

ЛИТОЛОГИЯ

УДК 549.6:552.512/551.733(234.851)

Морфология, строение и состав циркона из метапесчаников алькесвожской толщи (Приполярный Урал)**Н.Ю. Никулова^a, О.В. Гракова^a, В.Б. Хубанов^b**^a Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

167982, Республика Коми, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54.

E-mail: nikulova@geo.komisc.ru

^b ФГБУН Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а. E-mail: khubanov@mail.ru*(Статья поступила в редакцию 18 января 2023 г.)*

Приведены описание особенностей морфологии, внутреннего строения и анализ отношений Th/U и Zr/Hf в цирконах из песчаников золотоносной алькесвожской толщи, расположенной в основании палеозойского разреза на Приполярном Урале. Установлено, что большинство изученных цирконов являются первично-магматическими зёрнами первого цикла выветривания. Источником обломочного циркона, вероятно, являлись близкие по времени образования подстилающие или расположенные поблизости кислые и основные вулканиты магматических комплексов различных стадий формирования тиманид-протоуралид, ассоциирующие с ними гранитоиды и интрузивные образования основного состава. Незначительная часть хорошо окатанных зёрен циркона с дорифейскими датировками может быть переотложена из рифеских метаосадочных образований, в свою очередь унаследовавших его из пород древнего фундамента Восточно-Европейской платформы.

Ключевые слова: *циркон, метапесчаники, алькесвожская толща, Приполярный Урал.*

DOI: 10.17072/psu.geol.22.2.99

Введение

Многочисленные проявления золоторудной минерализации на Приполярном Урале приурочены к расположенной в основании разреза уралид метатерригенной алькесвожской (Є₃–O_{1al}) толще. Континентальные алькесвожские отложения, выполняющие депрессии допалеозойского рельефа, с несогласием залегающие на породах рифейско-вендского фундамента и локально сохранившихся образованиях коры выветривания по ним (kv Є), перекрываются прибрежно-морскими отложениями обеизской (O_{1ob}) свиты (рис. 1). Алькесвожская толща сложена метаморфизованными косослоистыми песчаниками, гравелитами и конгломератами с прослоями и линзами сланцев. Для всех литологических типов отложений алькесвожской толщи характерно присутствие в

цементе и обломочной части продуктов разрушения коры выветривания. Мощность алькесвожских отложений изменяется от первых метров до 140–150 м в тальвегах палеодепрессий (Ефанова, 2001). Вне пределов палеодепрессий алькесвожская толща выпадает из разреза и обеизские конгломераты залегают непосредственно на породах рифейско-вендского фундамента. Проводившееся в 90-х годах прошлого века интенсивное изучение алькесвожской толщи было обусловлено ее золотоносностью и направлено преимущественно на исследование собственно золота и закономерностей его распределения оруденения (Ефанова, 2001; Ефанова, Повонская, 1999; Ефанова и др., 1999; Козырева, Швецова, 1998; Козырева и др., 2002; Кузнецов и др., 2001; Озеров, 1996; Озеров, 1998; Юдович, Ефанова, 2002; и др.).

