

УДК 550.93+551.7+552.5

## СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ РАЗРЕЗОВ МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb-ДАТИРОВАНИЯ ОБЛОМОЧНОГО ЦИРКОНА

© 2020 г. А. В. Чистякова<sup>1</sup>, Р. В. Веселовский<sup>1,2,\*</sup>, Д. В. Семёнова<sup>3</sup>,  
В. П. Ковач<sup>4</sup>, Е. В. Адамская<sup>4</sup>, А. М. Фетисова<sup>1,2</sup>

Представлено академиком РАН Д.Ю. Пушаровским 20.02.2020 г.

Поступило 21.02.2020 г.

После доработки 12.03.2020 г.

Принято к публикации 13.03.2020 г.

Приводятся результаты U–Th–Pb–(LA–ICP–MS)-изотопного датирования обломочного циркона из терригенных пермо-триасовых отложений Московской синеклизы. Распределения возрастов зерен циркона, полученные по пограничному интервалу опорного разреза Жуков овраг (Владимирская область), отражают существенное изменение палеогеографической обстановки на рубеже перми и триаса, что определяет принципиальную возможность использования метода U–Th–Pb-датирования обломочного циркона в качестве дополнительного и независимого инструмента для региональной стратиграфической корреляции. Применимость метода иллюстрируется на примере отложений разреза Недуброво (Вологодская область), стратиграфическое положение которых долгое время оставалось спорным: возрастной спектр зерен обломочного циркона из недубровской пачки свидетельствует о ее раннетриасовом возрасте.

*Ключевые слова:* обломочный (детритовый) циркон, U–Pb-геохронология, пермь, триас, Московская синеклиза, Жуков овраг, Недуброво, стратиграфическая корреляция

DOI: 10.31857/S2686739720050060

Позднепермско-раннетриасовое время для Восточно-Европейской платформы ознаменовалось господством континентальных обстановок осадконакопления. Здесь, в пределах входящих в состав Русской плиты осадочных бассейнов, в условиях мелких пересыхающих водоемов и речных долин был сформирован мощный комплекс красноцветных отложений. Стратиграфическая корреляция последних нередко существенно

осложнена в связи с фациальной изменчивостью, отсутствием региональных литологических маркеров и, в ряде случаев, неоднозначной палеонтологической характеристикой отдельно взятых разрезов, в том числе ввиду отсутствия остатков наземных позвоночных, имеющих ключевое значение для расчленения континентальных пермо-триасовых комплексов. Определение стратиграфического положения спорных разрезов возможно методами магнитной стратиграфии, однако и их использование зачастую ограничено в связи с проблемой оценки продолжительности перерывов в осадконакоплении. Очевидно, что для решения актуальных задач внутри- и межбассейновой корреляции терригенных пермо-триасовых толщ Русской плиты необходимо привлечь дополнительные независимые методы, одним из которых является метод U–Th–Pb-датирования обломочного (детритового) циркона. Предпосылки для использования этого метода приводятся в работе [1], в которой, на основании данных о распределении аксессуарных минералов тяжелой

