo-vostochnoi periferii Vostochno-Evropeiskoi platformy na osnove

- pervykh rezultatov U/Pb-izotopnogo datorovaniya (LA-ICP-MA) detritnykh cirkonov iz verhnevendskih peschanikov Yugo-Vostochnogo Belomorya [Testing models of the Late Vendian evolution of the North-Eastern periphery of the East European platform based on the first results of U/Pb-isotope dating (LA-ICP-MS) of detrital zircons from the Upper Vendian sandstones of the South-Eastern White Sea region] // *Doklady Earth Sciences*. 2014. Vol. 458, № 3. P. 313–317.
24. *Votyakov S.L., Shchapova Yu.V., Khiller V.V.* Kristallohimiya i fizika radiacionno-termicheskikh effektov v ryade U-Th-soderzhaschih mineralov kak osnova dlya ih himicheskogo mikrpzondovogo datirovaniya [Crystal chemistry and physics of radiation-thermal effects in a number of U-Th-containing minerals as a basis for their chemical microprobe dating]. Ekaterinburg: Inst. of Geology and Geochemistry, Ural Branch, RAS, 2011. 336 p.
 25. *Kaulina T.V.* Obrazovanie i preobrazovanie zirkona v polimetamorficheskikh kompleksah [Formation and transformation of zircon in polymetamorphic complexes]. Apatity: Kola Sci. Centre, RAS, Publ., 2010. 144 p.
 26. *Pystin A.M., Pystina Yu.I.* Novie Dannie o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoi vydeleniya kozhimskoi srednerifeiskoi granit-riolitovoi formacii [New data on the age of granitoids of the Subpolar Urals in connection with the problem of isolation of the Kozhim mid-Riphean granite-rhyolite formation // *Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2011. Issue 4(8). P. 73–78.
 27. *Pystin A.M., Pystina Yu.I.* Raspredelenie U i Th v cirkonah metamorficheskikh porod i granite-idov Severa Urala // *Geologiya, poleznie isko-paemie i problem geokologii Bashkortostana, Urala i sopredelnykh* [Distribution of U and Th in zircons of metamorphic rocks and granitoids of the North of the Urals // *Geology, minerals and problems of Geocology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories*]: *Proc. of the XII inter-regional sci.-pract. conf.* Ufa, 2018. P. 294–299.
 28. *Kirkland C.L., Smithies R.H., Taylor R.J.M., Evans N., McDonald B.*, 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos* 212–215, 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.021>
 29. *Rubatto D.* Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism // *Chem. Geol.* 2002. Vol. 184. P. 123–138.
 30. *Kaczmarek M.A., Müntener O., Rubatto D.* Trace element chemistry and U–Pb dating of zircons from oceanic gabbros and their relationship with whole rock composition (Lanzo, Italian Alps) // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2008. No. 155(3). P. 295–312. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0243-3>
 31. *Glebovitsky V.A., Baltybaev Sh.K., Levchenkov O.A.* et al. The volcanic rocks in the Svecofennides of the Ladoga lake area: results of isotopic age determination // *Dokl. Earth Sciences*. 2001. Vol. 396. № 5. P. 369–373.
 32. *Košler J., Sylvester P.J.* Present trends and the future in geochronology: laser ablation ICPMS. In: J.M. Hanchar and P.W.O. Hoskin. (Eds.) // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2003. Vol. 53. P. 243–275.
 33. *Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V.* et al. Douralskaya tektonicheskaya evoliuciya severo-vostochnogo i vostochnogo obramleniya Vostochno-Evropeskoj platformy [Pre-Ural tectonic evolution of the North-Eastern and Eastern framing of the East European platform]. Part 2. Late Precambrian-Cambrian collision of the Baltic and Arctida // *Lithosphere*. 2007. № 1. P. 32–45.
 34. *Vozrast granitoidov Man'hambovskogo i Ilyazskogo massivov (Severny Ural): U-Pb dannie* [The age of granitoids of the Man'khambov and Ilyaz massifs (Northern Urals): U-Pb data] / *O.V.Udoratina, A.A.Soboleva, N.A.Kuzenkov, N.V.Rodionov, S.L.Presnyakov* // *Doklady Earth Sciences*. 2006. Vol. 406. № 6. P. 810–815.
 35. *Granity Man'hambovskogo, Ilyazskogo massivov i redkometallnie porody Man'hambovskogo massiva (Severny Ural)* [Granites of the Man'khambov, Ilyaz massifs and rare-metal rocks of the Man'khambov massif (Northern Urals)] / *O.V.Udoratina, V.L.Andreichev, V.A.Kapitanova, M.A.Kobl, Ts.Gen* // *Granites and evolution of the Earth: mantle and crust in the granite formation: Proc. of the 3rd Intern. Geological conf. (August 28-31, Ekaterinburg)*. Ekaterinburg: Inst. of Geology and Geochemistry, Ural Branch, RAS, 2017. P. 298–300. ISBN 978-5-7691-2482-2
 36. *Paleotektonicheskie i paleogeograficheskie ustanovki nakopleniya nizherifeiskoi aiskoi sviny Bashkirkogo podnyatiya (Yuzhny Ural) na osnove izucheniya detritovih cirkonov metodom "TerraneChrono®"* [Paleotectonic and paleogeographic conditions of accumulation of the Lower Riphean Ai formation of the Bashkir uplift (Southern Urals) based on the study of detrital zircons by the "TerraneChrono®" method] / *T.V.Romanyuk, N.B.Kuznetsov, E.A.Belousova, V.M.Gorozhanin, E.N.Gorozhanina* // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2018. №1. P. 1–37. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0335
 37. *Heaman L.M., Bowins R., Crocket J.* The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies // *Geochim Cosmochim Acta*. 1990. No. 54. P. 1597–1607.
 38. *Nikulova N.Yu., Udoratina O.V., Khubanov V.B.* Vozrast peschanikov v osnovanii razreza uralid na hr. Sablya (Pripolyarny Ural) po rezultatam U-Pb datirovaniya denritnykh cirkonov [Age of sandstones at the base of the Uralides section on the Sablya ridge (Circumpolar Urals) based on U-Pb dating of detrital zircons] // *Bull. of the Moscow society*