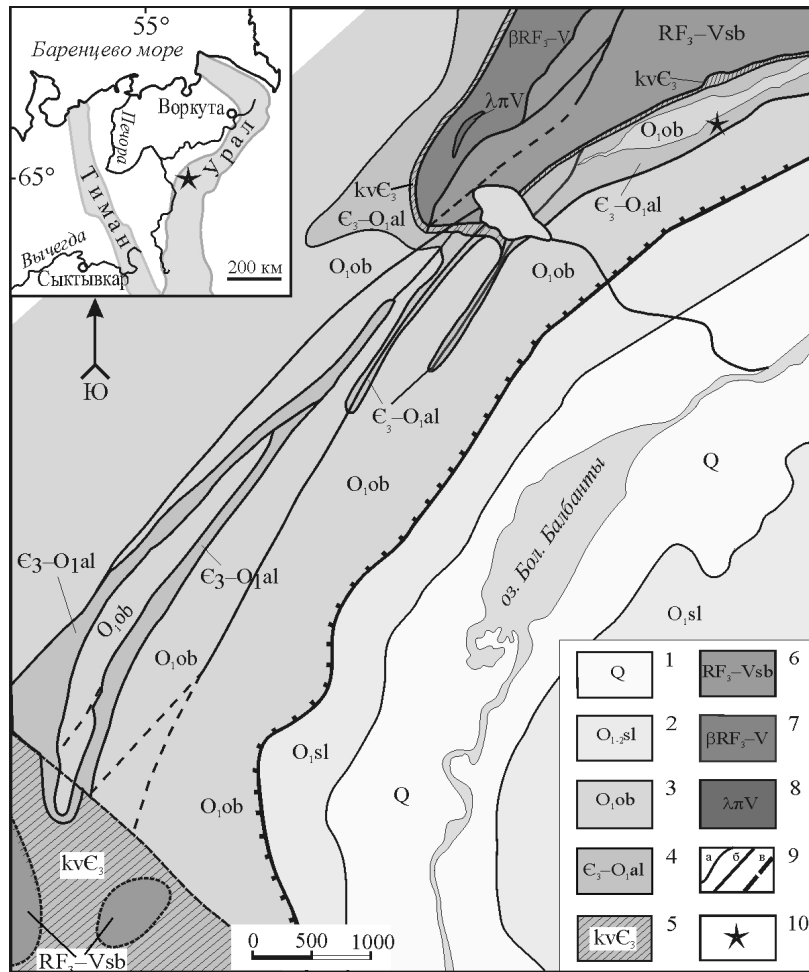


Рис. 1. Схема расположения разреза и схематическая геологическая карта хр. Малдынырд. Составлена по материалам Л.И. Ефановой (2002 г.) и В.С. Озерова (2005 г.): 1 – современные аллювиальные отложения; 2 – ранне-среднеордовикские отложения саледской свиты: песчаники, алевролиты, сланцы; 3 – раннеордовикские отложения обеизской свиты: конгломераты, гравелиты, песчаники, кварцитопесчаники; 4 – позднекембрийско-раннеордовикские отложения алькесвожской толщи: алевролиты, песчаники, гравелиты с линзами конгломератов; 5 – кембрийские метаморфизованные коры выветривания: сланцы; 6 – позднерифейско-вендские вулканогенные породы саблегорской свиты: риолиты, туфы и лавобрекчи кислого состава; 7 – манарагский комплекс: позднерифейско-вендские метадолериты, метагаббро; 8 – малдинский комплекс: вендские риолиты, риолитовые порфиры; 9 – границы стратиграфических подразделений (а), разрывные нарушения: установленные (b), предполагаемые (c); 10 – место отбора пробы

Петрографический и минералогический состав слагающих алькесвожскую толщу горных пород подробно охарактеризован Л.И. Ефановой (2001), обобщившей результаты поисково-разведочных работ. Проведенное нами U/Pb-датирование детритовых цирконов из метапесчаников алькесвожской толщи позволило установить, что они сформировались не ранее, чем в позднекембрий-раннем ордовике (Никулова, Хубанов, 2022). В составе алькесвожских метапесчаников преобладают продукты разрушения магматических комплексов различных стадий формирования тиманид-протоуралид. Это

могли быть близкие по времени образования кислые и основные вулканиты саблегорской свиты, ассоциирующие с ними гранитоиды и интрузивные образования.

Различия в величине Th/U и Zr/Hf отношений в детритовых цирконах отражают различия в субстрате материнских по отношению к ним пород и используются для установления источников обломочного материала метаморфических и осадочных комплексов (Вотяков и др., 2011; Каулина, 2010; Романюк и др., 2018; Пыстин, Пыстина, 2018, 2019).

