

УДК 550.93:552.5

## U–Th–Pb ВОЗРАСТ ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА ИЗ РИФЕЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ ВОЛЫНО-ОРШАНСКОГО ПАЛЕОПРОГИБА, БЕЛАРУСЬ

© 2023 г. Т. С. Зайцева<sup>1</sup>, \*, О. Ф. Кузьменкова<sup>2</sup>, А. Б. Кузнецов<sup>1</sup>, В. П. Ковач<sup>1</sup>,  
Б. М. Гороховский<sup>1</sup>, Ю. В. Плоткина<sup>1</sup>, Е. В. Адамская<sup>1</sup>, А. Г. Лапцевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Филиал “Институт геологии” Республиканского унитарного предприятия  
“Научно-производственный центр по геологии”, Минск, Республика Беларусь

\*e-mail: z-t-s@mail.ru

Поступила в редакцию 27.10.2022 г.

После доработки 07.12.2022 г.

Принята к публикации 23.12.2022 г.

Проведено геохронологическое U–Th–Pb LA-ICP-MS исследование зерен детритового циркона, выделенных из рифейских песчаников шеровичской и белорусской серий Оршанской части Волыно-Оршанского палеопрогиба (скв. Кормянская и Быховская, Беларусь). Полученные U–Th–Pb геохронологические данные указывают на то, что первичными источниками циркона являлись кристаллические породы преимущественно ранне- и среднерифейского, а также раннепротерозойского и архейского возраста. Присутствие в песчаниках шеровичской и белорусской серий, которые ранее считались среднерифейскими, зерен детритового циркона с возрастом 1 млрд лет свидетельствует о том, что эти толщи имеют позднерифейский возраст. Представительная популяция зерен с возрастом около 1 млрд лет обнаружена только в песчаниках скв. Кормянская, тогда как в песчаниках из других скважин, расположенных в пределах Волыно-Оршанского прогиба (скв. 70, Вильчицы 1 и Быховская), она отсутствует. Это указывает на то, что источник циркона с возрастом 1 млрд лет мог быть расположен как в пределах палеопрогиба, так и на значительном удалении – в пределах гренвилльского Свеконорвежского орогена.

*Ключевые слова:* геохронология, докембрий, шеровичская и белорусская серии, скв. Кормянская и Быховская, Восточно-Европейская платформа, гренвилльская орогения

DOI: 10.31857/S0869592X23050101, EDN: WIWRKO

### ВВЕДЕНИЕ

Волыно-Оршанский палеопрогиб (ВОП) развит на западе Восточно-Европейской платформы, где он протягивается на 1000 км широкой (до 300 км) полосой (Муратов и др., 1962; Тектоническая..., 1974; Тектоника..., 1990; Нагорный, 1990; Геология..., 2001 и др.). Прогиб представляет собой крайний юго-западный сегмент позднепротерозойского Волыно-Среднерусского трансформенного рифтового пояса, заложение которого связывают с одним из этапов распада суперконтинента Родиния и растяжением (рифтогенезом) континента Балтика около 0.80–0.70 млрд лет назад. Этот рифтогенез произошел по внешним границам древних кратонов Фенноскандии и Сарматии, являвшихся составными частями Балтики (Nikishin et al., 1996; Хаин, 2001; Lubnina, 2006; Балухев, 2006; Хераскова и др., 2015; Сорохтин и др., 2015; Гарецкий, 2015; Чамов, 2016; Bogdanova et al., 2016 и др.). Довендские породы Волыно-Оршанского палеопрогиба развиты на террито-

рии четырех государств – Беларуси, Украины, Польши и России – и с разной долей условности относятся к среднему и позднему рифею (Skaly..., 1974; Кузьменко, Шик, 2006; Стратиграфические..., 2010; Стратиграфія ..., 2013).

Осадочные породы Волыно-Оршанского палеопрогиба имеют преимущественно песчаный состав, поэтому применение палеонтологического метода для обоснования их возраста проблематично (Брунс, 1957; Бессонова, 1968; Власов и др., 1972; Skaly..., 1974; Котык и др., 1976; Махнач и др., 1976; Великанов, 2010 и др.). В настоящее время валидные изотопно-геохронологические данные о возрасте этих пород отсутствуют. Опубликованные в конце прошлого века K–Ar изотопные данные были получены по образцам без минералогического контроля степени их изменения и поэтому сегодня не могут считаться надежными. Среди данных можно отметить K–Ar изотопные датировки диабазов (1180–1345 млн лет), прорывающих рифейские терригенные породы крестецкой серии в Валдайском грабене (скважина Крестцы 1р), яв-

ляющемся северным продолжением ВОП, и диабазов (1040–1175 млн лет), прорывающих рифейские толщи в Вольно-Полесской части ВОП на территории Украины (полесская серия) (Котык и др., 1976; Махнач и др., 1976). Недавно в песчаниках из кровли предположительно полесской серии в Вольно-Полесской части ВОП (скв. 56, Ровенская область) среди зерен детритового циркона было выявлено одно зерно с возрастом  $1018 \pm 43$  млн лет (LA-ICP-MS метод; Shumlyanzkyu et al., 2015). Еще одно зерно циркона № 357 с возрастом  $954 \pm 12$  млн лет из песчаников пинской (аналог руднянской) свиты (скв. Вильчицы 1 в Оршанской части ВОП) было показано на рисунке в статье Пашковского с соавторами (см. Paszkowski et al., 2019, fig. 5). Таким образом, единичный характер сведений о возрасте требует дополнительного подтверждения.