- of nature explorers. Geology Dept. 2016. Vol. 91. Issue 1. P. 15–23.
39. *Soboleva A.A.* Proyavleniya kremnekislogo vulkanizma na rubezhe kembriya i ordovika na severo-vostochnoi okraine Vostochno-Evropeiskogo kontinenta // Vulkanizm i geodinamika [Manifestations of silicic acid volcanism at the turn of the Cambrian and Ordovician in the northeastern edge of the Eastern European continent // Volcanism and geodynamics]: Proc. of the IV all-Russian Symposium on volcanology and paleovolcanology. Petropavlovsk-Kamchatski: Inst. of Volcanology and Seismology, Far-Eastern Branch, RAS, 2009. Vol. 1. P. 524–527.
40. Rezultaty U-Pb datorovaniya detritnyh cirkonov iz bazalnyh gorizontov uralid (Pol'yarny Ural) [Results of U-Pb dating of detrital zircons from basal horizons of the uralides (Polar Urals) / *A.A.Soboleva, N.B.Kuznetsov, E.L.Miller, O.V.Udoratina, J.Gerels* // Doklady Earth Sciences. 2012. Vol. 445. № 5. P. 570–576.
41. *Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A.* et al. Pervie rezultaty U/Pb-datirovaniya i izotopno-geohimicheskogo izucheniya detritnyh cirkonov iz pozdnedokembriiskih peschanikov Yuzhnogo Timana (uval Dzhezhim-Parma) [First results of U/Pb dating and isotope-geochemical study of detrital zircons from the Late Precambrian sandstones of the South Timan (Dzhezhim-Parma ridge)] // Doklady Earth Sciences. 2010. Vol. 435. № 6. P. 798–805.
42. *Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V.* et al. Douralskaya tektonicheskaya evoluciya severo-vostochnogo i vostochnogo [Pre-Ural tectonic evolution of the northeastern and eastern framing of the East European platform]. Part 1. Protouralidy, Timanidy i Doordovikskie granitoidnye vulkano-plutonicheskie asociacii severa Urala i Timano-Pechorskogo regiona [ProtoUralides, Timanides and Pre-Ordovician granitoid volcano-plutonic associations of the north of the Urals and Timan-Pechora region] // Lithosphere. 2006. № 4. P. 3–22.

Статья поступила в редакцию 26.06.2020