Объект и методы исследования

Проба среднезернистого розовато-серого слюдистого метапесчаника алькесвожской толщи (обр. АЛ 4) отобрана в коренном выходе ($65^{\circ}23'66''$ с.ш., $60^{\circ}26'67''$ в.д.) на восточном склоне хр. Малдынырд (рис. 1). Морфологические особенности и химический состав цирконов изучены в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA3 LMN с энерго-дисперсионной приставкой X-MAX 50 mm Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 180 нм, 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 «Microspec». Для получения катодоллюминесцентного изображения цирконов был использован СЭМ ThermoFischer Scientific Axia ChemiSEM с выдвигаемым детектор катодоллюминесценции RGB с диапазоном обнаружения длин волн: 350–850 нм.

Определение Th/U отношения в цирконах выполнено методом лазерной абляции на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), соединенном с приставкой для лазерного прибора UP-213 с длиной волны излучения 213 нм (New Wave Research) в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ. Диаметр лазерного пучка составлял 30 мкм при плотности потока энергии около $4\text{--}4.5$ Дж/см². В качестве внешнего стандарта использовался эталонный циркон 91500 с Th/U = 0.344 (Wiedenbeck et al., 1995). Расчет Th/U проводился по отношению значений масс-спектрометрических сигналов (cps) изотопных масс ²³²Th и ²³⁸U. При проведении измерений выстраивалась следующая аналитическая последовательность: в начале и в конце – по два измерения эталонного циркона, используемого в качестве внешнего стандарта (91500), и по одному измерению двух контрольных эталонов (Plešovice и GJ-1), далее через каждые пять измерений неизвест-

ных цирконов проводилось по одному измерению всех трех эталонов. Обработка выполненных измерений проводилась в программах GLITTER (Griffin et al., 2008) и Gtail (Буянтуев. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615366, ГИН СО РАН).

Характеристика цирконов

В изученной выборке наибольшее количество зерен представляет интервал $479 \pm 7\text{--}654 \pm 7$ млн лет, в пределах которого выделяются позднекембрийско-раннеордовикская ($479 \pm 7\text{--}512 \pm 5$ млн лет), вендско-раннекембрийская ($523 \pm 5\text{--}555 \pm 6$ млн лет) и позднеперифейская ($584 \pm 6\text{--}654 \pm 7$ млн лет) популяции (рис. 2, таблица). Единичные зерна имеют датировки в интервалах $974 \pm 10\text{--}1289 \pm 55$ и $695 \pm 31\text{--}1347 \pm 34$ млн лет. Для трех зерен установлен палеопротерозойский возраст – 1924 ± 29 , 1951 ± 42 и 2379 ± 26 млн лет. Наиболее древний возраст имеет зерно с мезоархейской (3068 ± 24 млн лет) датировкой.

Среди детритовых цирконов позднеперифейско-раннеордовикского интервала около 40% составляют неокатаные и слабоокатаные дипирамидально-призматические кристаллы с гранями тетрагональной призмы и дипирамиды ($K_{удл}$ 1.5–2.0) зерна размером 150–220 мкм (рис. 2, зерна 67, 20 и 27). Около 25% приходится на тетрагональные и короткопризматические кристаллы с хорошо сохранившимися гранями и слегка сглаженными ребрами ($K_{удл}$ 1.4–1.8) размером 120–150 мкм (рис. 2, зерно 41 и 49). Неокатаные и слабоокатаные удлиненно-призматические кристаллы ($K_{удл}$ 2.1–2.7) размером 230–300 мкм составляют около 15% (рис. 2, зерно 101). Примерно 10% зерен размером 90–150 мкм хорошо окатаные, имеют округлую ($K_{удл}$ 1.0–1.3) и овальную ($K_{удл}$ 1.3–1.5) форму (рис. 2, зерно 52), иногда с реликтами ребер дипирамиды и граней призмы (рис. 2, зерно 97). Около 10% приходится на обломки зерен и кристаллов, образовавшиеся при дроблении породы. Совместное нахождение в метапесчанике нескольких морфологических разновидностей циркона предполагает их поступление из различных источников.