В связи с неопределенностью возрастного положения позднепротерозойских отложений ВОП в рамках данной работы нами проведено масштабное геохронологическое U–Th–Pb LA-ICP-MS исследование зерен детритового циркона из рифейских песчаников Оршанской части Вольно-Оршанского палеопргиба. Нами были изучены зерна детритового циркона из рифейских песчаников бортниковской свиты шеровичской серии, руднянской и оршанской свит белорусской серии. Образцы отобраны из скважин Кормянская и Быховская, пробуренных на территории Беларуси (Кузьменкова и др., 2019a).

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Вольно-Оршанский палеопргиб представляет собой разветвленную сеть грабенов и грабенообразных прогибов, которые входят в наиболее крупную Вольно-Среднерусскую систему прогибов на Восточно-Европейской платформе (рис. 1). Образование этих палеопргибов произошло в результате растяжения вдоль основных сутурных зон фундамента при расколе древнего континента в позднем рифее. Пространственное положение и простираие Вольно-Оршанского палеопргиба контролируется Минским, Стоходско-Могилевским, Пержанско-Симоновичским доплатформенными разломами (Айзберг, Старчек, 2013). Палеопргиб заполнен мощной (от 200 до 700 м) толщей красноцветных аркозовых песчаников и алевролитоглинистых пород с прослоями сероцветных олигомиктовых и кварцевых песчаников и линзами гравелитов. Терригенные породы, заполняющие палеопргиб, резко отличаются по составу от перекрывающих терригенно-карбонатных отложений фанерозоя.

Преимущественно песчаные породы ВОП несогласно, с крупным стратиграфическим перерывом залегают на эродированной поверхности кристаллического фундамента Восточно-Европейской

платформы (ВЭП) архейско(?)-раннепротерозойского возраста. Рифейские отложения несогласно перекрыты покровно-ледниковой вильчанской серией венда и более молодыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами вольнской серии венда (Геология..., 2001; Стратиграфические..., 2010; Голубкова и др., 2021). Большая часть Вольно-Оршанского прогиба (около 60%) расположена на территории Беларуси, где довендские позднепротерозойские породы, заполняющие прогиб, подразделяют на шеровичскую и белорусскую серии (Махнач и др., 1976; Стратиграфические..., 2010).

В качестве стратотипического разреза шеровичской серии принят разрез мощностью 255 м, вскрытый Руднянской параметрической скважиной, пробуренной в конце 1960-х годов в Смоленской области (северная часть ВОП) в непосредственной близости от границы Беларуси. Нижняя часть серии представлена аркозовыми песчаниками и слюдястыми алевролитами гатынской свиты (96 м), верхняя – кварцевыми песчаниками рутаветчской свиты (159 м), аналогами которых являются песчаники бортниковской свиты Беларуси. Песчаный материал хорошо окатан и имеет высокую степень зрелости. В то же время для этих песчаников характерна разнотерность, присутствие кварцевой гальки и валунов кварцитов. Цемент песчаников глинистый с примесью гидроокислов железа, реже – опаловый и фосфатный. Материалом для образования этих песчаников являлись высокзрелые коры выветривания раннепротерозойского возраста, развитые по породам кристаллического основания. В породах проявляется как горизонтальная, так и косая и клиновидная слоистость. Песчаники сформированы в небольших внутриконтинентальных опресненных бассейнах и представляют собой аллювиально-дельтовые отложения. Подобные бассейны были развиты в понижениях рельефа вблизи разломных зон (Махнач и др., 1976; Геология..., 2001). Данных об изотопном возрасте пород шеровичской серии до сих пор нет. В настоящее время шеровичская серия отнесена к среднему рифею как в Беларуси (Стратиграфические..., 2010), так и в России (восток Оршанской впадины, Крестецкий и Солигаличский авлакогены) (Кузьменко, Шик, 2006).

Наиболее широко как по площади современной Беларуси, так и в объеме Вольно-Оршанского палеопргиба развита белорусская серия, мощность которой в Вольно-Полесской части прогиба достигает 600 м, а в Оршанской части понижается до 300 м. Серия сложена красноцветными терригенными породами рогачевской, руднянской, пинской, оршанской и лапичской свит (рис. 1). При этом руднянская и пинская свиты являются фаціальными и возрастными аналогами соответственно в Оршанской и Вольно-Полесской ча-

стях ВОП и вместе с рогачевской свитой объединяются в полесский горизонт.

Рогачевская свита имеет мощность 30–40 м и представлена чередованием аркозовых средне- и мелкозернистых песчаников лилово-коричнево-бурого цвета с прослоями алевролитов. Характерно нерегулярное переслаивание литологических разностей, косая слоистость, плохая сортировка материала, что указывает на колебание глубины бассейна, наличие течений, близость береговой линии.

Вышележащая красноцветная толща хорошо сортированных мелкозернистых песчаников с тонкими редкими прослоями алевролитов имеет разный петрографический состав. В Вольно-Полесской части ВОП песчаники имеют олигомиктовый и мезомиктовый состав и относятся к пинской свите, а в Оршанской части они преимущественно олигомиктового состава и относятся к руднянской свите. Максимальная мощность пинской свиты достигает 460 м в Вольно-Полесской части. Песчаники сложены угловато-окатанными зёрнами с гематит-каолинит-гидрослюдистым цементом и редкими слоями доломитов (1–2 см). Отложения накапливались в условиях мелководного эпиконтинентального бассейна с пониженной солёностью, маломощные прослои доломитов маркируют периоды его обмеления (Кузьменкова и др., 2019а, 2019б).

