

УДК 55(234.852) 551.82

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb-ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ СРЕДНЕРИФЕЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ ЗИГАЛЬГИНСКОЙ СВИТЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2017 г. Н. Б. Кузнецов<sup>1,2,3</sup>, Е. А. Белоусова<sup>4</sup>, Т. В. Романюк<sup>2,3,\*</sup>,  
член-корреспондент РАН К. Е. Дегтярев<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН А. В. Маслов<sup>5</sup>,  
В. М. Горожанин<sup>6</sup>, Е. Н. Горожанина<sup>6</sup>, Е. С. Пыжова<sup>7</sup>

Поступило 10.05.2016 г.

Представлены результаты U–Pb-датирования детритовых цирконов из песчаников зигальгинской свиты основания среднерифейской юрматинской серии Башкирского поднятия (запад Южного Урала). Проведено сравнение U–Pb-возрастов цирконов из песчаников базальных уровней ранне-го, среднего, верхнего рифея.

DOI: 10.7868/S0869565217240136

На западе Южного Урала в Башкирском поднятии (БП) между раннедокембрийскими породами тараташского комплекса [11] и верхневендской [6] или верхневендско-среднекембрийской [3] ашинской серии, залегает мощный (до 12–15 км) комплекс терригенных, карбонатных и реже вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород стратотипического разреза рифея, расчленённый на три серии (снизу вверх): бурзянскую, юрматинскую, каратаускую [5–7]. В настоящее время степень изученности указанных образований геологическими методами сопоставима с той, что характерна другим, наиболее известным осадочным последовательностям верхнего докембрия. В последние годы эти данные дополняют материалами изучения изотопных U–Pb-возрастов детритовых цирконов, позволяющими получить принципиально новую информацию о питающих

провинциях и тестировать палеотектонические реконструкции. В нашей работе представлены результаты U–Pb-датирования детритовых цирконов из песчаников зигальгинской свиты – базального подразделения юрматинской серии (тип среднего рифея) на северо-востоке БП.

Проба K13-019 (~1,5 кг) отобрана в верхнем уступе южного борта карьера Иркускан (54°54'52,63" с.ш., 58°50'31,53" в.д.) из светлых кварцевых песчаников. Из неё по методике [4] выделено ~300 зёрен циркона. Всего выполнено 80 анализов для 79 зёрен (методика в [13]). Для одного из крупных зёрен (№ 136), где на CL1 видны ядро и оболочка, сделано два анализа (№ 136C, № 136R) и получены одинаковые в пределах ошибки результаты  $2481 \pm 12$  ( $D = 2,6\%$ ) и  $2474 \pm 20$  ( $D = 3,7\%$ ) млн лет. Для 15 анализов дискордантность U–Pb-возрастов оказалась  $> 10\%$  (рис. 1). Эти данные в дальнейшем не использованы. Минимальный U–Pb-возраст получен для зерна № 113 –  $1697 \pm 18$  млн лет ( $D = 7\%$ ), максимальный – для зерна № 24 –  $3137 \pm 10$  млн лет ( $D = -2,5\%$ ).

Сравнение U–Pb-возрастов цирконов из песчаников трёх уровней типового разреза рифея демонстрирует последовательное уменьшение со временем доли раннепротерозойских зёрен (рис. 2). В песчаниках нижнего рифея они доминируют, причем преобладают возрасты  $> 2$  млрд лет [2, 8]. В песчаниках среднего рифея доля раннепротерозойских зёрен сопоставима с долей архейских зёрен, а более половины раннепротерозойских цирконов имеют возраст  $< 2$  млрд лет. В песчаниках верхнего рифея архейские цирконы преобладают [9, 10].

<sup>1</sup> Геологический институт Российской Академии наук, Москва

<sup>2</sup> Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. М.И. Губкина, Москва