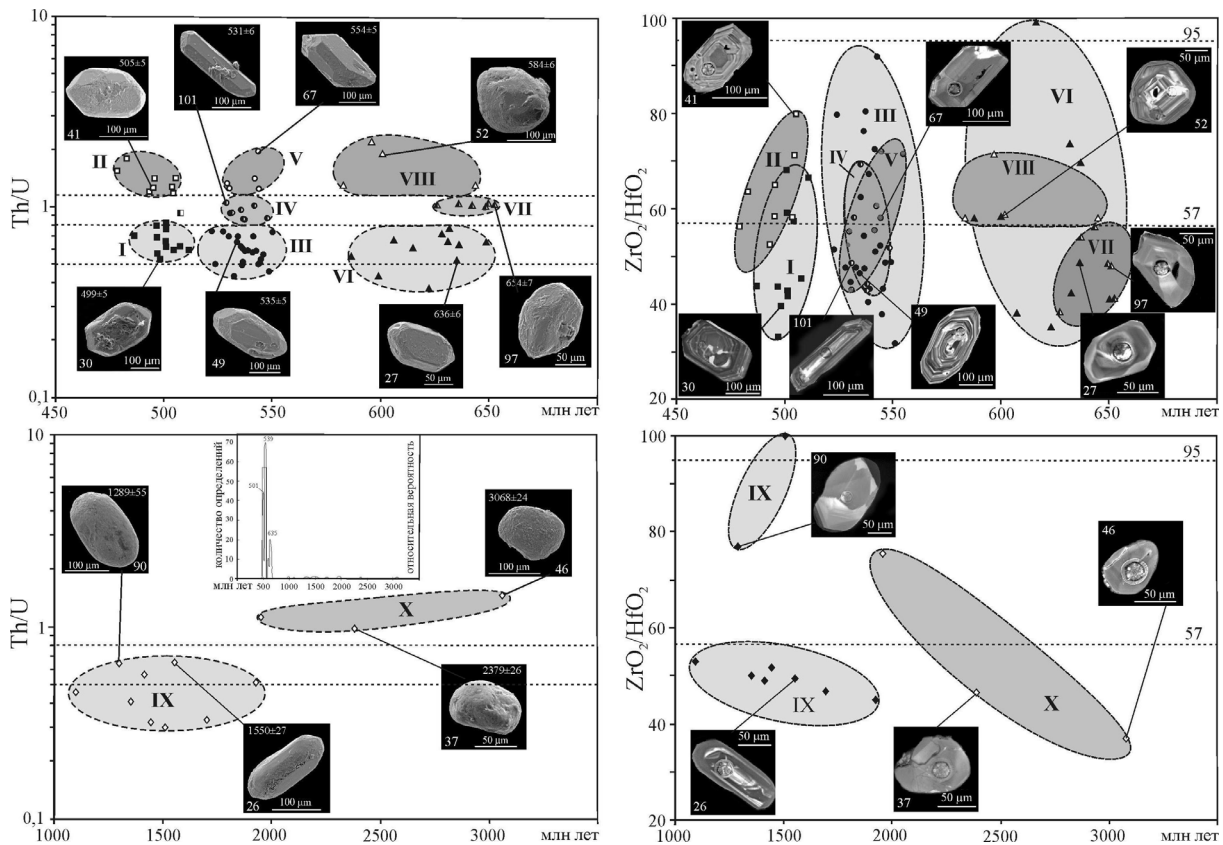


Рис. 2. Диаграммы зависимости величины Th/U и ZrO_2/HfO_2 в цирконах из песчаников алькесвожской толщи от возраста этих зерен

Отношения Th/U в изученных зернах циркона варьируют в широких пределах – от 0.29 до 2.17, а на диаграмме зависимости величины Th/U от их возраста фигуративные точки всех трех выделенных популяций позднерифейско-раннеордовикского возраста образуют поля, соответствующие различным по происхождению цирконам (рис. 2). На диаграмме фотографии морфологических типов цирконов. Цирконы из различных групп имеют близкий состав и содержат (мас. %) ZrO_2 62.06–66.17, SiO_2 32.59–36.21, HfO_2 0.64–1.92 (табл.).