Оршанская свита распространена только в Оршанской части ВОП (более 600 м) и представлена переслаиванием красноцветных мелко- и средне-мелкозернистых песчаников с высокой степенью окатанности и сортировки материала (Махнач и др., 1976; Геология..., 2001). Свита разделена на три подсвиты по составу песчаных пород. Нижняя подсвита (до 200 м) сложена олигомиктово-

кварцевыми песчаниками, а средняя (до 250 м) – кварцевыми песчаниками со средней и слабой степенью цементации. Верхняя подсвита (до 200 м) сложена плотными кварцитовидными песчаниками с регенерационным кварцевым цементом. Отложения формировались в условиях замкнутого мелководного внутриконтинентального опресненного бассейна.

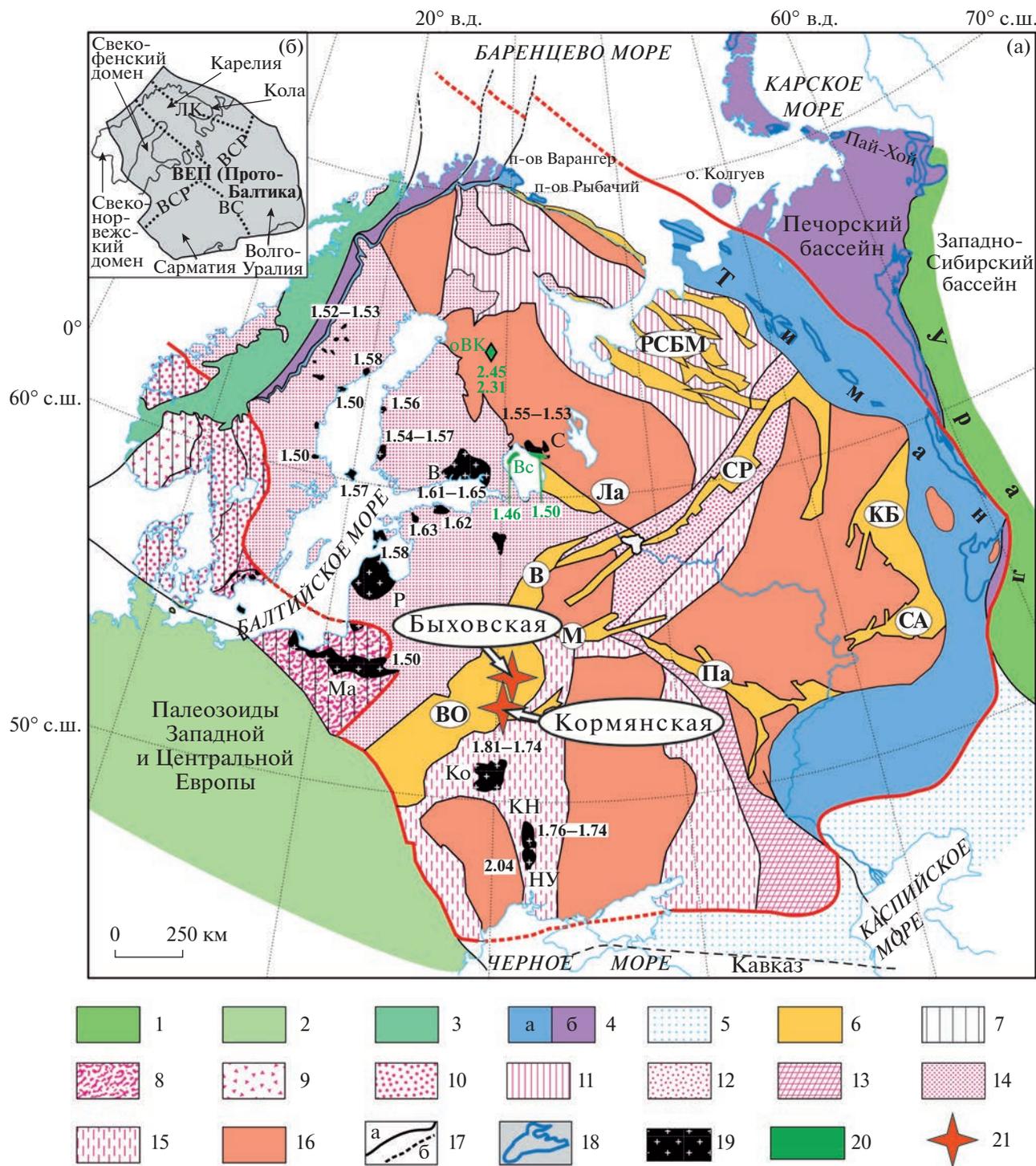
Лапичская свита (мощность до 82 м), по стратиграфическому объёму соответствующая одноимённому горизонту региональной стратиграфической схемы (РСС) (рис. 2), сложена нерегулярно переслаивающимися красноцветными терригенными породами (полимиктовыми конгломератами, песчаниками с глинисто-доломитовым цементом, глинистыми и песчаными алевролитами) и доломитами с большой долей алевроглинистой примеси. В своей нижней части свита представлена породами преимущественно терригенного, а в верхней – терригенно-доломитового состава. Отложения образовались в Оршанской части ВОП в условиях небольшого замкнутого мелководного континентального бассейна с переменной солёностью (Махнач и др., 1976; Стратиграфические..., 2010).

В настоящее время полесский горизонт относят к среднему рифею, а лапичский горизонт – к верхнему рифею Беларуси (Стратиграфические..., 2010). Как уже было отмечено выше, опубликованные в 1970-х годах К–Аг датировки для диабазов, прорывающих терригенные породы крестецкой серии в Валдайском грабене (1180–1345 млн лет) и полесской свиты в Вольно-Полесской части ВОП (1040–1175 млн лет), сегодня не могут быть признаны надёжными. В то же время имеющиеся сведения о “молодом” возрасте базируются на U–Pb данных, полученных лишь по одному зёрну из песчаников полесской серии

**Рис. 1.** Тектоническая схема фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и структур ее обрамления (по Кузнецов, Романюк, 2021).