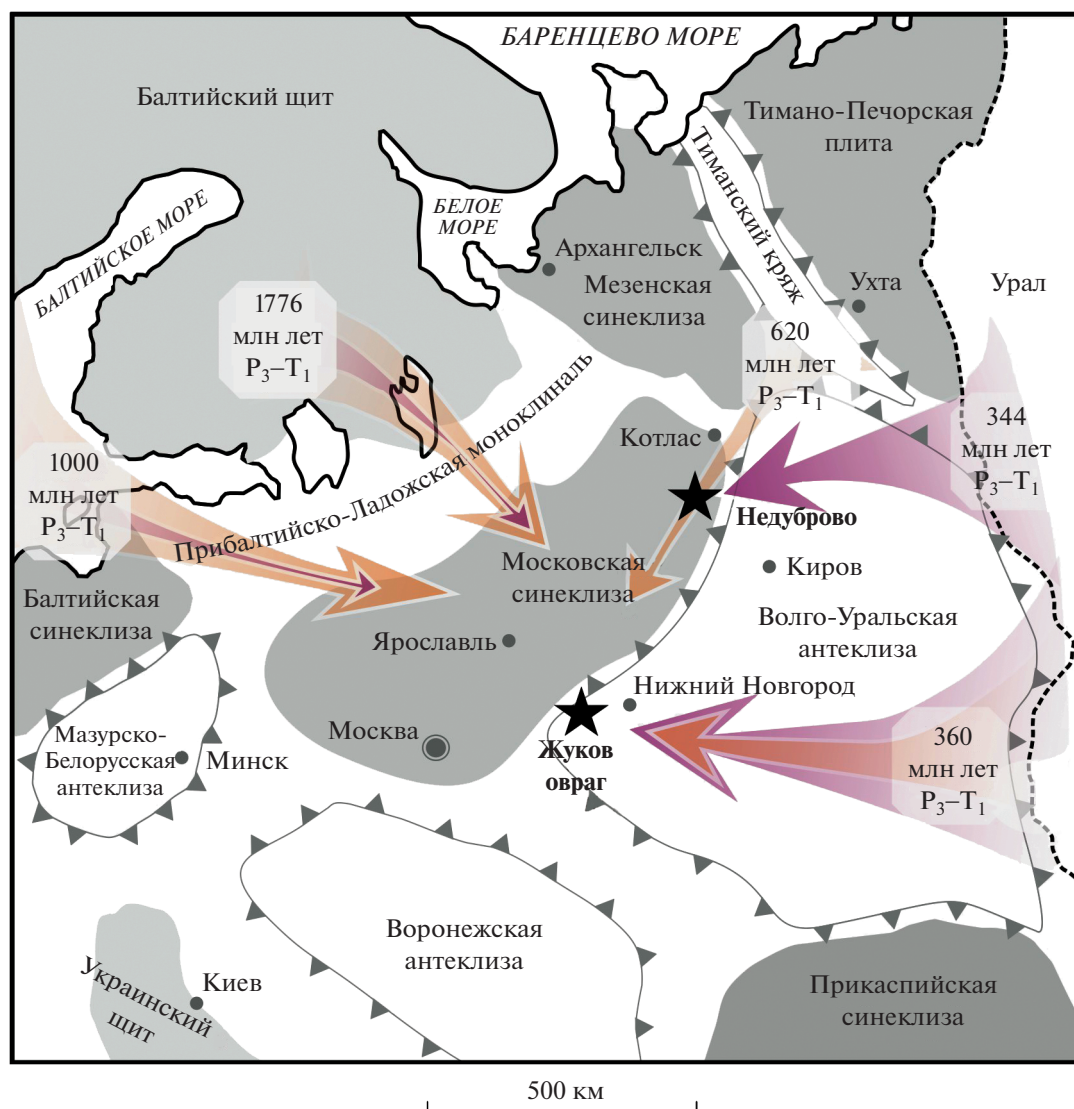
<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: roman.veselovskiy@ya.ru



**Рис. 1.** Схема тектонического районирования Восточно-Европейской платформы (по [2] с упрощениями) с расположением изученных разрезов (звездочки). Цветные стрелки указывают установленные в работе предполагаемые направления сноса обломочного материала, соответствующего выделяемым возрастным пикам (подписи в белых многоугольниках в основании стрелок): ширина стрелок качественно отражает интенсивность сноса в соответствующее время (оранжевый – поздняя пермь, фиолетовый – ранний триас).

фракции, авторами показано ярко выраженное усиление вклада Уральской питающей провинции при формировании нижнетриасовых отложений Московской синеклизы. О существенных изменениях в поступлении обломочного материала в Московский бассейн также свидетельствуют данные о величине магнитной восприимчивости, резкое возрастание которой в нижнетриасовых породах, по сравнению с верхнепермскими, наблюдается во многих разрезах [3]. Целью данного исследования является оценка возможностей использования метода U–Th–Pb-датирования обломочного циркона в качестве инструмента страти-

графической корреляции на примере опорного пограничного пермо-триасового разреза Жуков овраг (Владимирская область, 56.188° с.ш., 42.649° в.д.) [4] и разреза Недуброво (Вологодская область, 60.04521° с.ш., 45.74047° в.д.) (рис. 1), стратиграфическое положение которого спорно [5, 6].