Полученные значения отношения Th/U присущи широкому спектру горных пород магматического и метаморфического происхождения. Широкий разброс значений отношения Th/U в изученных цирконах отражает поликомпонентный состав источников обломочного материала. Зерна циркона со значениями $Th/U < 0.5$ характерны для метаморфических пород низких степеней метаморфизма (Kirkland et al., 2015), а $Th/U > 1.5$ может свидетельствовать о происхождении зерен циркона из магматических или высокометаморфи-

зованных пород (Kaczmarek et al., 2008; Linnemann et al., 2011; Wanless et al., 2011).

Большинство фигуративных точек цирконов позднекембрийско-раннеордовикской и вендско-раннекембрийской популяций расположены в интервале со значениями $0.5 < Th/U < 0.8$, типичными для кислых магматических пород. Примерно у трети позднерифейских цирконов этот показатель Th/U близок у 1.0. Такие значения отношения Th/U известны в расположенных в нескольких километрах к востоку и юго-востоку гранитах Николайшорского и Лапчавожского массивов (Пыстина, Пыстин, 2018). Высокие значения Th/U у неокатанных кристаллов позднерифейско-раннеордовикского возраста могут указывать на происхождение цирконов из магматических пород основного состава, которыми могли быть поздневендско-раннекембрийские основные интрузии второй фазы сальнерско-маньхамбовского комплекса (Соболева, 2004, 2020). Сходный характер распределения значений отношения Th/U имеют фигуративные точки цирконов с древними датировками (рис. 2, табл.).

Таблица. Обобщенные данные по значениям отношений Th/U и ZrO_2/HfO_2 для различных возрастных интервалов детритовых цирконов алькесвожской толщи

Возраст	Группа	Si	Zr	Hf	Th/U	Zr/Hf
479±7–512±5	I	<u>34.0–35.86</u> 34.81	<u>62.48–65.43</u> 64.18	<u>0.95–1.93</u> 1.37	<u>0.53–0.82</u> 0.66	<u>33–69</u> 49
	II	<u>34.19–35.59</u> 34.75	<u>63.05–65.2</u> 64.22	<u>0.81–1.21</u> 1.03	<u>0.93–1.79</u> 1.38	<u>52–80</u> 63
523±5–555±6	III	<u>33.24–35.97</u> 34.52	<u>62.06–66.15</u> 64.33	<u>0.69–1.94</u> 1.24	<u>0.44–0.75</u> 0.60	<u>32–92</u> 55
	IV	<u>33.08–36.21</u> 34.14	<u>63.18–65.38</u> 64.49	<u>0.92–1.52</u> 1.26	<u>0.84–0.96</u> 0.89	<u>43–70</u> 53
	V	<u>32.59–35.72</u> 34.35	<u>61.77–65.87</u> 64.06	<u>0.88–1.45</u> 1.12	<u>1.03–1.97</u> 1.36	<u>43–72</u> 59
584±6–654±7	VI	<u>33.12–36.11</u> 34.60	<u>62.88–66.17</u> 64.25	<u>0.65–1.79</u> 1.25	<u>0.37–0.76</u> 0.60	<u>35–99</u> 56
	VII	<u>35.60–36.14</u> 35.80	<u>62.81–64.39</u> 63.56	<u>0.89–1.11</u> 1.02	<u>0.99–1.28</u> 0.89	<u>58–71</u> 63
	VIII	<u>33.17–35.54</u> 34.33	<u>63.72–64.75</u> 64.21	<u>1.11–1.69</u> 1.30	<u>1.28–2.17</u> 1.36	<u>38–57</u> 50
1091±36±3067±24	IX	<u>33.44–35.72</u> 34.53	<u>63.68–65.08</u> 64.07	<u>0.64–1.43</u> 1.18	<u>0.29–0.64</u> 0.46	<u>45–100</u> 58
	X	<u>33.73–35.29</u> 34.77	<u>63.72–64.68</u> 64.33	<u>0.86–1.75</u> 1.33	<u>0.94–1.41</u> 1.14	<u>36–75</u> 53

Присутствие в составе этой популяции зерен с относительно хорошо сохранными кристаллографическими формами объясняется тем, что в алькесвожском метапесчанике они входили в состав обломков пород и были извлечены из них при дроблении пробы. Высокие значения отношения Th/U могут свидетельствовать о присутствии в алькесвожском метапесчанике продуктов разрушения древних высокометаморфизованных образований няртинского комплекса (Пыстин, Пыстина, 2019).