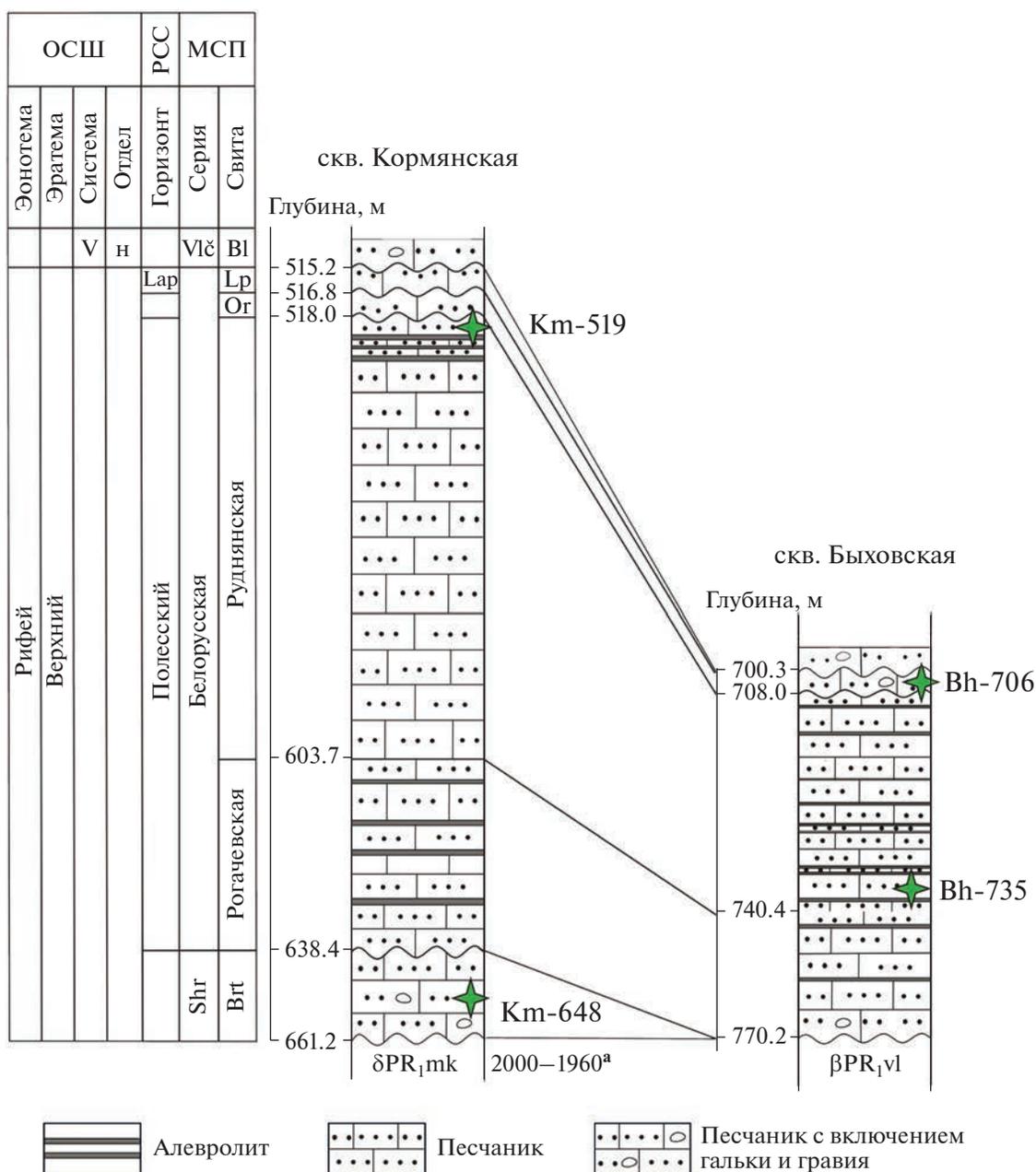
Аббревиатуры: Вс – Валаамский силл; ВК – мафические комплексы около оз. Верхнее Куйто. Плутоны: Ко – Коростеньский, КН – Корсунь-Новомиргородский, НУ – Новоукраинский, Ма – Мазуринский, Р – Рижский, В – Выборский, С – Салми. ВО – Вольно-Оршанский палеопробег. Авлакогены и грабены: СР – Средне-Русский, Па – Пачелмский, КБ – Камско-Бельский, СА – Серноводско-Абдулинский, М – Московский, В – Валдайский, Ла – Пашско-Ладожский, РСБМ – рифтовая система Белого моря. Цифрами показаны возрасты магматитов, млрд лет.