<sup>3</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук, Москва

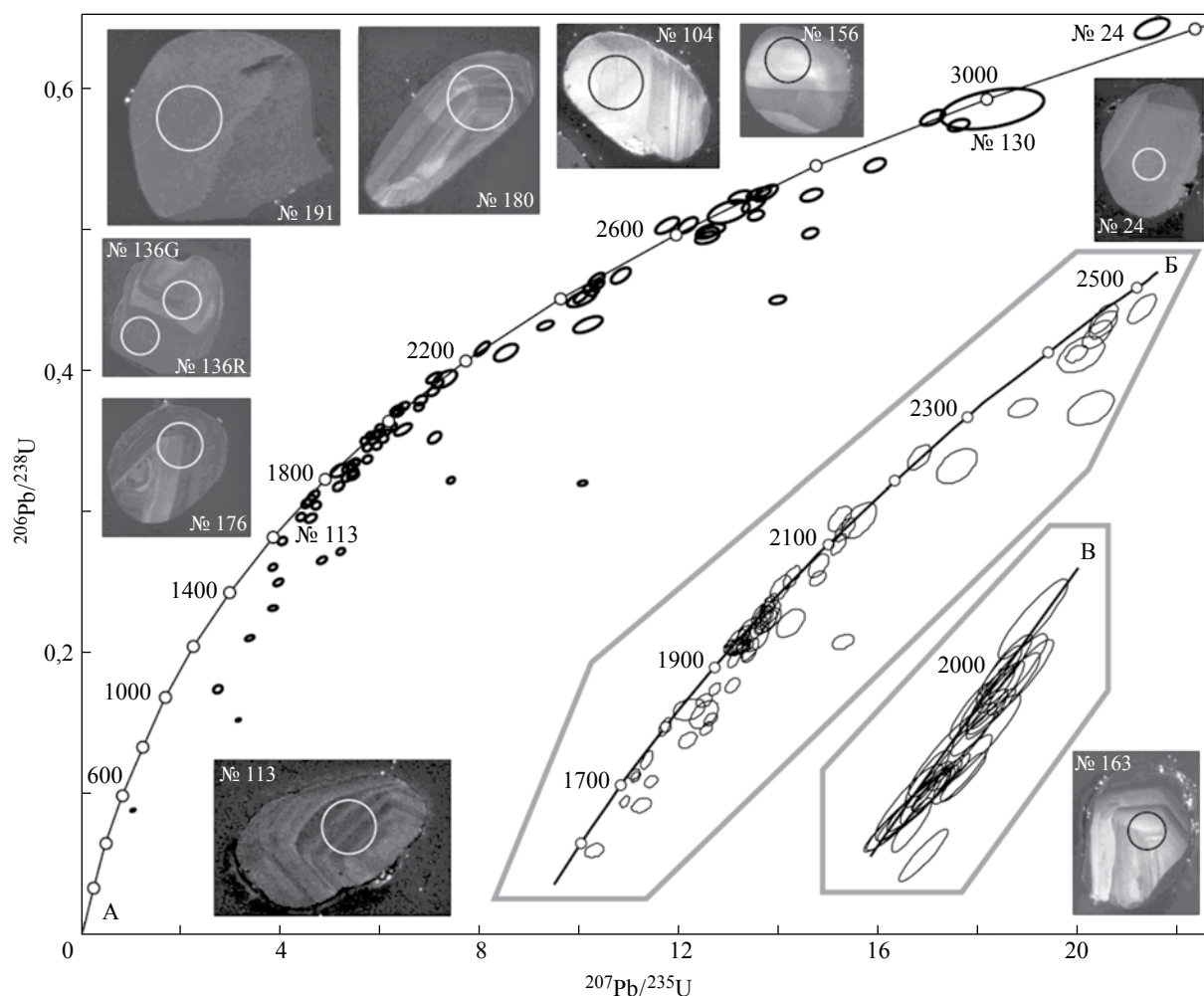
<sup>4</sup> Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems/GEMOC, Macquaria University, Sydney, Australia

<sup>5</sup> Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург

<sup>6</sup> Институт геологии Уфимского научного центра Российской Академии наук, Уфа