Важной характеристикой, отражающей состав исходных магматических пород, считается отношение ZrO_2/HfO_2 , значения которого, превышающие 95, характерны для мафических, 57–95 – коровых пород, отношение ZrO_2/HfO_2 в гранитах может составлять 35–45 (Ляхович, 2000). Для большинства исследованных зерен циркона характерно умеренное или повышенное содержание Hf и отношения ZrO_2/HfO_2 , типичные для цирконов из кислых магматических и слабо метаморфизованных осадочных пород (рис. 2, табл.).

Почти все цирконы с донеопротерозойскими датировками представлены хорошо окатанными изометричными или овальными зернами (рис. 2). В CL-изображении для них

характерна неравномерная окраска в различных оттенках серого цвета, в которой сочетаются участки с прослеживающейся зональностью и пятнисто окрашенные незональные участки. Такой характер CL-изображения считается результатом метаморфической переработки (Corfu et al., 2003).

В возрастной популяции 584±6 – 654±7 млн лет, наиболее вероятным источником обломочного материала для которой были вулканиты нижней подсвиты саблегорской свиты и прорывающие их тела базитов манарагского (βRF_3-V) комплекса, цирконы представлены короткопризматическими, в том числе с развитыми дипирамидами, субидиоморфными кристаллами (рис. 2).

Большинство неокатанных призматических цирконов с хорошо проявленной CL-зональностью из вендско-раннекембрийской популяции (555±6–523±5 млн лет) соответствует времени образования гранитоидов сальнерско-маньхамбовского (γV_3-E_1) комплекса Малдинского и Народинского массивов (Соболева, 2004, 2020). Отмеченные у нескольких неокатанных кристаллов, попавших на диаграмме в поле V, значения $Th/U > 1$ могут указывать на происхождение

из основных интрузивных пород второй фазы внедрения сальнерско-маньхамбовского комплекса (Удоратина и др., 2006).

Риолиты верхней подсвиты саблегорской свиты могли быть источником цирконов популяции 512 ± 5 – 479 ± 7 млн лет, фигуративные точки которых на диаграмме (рис. 2) расположены в поле I. Они представлены неокатанными и слабоокатанными призматическими, часто с гранями дипирамиды, кристаллами с четкой CL-зональностью.

Заключение

Результаты проведенного изучения морфологических особенностей, внутреннего строения и состава детритных цирконов из песчаников алькесвожской толщи позволяют предположить, что большинство цирконов являются первично-магматическими зернами первого цикла выветривания. Их источником являлись близкие по времени образования подстилающие или расположенные поблизости кислые и основные вулканиты магматических комплексов различных стадий формирования тиманид-протоуралид и ассоциирующие с ними гранитоиды и интрузивные образования. Незначительная часть хорошо окатанных цирконов с дорифейскими датировками может происходить из рифейских метасадочных образований, в свою очередь унаследовавших его из пород древнего фундамента Восточно-Европейской платформы.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600012-2 и 122040600013-9) и ГИН СО РАН (№ АААА-А21-121011390002-2).

Библиографический список

Вотьяков С.Л., Щапова Ю.В., Хиллер В.В. Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микрондового датирования. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2011. 336 с.

Ефанова Л.И. Алькесвожская толща на севере Урала. Стратиграфия, литология, металлоносность: Автореф. дис. канд. геол. – мин. наук. Сыктывкар: Геопринт, 2001. 24 с.

Каулина Т.В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты. Изд-во Кольского научного центра РАН. 2010. 144 с.

Ляхович В.В. «Цирконовый метод»: достоинства и недостатки // Вестник Воронежского университета. Сер. «Геология». 2000. Вып. 9. С. 124–127.