1–3 – палеозойды складчато-надвиговых поясов, обрамляющих ВЕП: 1 – уральды, 2 – варисциды, 3 – скандинавские каледониды; 4 – неопротерозойско-среднекембрийские комплексы: протоуральды–тиманиды Западного Урала, Тимано-Печорско-Баренцевоморского региона, Приуральской части ВЕП и Скандинавии и кадомиды–авалониды южного и юго-восточного обрамления ВЕП: а – осадочные (преимущественно), б – вулканические, вулканогенно-осадочные и осадочные; 5 – Скифско-Туранская платформа; 6 – неопротерозойские рифтогенные структуры; 7–10 – неопротерозойские комплексы и переработанные архейско-палеопротерозойские комплексы северо-западной и западной частей ВЕП: 7 – свекофено-норвежская орогения (~1.2–0.9 млрд лет), 8 – данополонская орогения (~1.47–1.42 млрд лет), 9 – телемаркская орогения (~1.52–1.48 млрд лет), 10 – готская орогения (~1.73–1.55 млрд лет); 11–16 – палеопротерозойские и архейские комплексы Фенноскандии, Волго-Уралии и Сарматии: 11 – Лапландско-Кольский ороген (~2.0–1.9 млрд лет), 12 – Средне-Русский ороген (~1.8–1.7 млрд лет), 13 – Волго-Сарматский ороген (~2.1–2.0 млрд лет), 14 – протерозойские комплексы Фенноскандии, 15 – протерозойские комплексы Сарматии и Волго-Уралии, 16 – архейские комплексы (~3.70–2.50 млрд лет); 17 – сутуры вдоль внешней границы докембрийского остова ВЕП (Балтики), границы блоков внутри ВЕП, границы неопротерозойских (1.6–0.8 млрд лет) рифтов и авлакогенов: а – главные разломы, б – их предполагаемые продолжения; 18 – контуры обнажений тиманид и протоуральды; 19 – анортозит-гранит-рапакивы и А-граниты; 20 – базальтоиды, мафические дайковые комплексы; 21 – места отбора проб из песчаников, для которых выполнено U–Th–Pb датирование детритового циркона.



в Воыно-Полесской части ВОП (скв. 56, Ровенская область) –  $1018 \pm 43$  млн лет (Shumlyanzky et al., 2015) и из руднянской (аналог пинской) свиты в скв. Вильчицы 1 в Оршанской части ВОП –  $954 \pm 12$  млн лет (Paszowski et al., 2019). Кроме того, на графике плотности вероятности, демонстрирующем данные о U–Pb возрасте цир-

кона из рифейского песчаника пинской свиты (см. Paszowski et al., 2019, fig. 6), представлено единичное значение с возрастом около 600 млн лет, что очевидно является артефактом. Безусловно, все полученные по единичным зернам циркона данные являются недостаточными и требуют специального подтверждения.



**Рис. 2.** Положение изученных образцов песчаников в схематических разрезах верхнепротерозойских пород Кормянской и Быховской скважин.

V – венд, н – нижний венд, Lap – лапичский горизонт, Shr – шеровичская серия; Vlç – вильчанская серия; свиты: Brt – бортниковская, Or – оршанская, Lp – лапичская, Bl – блонская; mk – микашевичский комплекс, гранодиориты, vl – волхвинский комплекс, габброиды. <sup>a</sup> Аксаментова, 2002. ОСШ – общая стратиграфическая шкала, РСС – региональная стратиграфическая схема, МСП – местные стратиграфические подразделения.

Для уточнения времени накопления шеровичской и белорусской серий, а также установления возможных источников поступления терригенного материала, заполняющего центральную часть ВОП, нами проведено U–Th–Pb LA-ICP-MS геохронологическое изучение зерен детритового циркона. Образцы были отобраны из двух удаленных на 25 км друг от друга скважин Кормянская (д. Барсуки Кормянского р-на Гомель-

ской обл.) и Быховская (д. Большая Зимница Славгородского р-на Могилевской обл.), расположенных в пределах восточной прибортовой части Вольно-Оршанского палеопргиба (рис. 1). Отобранные образцы песчаников представляют нижнюю часть шеровичской серии – бортниковскую свиту (обр. Km-648), средние и верхние части белорусской серии – руднянскую (обр. Km-519 и Bh-735) и оршанскую (обр. Bh-706) свиты.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Выделение зерен циркона проведено по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей. Изучение особенностей внутреннего строения детритового циркона проведено на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 в режиме катодолюминесценции.

U–Th–Pb геохронологические исследования зерен циркона выполнены с помощью системы лазерной абляции NWR-213 с камерой TwoVolumeTwo, совмещенной с ICP масс-спектрометром ELEMENT XR. Диаметр пучка лазера составлял 25 мкм, длительность измерения – 100 с (40 с – холостой по газу, 60 с – абляция). Калибровка произведена по стандартному циркону GJ-1 (Jackson et al., 2004). Для контроля качества аналитических данных использованы стандартные цирконы Harvard 91500 и Plešovice. Для стандартного циркона Harvard 91500 в ходе исследований получены средневзвешенные значения возрастов: по отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  –  $1067 \pm 6$  млн лет (0.59%,  $2\sigma$ ,  $n = 17$ , СКВО = 1.3, вероятность = 0.16), по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  –  $1066 \pm 7$  млн лет (0.61%,  $2\sigma$ ,  $n = 17$ , СКВО = 0.031, вероятность = 1.000). Для стандартного циркона Plešovice получено средневзвешенное значение возраста  $337 \pm 2$  млн лет по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  (0.70%,  $2\sigma$ ,  $n = 17$ , СКВО = 0.27, вероятность = 0.998). Полученные для стандартных цирконов значения возраста хорошо совпадают с рекомендованными данными (Harvard 91500:  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  –  $1066.01 \pm 0.61$  млн лет,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  –  $1063.51 \pm 0.39$  млн лет; Plešovice:  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  –  $337 \pm 2$  млн лет) (Horstwood et al., 2016). U–Th–Pb изотопные отношения рассчитаны в программе GLITTER 4.0 GEMOC (Van Achterbergh et al., 2001). Поправки на обычный свинец введены с помощью программы ComPb (Andersson, 2002). Расчет конкордантных возрастов (Concordia Ages) выполнен в программе IsoplotR (Vermeesch, 2018). Только конкордантные оценки (степень дискордантности менее 5%) возраста приняты во внимание при построении гистограмм, кривых относительной вероятности и расчете максимумов возрастов (PeakAges) (Gehrels, 2012).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Детритовый циркон из четырех образцов песчаников (Km-648, Km-519, Bh-735 и Bh-706) представлен зернами призматического и короткопризматического габитуса, с различной степенью окатанности, в отдельных случаях до изометричной формы. Размерность варьирует от 60 до 300 мкм. Катодолюминесцентное исследование показало, что большинство зерен имеет тонкую осцилляторную зональность и хорошо проявленную секториальность, однако часть зерен не имеет видимой зональности (рис. 3).