<sup>7</sup> Российский университет дружбы народов, Москва

\*E-mail: t.romanyuk@mail.ru

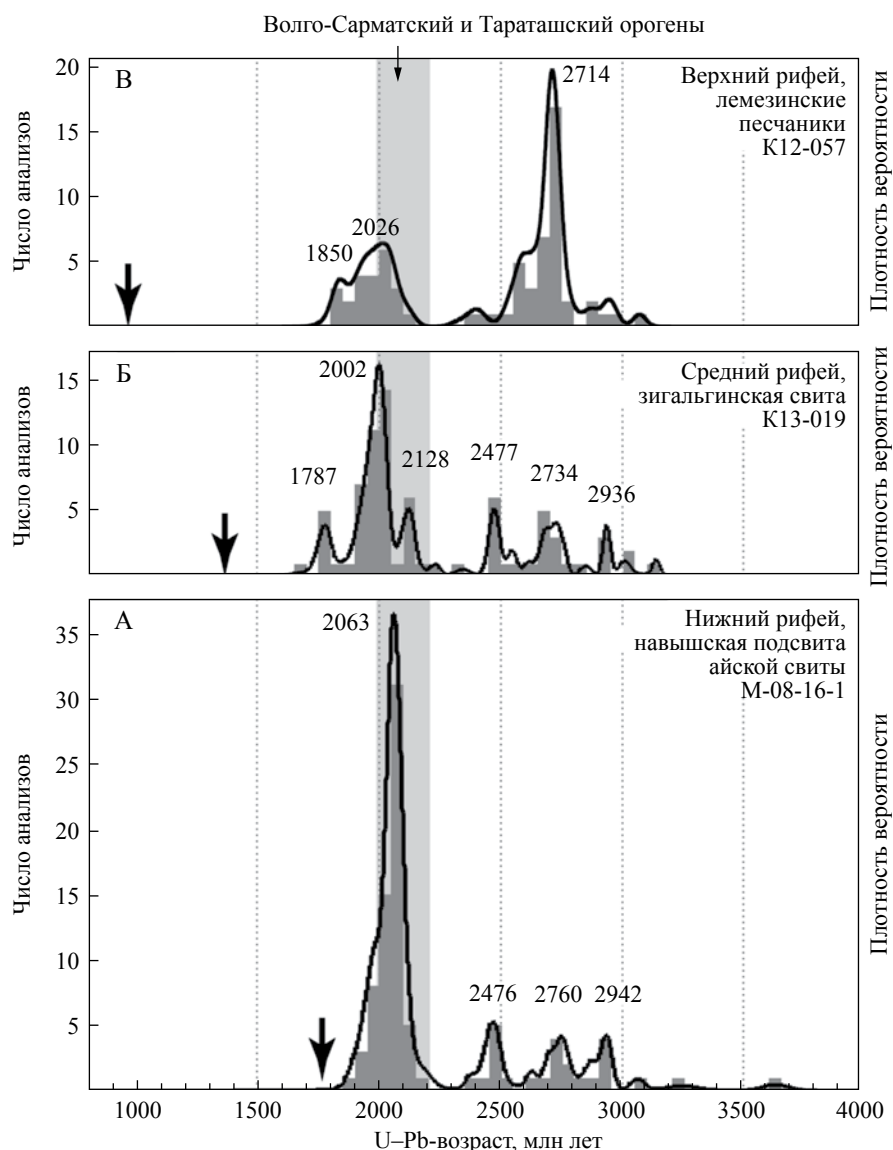


**Рис. 1.** Результаты изучения изотопной U–Th–Pb-системы детритных цирконов из пробы K13-019. А – конкордия и эллипсы, показывающие 95%-й доверительный интервал измерений для всех анализов. Б, В – увеличенные фрагменты конкордии. Врезки – CL-изображения некоторых из изученных цирконов из пробы K13-019 (136С, 136R – анализы для ядра и оболочки зерна № 136). Диаметр кратера 40 мкм.

Ранние стадии развития рифейского осадочного бассейна, реликты которого представлены в современной структуре БП (далее этот бассейн именуется Восточно-Башкирским – ВББ), соответствуют заключительным стадиям существования суперконтинента Колумбия. В “Балтийскую” часть Колумбии входили архейские блоки (протократоны) Кола, Карелия, Сарматия, Волго-Урاليا и сформированный в начале раннего протерозоя Свеко-Фенский блок (рис. 3). Протократоны сугурированы раннепалеопротерозойскими орогенами, в том числе Волго-Сарматским (ВСО), образованным в результате столкновения Волго-Уралии и Сарматии. Неопределённость данных, лежащих в основе позиционирования протократонов в структуре Колумбии (корреляции раннепротерозойских складчатых поясов и палеомагнитные исследования), допускает существенно различные их конфигурации. Так,

в одних реконструкциях Варангер–Тимано–Уральский край Колумбии показан как пассивная окраина [15], в других он соседствует с Сибирью [14]. На рис. 3 возможный коровый блок, граничащий с Волго-Уралией в Колумбии, обозначен как Пери–Волго–Урاليا.