Отбор проб на U–Th–Pb-датирование зерен циркона из сводного разреза Жуков овраг производился с целью проверки гипотезы о существенном перераспределении роли источников сноса при формировании пермских и триасовых отложений и был выполнен из слоев мелко-среднезернистых слабосцементированных песчаников:

проба № 11 представляет терминальную пермь (слой № 27 обнажения 1023 согласно [4]), а проба № 56 – самые низы триасового интервала (слой № 7 обнажения 1029 по [4]). Из разреза Недуброво, с целью определения его стратиграфического положения, была отобрана проба “Н-3” из пачки среднезернистых коричневых песчаников в нижней части разреза (слой № 4 согласно [8]). Вес каждой пробы составлял 2–3 кг.

Выделение и U–Th–Pb-датирование обломочного циркона из разреза Жуков овраг реализовывалось на базе Центра многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (Новосибирск); выделение циркона из пород недубровской пачки проводилось в ИГЕМ РАН (Москва), а датирование – в ИГГД РАН (Санкт-Петербург). Исследовался циркон размерной фракции 50–200 мкм. Данные о морфологии и внутреннем строении зерен получены по катодолюминесцентным изображениям и снимкам в отраженных электронах. В обеих лабораториях изотопное U–Th–Pb-датирование выполнено методом LA–ICP–MS с использованием масс-спектрометров Element XR, оснащенных системой лазерной абляции NWR-213 с камерой TwoVolumeTwo. В ИГГД РАН диаметр пучка лазера составлял 25 мкм, длительность измерения – 120 с (60 с – холостой по газу, 60 с – абляция). Калибровка проводилась по стандартному циркону GJ-1 [10]. Для контроля качества данных использованы стандартные цирконы Harvard 91500 и Plešovice. В ходе исследований для циркона Harvard 91500 получены оценки возраста по отношениям  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , соответствующие  $1068 \pm \pm 4$  и  $1067 \pm 4$  млн лет ( $2\sigma$ ), а для Plešovice  $338 \pm \pm 1$  млн лет ( $2\sigma$ ) по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ . В ИГМ СО РАН диаметр лазерного луча составлял 30 мкм при длительности измерения 70 с (40 с – холостой по газу, 30 с – абляция). Для стандартного циркона Harvard 91500 получены конкордантные оценки возраста  $1062 \pm 7$  млн лет ( $2\sigma$ ) и  $1060 \pm 9$  млн лет ( $2\sigma$ ), а для Plešovice –  $337 \pm 3$  млн лет ( $2\sigma$ ). Данные для стандартов циркона обеих лабораторий совпадают с оценками возраста, полученными методом ID-TIMS [11, 13]. Изотопные отношения рассчитаны в программе GLITTER© [12], а поправки на обыкновенный Pb выполнены в программе Com-PbCorr [7]. При построении гистограмм и кривых плотности вероятности возрастов [9] во внимание принимались оценки возраста с дискордантностью  $D \leq 10\%$ . Для зерен циркона, имеющих возраст более 1 млрд лет, использовалось значение, рассчитанное по изотопному отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , а для более молодых – рассчитанное по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ . Статистически обоснованными считались пики, сформированные тремя и более оценками изотопного возраста циркона. Погрешно-

сти всех единичных анализов учитывались на уровне  $\pm 1\sigma$ .