Из изученных образцов Km-648, Km-519, Bh-735 и Bh-706 удалось проанализировать 34, 123, 102 и 112 зерен циркона соответственно. В результате получено соответственно 29, 94, 35 и 44 оценок возраста с приемлемой степенью дискордантности (менее 5%) (табл. 1, 2).

Для обр. Km-648 возрасты зерен циркона находятся преимущественно в интервалах: 945–1091, 1126–1163, 1311–1346, 1403–1423 и 1508–1580 млн лет (табл. 3), с максимумами на кривой относительной вероятности возрастов: 1.01 ( $n = 5$ ), 1.13 ( $n = 3$ ), 1.31 ( $n = 3$ ), 1.41 ( $n = 3$ ), 1.54 ( $n = 5$ ) млрд лет (рис. 4). Возрасты единичных зерен составляют: 1225, 1234, 1987, 2085, 2090, 2442 и 2788 млн лет.

Для обр. Km-519 возрасты зерен циркона получены в интервалах: 948–1086, 1153–1248, 1319–1342, 1416–1484, 1955–1989, 2014–2038, 2079–2121, 2161–2183 и 2761–2772 млн лет (табл. 3), с максимумами на кривой относительной вероятности возрастов: 0.95 ( $n = 4$ ), 1.03 ( $n = 17$ ), 1.23 ( $n = 10$ ), 1.33 ( $n = 3$ ), 1.43 ( $n = 4$ ), 1.96 ( $n = 3$ ), 2.03 ( $n = 7$ ), 2.10 ( $n = 9$ ), 2.18 ( $n = 3$ ) и 2.77 ( $n = 3$ ) млрд лет (рис. 4). Возрасты единичных зерен соответствуют 1526–1626, 1880, 2412–2465, 2622–2710, 2916, 2924 и 3481 млн лет.

В обр. Bh-735 и Bh-706 возрасты циркона находятся в гораздо более узких интервалах. Для обр. Bh-735: 1941–1998, 2010–2069 и 2084–2111 млн лет (табл. 3), с максимумами на кривой относительной вероятности возрастов: 1.98 ( $n = 24$ ), 2.07 ( $n = 6$ ), 2.09 ( $n = 3$ ) млрд лет (рис. 4). Возрасты единичных зерен составляют 1785 и 2124 млн лет.

Возрасты циркона из обр. Bh-706 находятся в интервалах 1791–1821, 1952–1998 и 2010–2068 млн лет (табл. 3), с максимумами на кривой относительной вероятности возрастов: 1.80 ( $n = 3$ ), 1.99 ( $n = 27$ ) и 2.68 ( $n = 7$ ) млрд лет (рис. 4). Возрасты единичных зерен – 1151, 2083, 2085, 2109, 2116 и 2150 млн лет.

*Стратиграфические следствия.* Шеровичская серия и нижняя часть белорусской серии (полесский горизонт, включая руднянскую свиту) в стратиграфических схемах Беларуси относятся к среднему рифею (Стратиграфические..., 2010) на основании K–Ar датировок (1040–1175 млн лет) диабазов, прорывающих терригенные породы полесской свиты в Вольно-Полесской части ВОП. В общей стратиграфической шкале верхнего протерозоя изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея обоснован в сибирском гипостратотипе рифея и опирается на слои, в которых появляются первые представительные наборы познерифейских микрофоссилий (Вейс, Воробьева, 1996; Сергеев и др., 2006; Семихатов и др., 2015). Согласно двум Pb–Pb изотопным датировкам известняков, отобранных вблизи кровли среднего рифея и основания верхнего рифея, возраст границы



**Рис. 3.** Микрофотографии кристаллов циркона из песчаников бортниковской (обр. Kt-648), руднянской (обр. Kt-519 и Vh-735) и оршанской (обр. Vh-706) свит, выполненные в режиме катодолуминесценции. Кружками обозначены точки, где проводились U–Th–Pb измерения.

среднего и верхнего рифея близок к 1030 млн лет (Семихатов и др., 2015).

Проведенное нами U–Th–Pb исследование обнаружило, что песчаники шеровичской серии содержат большое количество зерен циркона с возрастом от 948 до 1030 млн лет (табл. 1 и 3). При этом, несмотря на большую мощность (около 140 м), зерна циркона с таким “молодым” возрастом присутствуют как в нижней части серии, так и в верхней. Присутствие во всем объеме шеровичской серии обломочного материала позднерифейского возраста указывает на то, что эти песчаники моложе среднего рифея. Это меняет преж-

ние представления о возрасте шеровичской серии и позволяет отнести ее к позднему рифею.