Очевидно, что первичными источниками архейских цирконов в песчаниках базальных уровней всех трех серий рифея ВББ могли быть только протократоны Колумбии. Сами по себе изотопные U–Pb-возрасты не позволяют точно установить, какой протократон был поставщиком кластики. В то же время данные по изотопии Hf в детритовых цирконах из ниже- и верхнерифейских песчаников фиксируют очень древние (>3,5 млрд лет) коровые модельные возрасты пород-источников таких цирконов и позволяют с высокой степенью вероятности считать, что в указанных



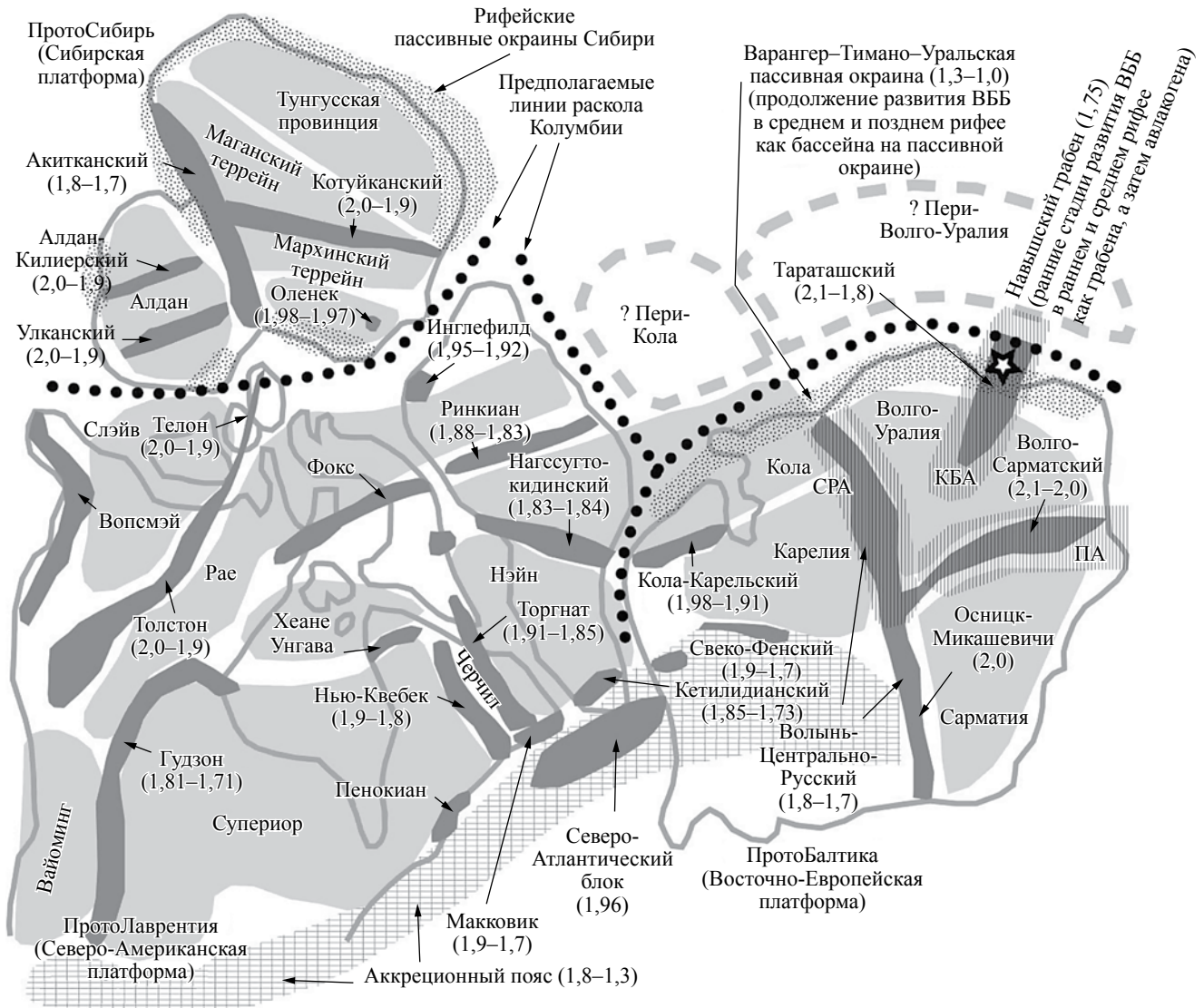
**Рис. 2.** Сводка результатов изучения возрастов детритных цирконов из базальных уровней (А) нижнего [2], (Б) среднего (данные нашей работы) и (В) верхнего [10] рифея БП. Стрелки показывают приблизительный седиментационный возраст изученных песчаников.