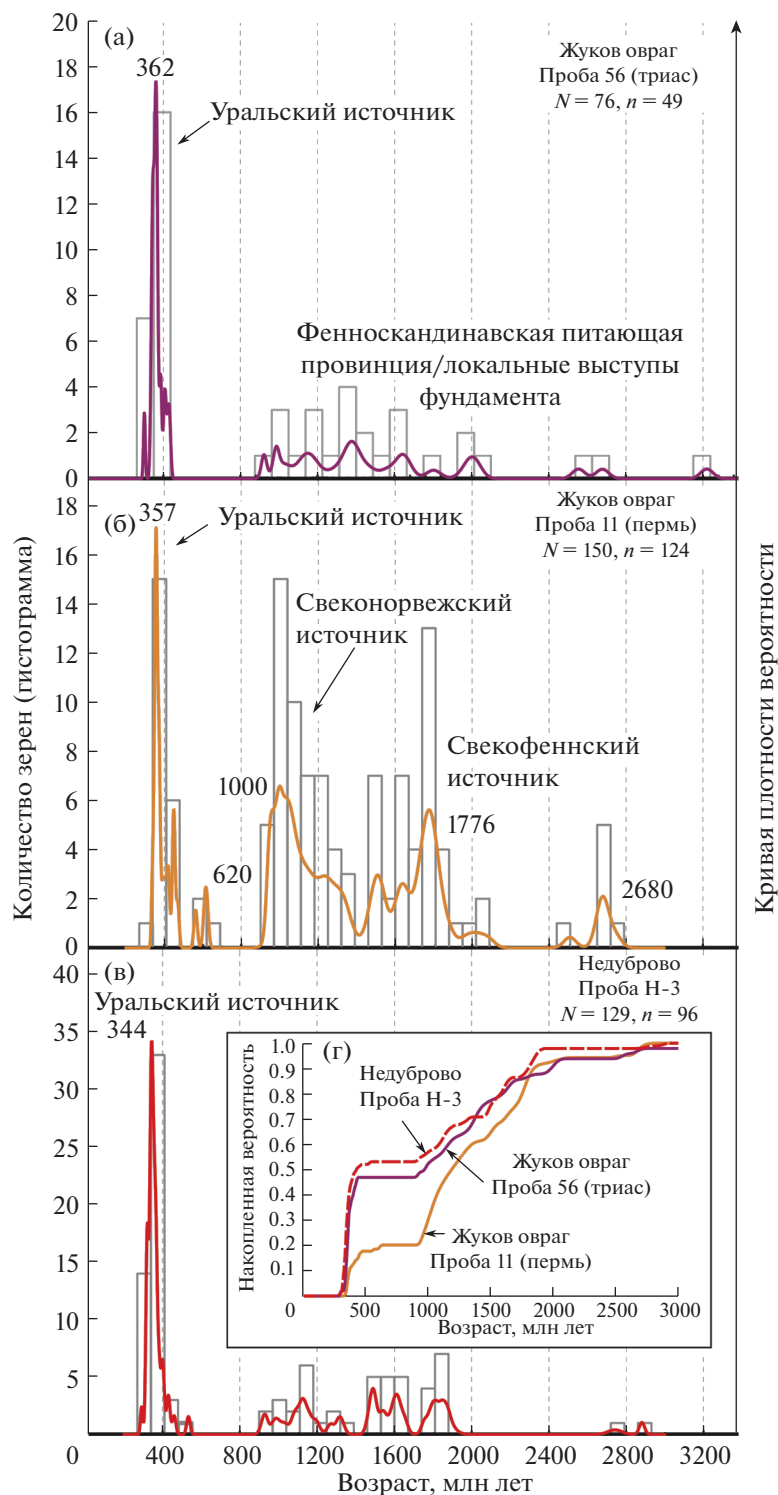
Циркон из *нижнетриасового* интервала разреза Жуков овраг (проба № 56) имеет широкий диапазон возрастов (рис. 2, а) – от 336 до 3219 млн лет, при этом значимый пик формирует только палеозойская генерация (39%) с максимумом 362 млн лет. Оценки возраста остальных зерен образуют низкое плато в интервале 922–2023 млн лет, а зерна архейского возраста единичны (5%).

Обломочный циркон *верхнепермской* части разреза Жуков овраг (проба № 11) характеризуется оценками возраста в широком интервале от 338 до 2747 млн лет (рис. 2, б). Зерна архейского возраста (6%) сгруппированы на участке с максимумом 2680 млн лет. Основной объем выборки (79%) составляют датировки в диапазоне 943–2080 млн лет с отчетливыми пиками 1776 и 1000 млн лет. Около 3% циркона – зерна вендского возраста; им соответствует небольшой пик 620 млн лет. Наконец, палеозойская генерация циркона (12%) образует отчетливо выраженный максимум 357 млн лет.