Никулова Н.Ю., Хубанов В.Б. Первые U/Pb-данные о возрасте детритовых цирконов из песчаников золотоносной позднекембрийско-раннеордовикской алькесвожской толщи (Приполярный Урал). Вестник Геонаук, 2022. № 5. С. 3–10. DOI 10.19110/geol.2022.5.1

Пыстина Ю.И., Пыстин А.М. Распределение U и Th в цирконах метаморфических пород и гранитоидов севера Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана. XII Межрегиональная научно-практическая конференция Уфа 21–23 мая 2018 г. Сборник статей. С. 294–299.

Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Докембрий Приполярного Урала: хроностратиграфический аспект // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 2. С. 34–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.17076/geo904>

Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. Палеотектонические и палеогеографические обстановки накопления нижнерифейской айской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) на основе изучения детритовых цирконов методом «TeggraneChrono®» // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 1. С. 1–37. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0335.

Соболева А.А. Новые данные о возрасте Народинского массива (Приполярный Урал) // Вестник Института геологии. Сыктывкар. 2004. № 4. С. 2.

Соболева А.А. Результаты U-Pb (SIMS)-датирования циркона из гранитов и риолитов хр. Малдындырд, Приполярный Урал // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2020): Материалы российской конференции с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. С. 63–65.

Удоратина О.В., Соболева А.А., Кузнецов Н.А., Родионов Н.В., Пресняков С.Л. Возраст гранитоидов Маньхамбовского и Ильяизского массивов (Северный Урал): U-Pb данные // ДАН, 2006. Т. 406. № 6. С. 810–815.

Corfu F., Hanchar J.M., Hoskin P.-W.O., Kinny P. Atlas of zircon textures // Reviews in Mineralogy and Geochemistry 53 (1). 2003 P. 469–500. <https://doi.org/10.2113/0530469>.

Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. In: Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences. Ed. P.J. Sylvester. Mineralogical association of Canada short course series. 2008. V. 40. P. 204–207.

Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., van Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // *Geo-standards Newsletter*. 1995. 19. P. 1–23.

Morphology, Structure, and Composition of Zircon from Metasandstones of the Alkesvozhskaya Sequence (Polar Urals)

N.Yu. Nikulova^a, O.V. Grakova^a, V.B. Hubanov^b

^aInstitute of Geology, FIC Komi SC, UB RAS
54 Pervomayskaya Str., Syktyvkar 167982, Russia

^bGeological Institute of the SB RAS
6a Sakhyanova Str., Ulan-Ude 670047, Russia

A description of the features of morphology, internal structure, and analysis results of Th/U and Zr/Hf ratios in zircons from sandstones of the gold-bearing Alkesvozhskaya sequence, located at the basement of the Paleozoic section in the Subpolar Urals, is presented. It has been established that most of the studied zircons are primary igneous grains of the first weathering cycle. The detrital zircon source was probably in formations close in age, underlying or located nearby felsic and basic volcanics of igneous complexes of different stages of formation of Timanides-protouralides, associated granitoids, and intrusive mafic formations. Small part of well-rounded zircon Pre-Riphean grains can be redeposited from the Riphean metasedimentary formations, which, in turn, inherited it from the rocks of the ancient basement of the East European Platform.

Key words: zircon, metasedimentary rocks, Alkesvozhskaya stratum, Circumpolar Urals