песчаниках присутствуют продукты разрушения пород фундамента Волго-Уральской части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [8, 9].

Фактическое совпадение наиболее древних возрастных пиков КПВ для нижнерифейских и среднерифейских песчаников (2476 и 2477, 2760 и 2736, 2942 и 2936 млн лет соответственно) позволяет предполагать, что архейские цирконы в песчаниках зигальгинской свиты, скорее всего, представляют продукты перемыва отложений нижнего рифея БП, а не прямого размыва непосредственно архейских комплексов Колумбии.

Основным первичным источником палеопротерозойских цирконов в рифейских толщах БП

были, по всей видимости, орогены того же возраста. К настоящему времени накоплен большой объем датировок кристаллических пород палеопротерозойских орогенов в пределах Сибирской, Лаврентийской и Балтийской частей Колумбии (рис. 3), свидетельствующий о том, что они характеризуются датировками <2,0 млрд лет, и только для ВСО (древнейшего из них и ближайшего к БП) получены возрасты 2,1–2,0 млрд лет. На северо-востоке БП в составе тараташского комплекса также присутствуют интенсивно метаморфизованные (вплоть до гранитизации) породы архея, вмещающие раннепротерозойские посттектонические гранитоиды [6]. Все эти образования мы рассматриваем как реликты ранее



**Рис. 3.** Фрагмент компоновки архейских блоков/протократонов (светло-серые), спаянных палеопротерозойскими орогенами (темно-серые) в суперконтиненте Колумбия (Нуна) (рубеж палео- и мезопротерозоя), включающий ПротоБалтику, ПротоЛаврентию, ПротоСибирь. Основа рисунка по [15]. Числа – возрасты, млрд лет. Примерное положение БП – звездочка. Авлакогены: ПА – Пачелмский, КБА – Камско-Бельский, СРА – Средне-Русский.

не выделявшегося палеопротерозойского Тарагашского орогена (ТО) с характерными возрастными магматизма и метаморфизма 2,1–1,8 млрд лет (обзор в [11]). Поскольку в песчаниках нижнего рифея ВББ доминируют цирконы с U–Pb-возрастами >2 млрд лет, то есть все основания считать ВСО, ТО их наиболее вероятными источниками.

Около 1,7–1,75 млрд лет на ВЕП началось заложение авлакогенов, пространственно наследующих раннепротерозойские орогены [12], которые к этому времени должны были в значительной степени уже быть эродированы. В частности, вдоль Волынь-Центрально-Русского орогена заложился Средне-Русский (СРА), вдоль ВСО – Пачелмский

(ПА), а вдоль ТО – Камско-Бельский (КБА) авлакогены. КБА начал свое развитие как Навышский грабен [1], и в базальных толщах его выполнения накапливались песчаники айской свиты. СРА и ПА на протяжении всего рифея были протяжёнными седиментационными ловушками для обломочного материала из Сарматской и других частей ВЕП, удаленных от ВББ. Это подтверждается отсутствием в рифейских толщах БП даже единичных цирконов с возрастными комплексами удаленных от БП частей ВЕП, таких как плутоны Сарматии (Коростеньский, Новоукраинский и др. [12]) и граниты рапакиви Свеко-Фенского домена.

Распад Колумбии привел к вычленению из неё ПротоБалтики и заложению Варангер–Тимано–Уральской пассивной окраины. К началу среднего рифея кристаллические комплексы той части ТО, которая стала фундаментом КБА и после распада Колумбии осталась в структуре восточной части Волго-Уральского домена ПротоБалтики, оказались перекрыты комплексом терригенных и карбонатных отложений мощностью ~5 км [5]. В связи с этим присутствие раннепротерозойского детрита в зигальгинских песчаниках могло быть обусловлено тем, что какая-то часть продуктов эрозии ВСО и ТО (возможно, значительная) первоначально накапливалась в предгорных прогибах, сопряжённых с этими орогенами, и только затем рециклировалась в ВББ. Возможно, что такой механизм действовал отчасти и для псаммитов айской свиты.