Распределение значений U–Pb-возрастов зерен циркона из пробы “Н-3” *разреза Недуброво* (рис. 2в) имеет один ярко выраженный пик с максимумом 344 млн лет (52%); остальные оценки возраста практически равномерно располагаются в интервале 850–1850 млн лет.

Распределение значений возрастов датированного циркона позволяет сделать предположение относительно его источников (широкие стрелки на рис. 1). Для всех изученных проб источником циркона девонского и каменноугольного возраста, наиболее вероятно, являлись магматические комплексы Уральского орогена. Представительные возрастные пики пробы № 11 (верхняя пермь) связываются нами с Тимано-Печорским (620 млн лет), Свеко норвежским (1000 млн лет) и Свекофенским (1776 млн лет) выступами кристаллических пород, а генерация с максимумом 2680 млн лет – с комплексами Карельско-Кольского региона. Вместе с тем источниками протерозойских и архейских зерен могут являться и иные локальные выступы фундамента Восточно-Европейской платформы. Следует подчеркнуть, что зерна с аналогичными оценками возраста также присутствуют в пробах № 56 (ранний триас) и “Н-3” разреза Недуброво, однако не образуют выраженных пиков.

Визуальное сходство кривой плотности вероятности значений возрастов циркона из пород разреза Недуброво с кривой для циркона из триасовой части разреза Жуков овраг подтверждается подобием их кумулятивных кривых (рис. 2г), а также результатом теста Колмогорова–Смирнова (K–S-тест) (табл. 1), используемого для статистической оценки степени различия распределений



**Рис. 2.** Гистограммы с распределением возрастов обломочного циркона для разрезов Жуков овраг (а, б) и Недуброво (в) с указанием оценок возраста наиболее значимых пиков и предполагаемых источников сноса.  $N$  – общее количество проанализированных зерен,  $n$  – количество зерен с дисконтантностью  $\leq 10\%$ . (г) – сравнение кумулятивных кривых для возрастных спектров циркона из изученных разрезов.

**Таблица 1.** Результаты теста Колмогорова—Смирнова (приведены результаты расчетов вероятности с учетом погрешностями возрастов)

Разрез	Проба	Жуков овраг		Недуброво
		56 (триас)	11 (пермь)	
Жуков овраг	56 (триас)		0.002	0.588
	11 (пермь)			0.000
Недуброво	Н-3			

значений возрастов обломочного циркона (если параметр  $p < 0.05$ , то две сравниваемые выборки статистически значимо различаются). Отметим, что одновременно К—S-тестом подтверждается статистически значимое различие значений возрастов зерен циркона пермской и триасовой проб разреза Жуков овраг.

Большинство зерен палеозойской генерации представлено субидiomорфными и, как правило, короткопризматическими кристаллами и их обломками. Соответственно подавляющее число докембрийских зерен — полуокатанные или окатанные обломки, часто с более сложной внутренней структурой. Однако в этой закономерности нередко исключения, и по этой причине сколько-нибудь надежная корреляция между морфологией зерен и значениями их изотопного возраста отсутствует, что особенно заметно для пробы “Н-3”, представленной зернами циркона относительно наиболее мелкой фракции. Во всех изученных пробах около 40% зерен обладает выраженной тонкой или грубой осцилляторной зональностью, характерной для циркона магматического генезиса.

Таким образом, на основании проведенной качественной и количественной интерпретации распределений значений U—Pb-возрастов обломочного циркона из верхнепермского и нижнетриасового интервалов опорного разреза Жуков овраг в сравнении со значениями возраста зерен циркона из разреза Недуброво, можно сделать вывод о раннетриасовом возрасте недубровской пачки. Важным результатом данной работы является подтверждение принципиального изменения условий поступления терригенного материала в Московский бассейн на границе палеозоя и мезозоя: раннетриасовое время характеризуется несомненным доминированием Уральской питающей провинции на фоне значительного сокращения сноса со стороны Фенноскандии, что определяет широкие перспективы для применения метода U—Th—Pb-датирования обломочного циркона при решении задач стратиграфической корреляции и расчленения пермо-триасовых разрезов Русской плиты.