References

- Votyakov S.L., Shchapova Ju.V., Hiller V.V.* 2011. Kristallokhimiya i fizika radiatsionno-termicheskikh effektov v ryade U-Th-soderzhashchikh mineralov kak osnova dlya ikh khimicheskogo mikrozondovogo 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]. *Ekaterynburg: Institut geologii i geokhimii UrO RAN*, p. 336. (in Russian)
- Efanova L.I.* 2001. Alkesvozhskaya tolshcha na severe Urala. Stratigrafiya, litologiya, metallonost [Alkesvozhskaya formation in the north of the Urals. Stratigraphy, lithology, metalliferousness]. *Dis. kand. geol.-min. nauk. Syktyvkar: Geoprint*. (in Russian)
- Kaulina T.V.* 2010. Obrazovanie i preobrazovanie tsirkona v polimetamorficheskikh kompleksakh. Apatity [Formation and transformation of zircon in polymetamorphic complexes. Apatity]. *Izd. Kolskogo nauch. tsentra RAN*, p. 144. (in Russian)
- Lyakhovich V.V.* 2000. «Tsirkonovy metod»: dostoinstva i nedostatki ["Zircon method": advantages and disadvantages]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Ser. Geologiya*. 9:124–127. (in Russian)
- Nikulova N.Ju., Hubanov V.B.* 2022. Pervye U/Pb-dannye o vozraste detritovykh tsirkonov iz peschanirov zolotonosnoy pozdněkembriysko-ranneordovikskoy alkesvozhskoy tolshchi (Pri-polyarnyy Ural) [The first U/Pb data on the age of detritus zircons from sandstones of the gold-bearing Late Cambrian-Early Ordovician Alkesvozhskaya formation (Sub-Polar Urals)]. *Vestnik Geonauk*. 5:3–10. (in Russian) doi: 10.19110/geol.2022.5.1
- Pystina Ju.I., Pystin A.M.* 2018. Raspredelenie U i Th v tsirkonakh metamorficheskikh porod i granitoidov severa Urala [Distribution of U and Th in zircons of metamorphic rocks and granitoids of the northern Urals]. *In: Geologiya, poleznye iskopayemye i problem geokologii Bashkortostana. Ufa 21–23 maya 2018 g.*, pp: 294–299. (in Russian)
- Pystin A.M., Pystina Ju.I.* 2019. Dokembriy Pri-polyarnogo Urala: khronostratigraficheskiy aspekt [Precambrian of the Circumpolar Urals: chronostratigraphic aspect]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2:34–52. (in Russian) doi: 10.17076/geo904
- Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N.* 2018. Paleotektonicheskie i paleogeograficheskie obstanovki nakopleniya nizhnerifeyskoy ayskoy svity Bashkirs-kogo podnyatiya (Juzhnyy Ural) na osnove izucheniya detritovykh tsirkonov metodom “Terran-eChrono®” [Paleotectonic and paleogeographic set-

tings of the Lower Riphean Ayskaya Formation of the Bashkir Uplift (Southern Urals) based on the study of detrital zircons using the TerraneChron® method]. *Geodinamika i tektonofizika*, 1:1–37. (in Russian) doi: 10.5800/GT-2018-9-1-0335.

Soboleva A.A. 2004. Novye dannye o vozraste Narodinskogo massiva (Pripolyarnyy Ural) [New data on the age of the Narodinskiy massif (Circumpolar Urals)]. *Vestnik Instituta geologii. Syktyvkar.* 4:2–4. (in Russian)

Soboleva A.A. 2020. Rezultaty U-Pb (SIMS)-datirovaniya tsirkona iz granitov i riolitov khr. Maldynyrd, Pripoljarnyy Ural [Results of U-Pb (SHRIMP) dating of zircon from granites and rhyolites of the Maldynyrd Ridge, Circumpolar Urals]. *In: Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimentalnoy i prikladnoy mineralogii (Jushkinskie chteniya — 2020)*. Syktyvkar. IG Komi NC UrO RAN, pp. 63–65. (in Russian)

Udoratina O.V., Soboleva A.A., Kuzenkov N.A., Rodionov N.V., Presnyakov S.L. 2006. Voзраст gran-

itoidov Mankhambovskogo i Ilyaizskogo massivov (Severnyy Ural): U-Pb dannye [Age of granitoids of the Mankhambovsky and Ilyaizsky massifs (Northern Urals): U–Pb data]. *DAN*, 406(6):810–815. doi: 10.1134/s1028334x06020309

Corfu F., Hancher J.M., Hoskin P.-W.O., Kinny P. 2003. Atlas of zircon textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53(1):469–500. doi: 10.2113/0530469

Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. 2008. In: *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences*. Ed. P.J. Sylvester. Mineralogical association of Canada short course series. 40:204–207.

Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., van Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*. 19:1–23.