*Палеогеографические следствия.* Полученные данные свидетельствуют о том, что источниками циркона для рифейских песчаников белорусской серии в разрезе скв. Быховская являлись преимущественно раннепротерозойские (палеопротерозойские) породы с очень узким возрастным интервалом 1.98–2.09 млрд лет. Такой же узкий возраст интервал характерен и для зерен циркона из песчаников пинской свиты белорусской серии в скв. Вильчицы 1 (Paszkowski et al., 2019), расположенной в 50 км севернее от скв. Быховская. На-

Таблица 1. Результаты U–Th–Pb LA-ICP-MS геохронологических исследований детритового циркона из позднепротерозойских песчаников (скв. Кор-мянская)

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}^c$ , %	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{1\sigma}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{1\sigma}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{1\sigma}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{1\sigma}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{1\sigma}$	
																$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
Руднянская свита (обр. Км-519)																
Км-519-1		0.24	0.0728	0.0005	1.6970	0.0261	0.1692	0.0025	0.97	1007	1007	1007	1008	14	1007	14
Км-519-2		0.37	0.0782	0.0005	2.1073	0.0326	0.1954	0.0029	0.96	1153	1153	1151	1150	16	1153	16
Км-519-3		0.21	0.0816	0.0006	2.3730	0.0365	0.2109	0.0031	0.97	1236	1236	1234	1234	17	1236	17
Км-519-6		0.37	0.1935	0.0013	14.3319	0.2204	0.5372	0.0080	0.97	2772	2772	2772	2772	34	2772	34
Км-519-7		0.44	0.1858	0.0013	13.3622	0.2061	0.5217	0.0080	0.99	2705	2705	2706	2706	34	2705	34
Км-519-8		0.75	0.1360	0.0010	7.5347	0.1202	0.4019	0.0062	0.97	2177	2177	2177	2178	29	2177	29
Км-519-10		0.37	0.0902	0.0006	3.0851	0.0488	0.2481	0.0038	0.97	1430	1430	1429	1428	20	1430	20
Км-519-11		0.67	0.1863	0.0013	13.4302	0.2130	0.5228	0.0081	0.98	2710	2710	2710	2711	34	2710	34
Км-519-12		0.22	0.0897	0.0006	3.0569	0.0485	0.2470	0.0038	0.97	1420	1420	1422	1423	20	1420	20
Км-519-13		0.22	0.0720	0.0005	1.6390	0.0267	0.1652	0.0026	0.95	985	985	985	986	14	985	14
Км-519-14		0.42	0.1297	0.0009	6.8665	0.1092	0.3841	0.0060	0.97	2093	2093	2094	2095	28	2093	28
Км-519-16		0.19	0.0734	0.0005	1.7412	0.0279	0.1721	0.0027	0.97	1024	1024	1024	1024	15	1024	15
Км-519-17		0.13	0.1348	0.0010	7.4109	0.1193	0.3988	0.0062	0.97	2161	2161	2162	2164	29	2161	29
Км-519-18		0.19	0.0735	0.0005	1.7511	0.0285	0.1729	0.0027	0.96	1027	1027	1028	1028	15	1027	15
Км-519-19		0.25	0.0795	0.0006	2.2145	0.0359	0.2019	0.0032	0.98	1186	1186	1186	1186	17	1186	17
Км-519-20		0.23	0.0796	0.0006	2.2204	0.0371	0.2023	0.0032	0.96	1187	1187	1188	1188	17	1187	17
Км-519-21		0.55	0.0756	0.0006	1.9125	0.0325	0.1834	0.0029	0.94	1086	1086	1085	1085	16	1086	16
Км-519-22		0.20	0.1205	0.0009	5.9060	0.0957	0.3556	0.0056	0.98	1963	1963	1962	1961	27	1963	27
Км-519-23		0.33	0.0918	0.0007	3.2217	0.0546	0.2545	0.0041	0.95	1464	1464	1462	1461	21	1464	21
Км-519-24		0.54	0.0928	0.0007	3.3097	0.0543	0.2587	0.0041	0.97	1484	1484	1483	1483	21	1484	21
Км-519-25		0.65	0.1934	0.0014	14.3377	0.2327	0.5377	0.0085	0.98	2771	2771	2772	2774	36	2771	36
Км-519-26		0.70	0.1297	0.0009	6.8575	0.1126	0.3834	0.0061	0.97	2094	2094	2093	2092	28	2094	28
Км-519-27		0.19	0.1299	0.0010	6.8671	0.1154	0.3835	0.0062	0.95	2096	2096	2094	2092	29	2096	29
Км-519-29		0.36	0.1286	0.0009	6.7519	0.1105	0.3807	0.0060	0.97	2079	2079	2079	2080	28	2079	28
Км-519-30		0.26	0.0821	0.0006	2.4144	0.0396	0.2133	0.0034	0.97	1248	1248	1247	1246	18	1248	18
Км-519-31		0.28	0.0818	0.0006	2.4018	0.0415	0.2130	0.0034	0.93	1241	1241	1243	1245	18	1241	18
Км-519-32		0.45	0.0744	0.0007	1.8227	0.0397	0.1777	0.0031	0.79	1052	1052	1054	1054	17	1052	20
Км-519-33		0.31	0.1246	0.0009	6.3351	0.1031	0.3689	0.0059	0.99	2023	2023	2023	2024	28	2023	28
Км-519-34		0.30	0.1922	0.0014	14.2077	0.2307	0.5361	0.0086	0.99	2761	2761	2764	2767	36	2761	36
Км-519-35		0.37	0.0738	0.0005	1.7750	0.0296	0.1745	0.0028	0.97	1035	1035	1036	1037	15	1035	15