**Дополнительные материалы** содержат исходные результаты U—Th—Pb-датирования, CL-изображения исследованных зерен циркона с отмеченными точками датирования и доступны по адресу в сети Интернет: <http://paleomag-ifz.ru/files/Supplementary-Chistyakova-et-al-2020.zip>

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ (18–05–00593), а также НИР в рамках государственного задания ИФЗ РАН и геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арефьев М.П., Голубев В.К., Кулешов В.Н. и др.* // Бюлл. МОИП. Отдел геологический. 2016. Т. 91. № 1. С. 24–49.
2. *Бискэ Ю.С.* Геология России. СПб: 2019. 228 с.
3. *Буров Б.В., Нургалеев Д.К., Хеллер Ф.* // Пермские отложения Республики Татарстан. Казань: Экоцентр, 1996. С. 93–99.
4. *Голубев В.К., Миних А.В., Балабанов Ю.П., Кухтин Д.А., Сенников А.Г., Миних М.Г.* // Бюллетень Региональной межведомственной стратиграфической комиссии по Центру и Югу Русской платформы. 2012. Вып. 5. С. 49–82.
5. *Лозовский В.Р., Балабанов Ю.П., Карасев Е.В., Новиков И.В., Пономаренко А.Г., Ярошенко О.П.* // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. 24 (4). С. 38–54.
6. *Фетисова А.М., Балабанов Ю.П., Веселовский Р.В., Мамонтов Д.А.* // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. № 4. С. 544–560.
7. *Anderson T.* // Chem. Geol. 2002. V. 192. P. 59–79.
8. *Arefiev et al.* Type and Reference Sections of the Permian-Triassic Continental Sequences of the East European Platform: Main Isotope, Magnetic, and Biotic Events. 2015. 104 p.
9. *Gehrels G.E.* // In: Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances. Chichester: Wiley/Blackwell. 2012. P. 47–62.
10. *Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A.* // Chem. Geol. 2004. V. 211. P. 47–69.
11. *Sláma J., Košler J., Condon D.J., et al.* // Chem. Geol. 2008. V. 249. P. 1–35.
12. *Van Acherbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L.* // Mineral. Assoc. Canada Short Course Ser. 2001. V. 29. P. 239–243.
13. *Wiedenbeck M.P.A., Corfu F., Griffin W.L., et al.* // Geo-standards and Geoanal. Res. 1995. V. 19. P. 1–23.

## STRATIGRAPHIC CORRELATION OF THE PERMIAN-TRIASSIC RED BEDS, THE MOSCOW BASIN, EAST EUROPEAN PLATFORM: FIRST DETRITAL ZIRCON U–Pb DATING RESULTS

A. V. Chistyakova<sup>a</sup>, R. V. Veselovskiy<sup>a,b,#</sup>, D. V. Semenova<sup>c</sup>, V. P. Kovach<sup>d</sup>,  
E. V. Adamskaya<sup>d</sup>, and A. M. Fetisova<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> *Lomonosov Moscow State University, Geological faculty, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>c</sup> *Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>d</sup> *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation*

<sup>#</sup> *E-mail: roman.veselovskiy@ya.ru*

Presented by academician D. Yu. Pushcharovsky February 20

The results of U–Th–Pb LA–ICP–MS dating of detrital zircon obtained from the Permian–Triassic (P–T) red beds of the Moscow Basin are presented. U–Th–Pb ages of detrital zircons had been obtained for two samples – Upper Permian and Lower Triassic, which were taken in the proximity to the P–T boundary in the Zhukov Ravine reference section, show their contrasting provenance. It means that U–Pb detrital zircon geochronology can be used as an additional independent tool for stratigraphic correlation of the Permian–Triassic red beds, at least within the Moscow Basin. This method was used for getting additional constraints on the age of the Nedubrovo member (Vologda region) with uncertain stratigraphic position: U–Pb age spectrum of detrital zircons persuasively suggests its Early Triassic age.

*Keywords:* detrital zircon, U–Pb geochronology, Permian–Triassic boundary, red beds, Moscow Basin, East European platform, Zhukov Ravine, Nedubrovo, stratigraphic correlation