В начале позднего рифея ПротоБалтика вошла в Родирию [12]. К этому времени питающие провинции (за счёт эрозии которых в раннем и среднем рифее происходило заполнение ВББ) в существенной степени изменились: реликты ВСО и ТО перестали быть первичными источниками обломочного материала (на их месте уже длительное время существовали крупные осадочные бассейны/авлакогены), а в области размыва были выведены архейские кристаллические комплексы. Так, в верхнерифейских песчаниках БП преобладают цирконы с возрастом ~2,7 млрд лет, изотопно-геохимические особенности которых совпадают с таковыми кварцевых диоритов Бакалинского блока Волго-Урала [9].

Лабораторные исследования выполнены в Australian Research Council (ARC) Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems (CCFS) и GEMOC с использованием оборудования, поддерживаемого DEST Systemic Infrastructure Grants, ARC LIEF, NCRIS/AuScore, промышленного партнера университета Маккуори (Сидней) и поддержки гранта ARC FT110100685 (Белоусова Е.А.). Публикация № 834 ARC Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems (<http://www.ccfs.mq.edu.au>) и № 1098 – GEMOC Key Centre (<http://www.gemoc.mq.edu.au>). Финансовая поддержка: сбор каменного материала и его подготовка к исследованиям – РНФ (проект № 14–27–00058); обработка анализов – грант РФФИ № 16–05–00259, синтез материалов по Западному Уралу – Минобрнауки РФ (договор № 14.Z50.31.0017 ИФЗ РАН). Работа подготовлена в соответствии с планами фундаментальных исследований ГИН РАН, ИГ УНЦ РАН и ИГГ УрО РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горожанин В.М., Пучков В.Н., Горожанина Е.Н., Сергеева Н.Д., Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б.* Навышский грабен-рифт на Южном Урале как фрагмент раннерифейского авлакогена // ДАН. 2014. Т. 458. № 2. С. 182–187.
2. *Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Романюк Т.В., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С., Цельмович В.А.* Первые результаты U–Pb (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов из базальных уровней стратотипа рифея // ДАН. 2013. Т. 451. № 3. С. 308–311.
3. *Кузнецов Н.Б., Шаццлло А.В.* Первые находки скелетных фоссилий в куккараукской свите ашинской серии Южного Урала и их значение для определения начала протоуральско-тиманской коллизии // ДАН. 2011. Т. 440. № 3. С. 378–383.
4. *Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Дегтярев К.Е., Пыжова Е.С., Маслов А.В., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Романюк Т.В.* Первые результаты U–Pb-датирования детритовых цирконов из верхнеордовикских песчаников Башкирского поднятия (Южный Урал) // ДАН. 2016. Т. 467. № 5. С. 560–565.
5. *Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В.* Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера. 2002. № 2. С. 54–95.
6. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
7. *Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М.* Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 16–27.
8. *Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н.* Геохимическая и Lu/Hf-изотопная (LA-ICP-MS) систематика детритных цирконов из песчаников базальных уровней стратотипа рифея // ДАН. 2014. Т. 459. № 3. С. 340–344.
9. *Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н.* Геохимическая и (LA-ICP-MS) Lu/Hf систематика детритных цирконов из лемезинских песчаников верхнего рифея Южного Урала // ДАН. 2013. Т. 453. № 6. С. 657–661.
10. *Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т.,*

- Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С.* Первые результаты датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклинория (Южный Урал) // ДАН. 2013. Т. 452. № 6. С. 642–645.
11. *Тевелев Ал.В., Кошелева И.А., Тевелев Арк. В., Хотылев А.О., Мосейчук В.М., Петров В.И.* Новые данные об изотопном возрасте тараташского и александровского метаморфических комплексов (Южный Урал) // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2015. № 1. С. 27–42.
12. *Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N, Volozh Yu.A.* The East European Craton (Baltica) before and during the Assembly of Rodinia // Precamb. Res. 2008. V. 160. № 1/2. P. 23–45.
13. *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 // Chem. Geol. 2004. V. 211. P. 47–69.
14. *Pesonen L.J., Elming S.-A., Mertanen S., Pisarevsky S., D'Agrella-Filho M.S., Meert J.G., Schmidt P.W., Abrahamsen N., Bylund G.* Palaeomagnetic Configuration of Continents during the Proterozoic // Tectonophysics. 2003. V. 375. P. 289–324.
15. *Zhao G., Suna M., Wilde S.A., Li S.* A Paleo-Mesoproterozoic Supercontinent: Assembly, Growth, and Breakup // Earth Sci. Rev. 2004. V. 67. P. 91–123.