Таблица 1. Продолжение

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}^c$ , %	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	CA	$1\sigma$
Км-519-35-1		0.48	0.0741	0.0005	0.0298	0.1761	0.0028	0.97	1045	15	1045	11	1046	16	1045	15
Км-519-36		0.53	0.1222	0.0009	0.1047	0.3612	0.0059	0.95	1989	13	1988	15	1988	28	1989	13
Км-519-37		0.32	0.1256	0.0009	0.1065	0.3718	0.0060	0.97	2038	13	2038	15	2038	28	2038	13
Км-519-38		0.42	0.0951	0.0007	0.0580	0.2679	0.0043	0.97	1530	14	1530	13	1530	22	1530	14
Км-519-39		1.14	0.1365	0.0010	0.1258	0.4029	0.0065	0.97	2183	13	2183	15	2182	30	2183	13
Км-519-41		0.36	0.0808	0.0006	0.0390	0.2074	0.0033	0.95	1218	15	1216	12	1215	18	1218	15
Км-519-42		0.54	0.0851	0.0006	0.0449	0.2267	0.0037	0.96	1319	14	1318	12	1317	19	1319	14
Км-519-45		0.51	0.0993	0.0006	0.0533	0.2839	0.0038	0.98	1611	11	1611	11	1611	19	1611	11
Км-519-49		0.49	0.1767	0.0011	0.1658	0.5026	0.0068	0.99	2622	10	2623	13	2625	29	2622	10
Км-519-50		0.24	0.0732	0.0004	0.0236	0.1713	0.0023	0.98	1018	12	1019	9	1019	13	1018	12
Км-519-51		0.54	0.3021	0.0018	0.4041	0.7165	0.0096	0.99	3481	9	3482	13	3483	36	3481	9
Км-519-52		0.36	0.0811	0.0005	0.0330	0.2079	0.0028	0.95	1224	12	1220	10	1218	15	1224	12
Км-519-53		0.30	0.1295	0.0008	0.0961	0.3842	0.0052	0.97	2091	11	2093	12	2096	24	2091	11
Км-519-54		0.45	0.1240	0.0007	0.0846	0.3673	0.0049	0.99	2014	11	2015	12	2017	23	2014	11
Км-519-55		0.18	0.0740	0.0005	0.0242	0.1747	0.0023	0.99	1041	12	1039	9	1038	13	1041	12
Км-519-56		0.35	0.1252	0.0008	0.0862	0.3706	0.0050	0.99	2031	11	2031	12	2032	23	2031	11
Км-519-58		0.25	0.0756	0.0005	0.0279	0.1833	0.0026	0.98	1085	13	1085	10	1085	14	1085	13
Км-519-60		0.59	0.0973	0.0007	0.0598	0.2767	0.0041	0.91	1572	13	1574	13	1575	21	1572	13
Км-519-61		0.21	0.0862	0.0006	0.0396	0.2314	0.0033	0.99	1342	12	1342	11	1342	17	1342	12
Км-519-63		0.29	0.1560	0.0010	0.1405	0.4541	0.0065	0.99	2412	11	2413	13	2413	29	2412	11
Км-519-64		0.31	0.0709	0.0005	0.0228	0.1590	0.0023	0.98	954	13	952	9	951	13	951	13
Км-519-65		0.55	0.1307	0.0008	0.1010	0.3868	0.0055	0.99	2108	11	2108	13	2108	26	2108	11
Км-519-66		0.66	0.1252	0.0008	0.0919	0.3706	0.0053	0.99	2031	11	2032	13	2032	25	2031	11
Км-519-67		0.55	0.1317	0.0008	0.1018	0.3899	0.0056	0.99	2121	11	2122	13	2122	26	2121	11
Км-519-68		0.39	0.1001	0.0007	0.0598	0.2865	0.0041	0.96	1626	12	1624	12	1624	21	1626	12
Км-519-69		0.31	0.0799	0.0005	0.0336	0.2037	0.0029	0.96	1194	13	1195	11	1195	16	1194	13
Км-519-70		0.34	0.0912	0.0006	0.0483	0.2523	0.0037	0.97	1451	13	1450	12	1450	19	1451	13
Км-519-71		0.20	0.0747	0.0005	0.0275	0.1786	0.0026	0.98	1059	13	1059	10	1059	14	1059	13
Км-519-72		0.20	0.0973	0.0007	0.0554	0.2765	0.0041	0.99	1572	12	1573	12	1574	21	1572	12
Км-519-73		0.21	0.0736	0.0005	0.0264	0.1732	0.0026	0.98	1031	13	1030	10	1030	14	1031	13
Км-519-74		0.22	0.0745	0.0005	0.0276	0.1779	0.0026	0.97	1055	13	1055	10	1055	14	1055	13
Км-519-75		0.59	0.2113	0.0014	0.2488	0.5715	0.0084	0.99	2916	11	2915	14	2914	35	2916	11

Таблица 1. Продолжение

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}^c$ , %	Th/U	Изотопные отношения				Rho	Возраст, млн лет									
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	CA	$1\sigma$		
Км-519-76		0.42	0.1150	0.0008	5.3774	0.0821	0.3392	0.0050	0.97	1880	12	1881	13	1883	24	1880	12
Км-519-78		0.47	0.1241	0.0009	6.2821	0.0974	0.3672	0.0055	0.96	2016	12	2016	14	2016	26	2016	12
Км-519-79		0.43	0.2124	0.0014	16.8006	0.2510	0.5737	0.0085	0.99	2924	11	2924	14	2923	35	2924	11
Км-519-81		0.19	0.0739	0.0005	1.7840	0.0268	0.1751	0.0026	0.98	1039	13	1040	10	1040	14	1039	13
Км-519-82		0.97	0.1151	0.0008	5.3782	0.0808	0.3390	0.0050	0.98	1881	12	1881	13	1882	24	1881	12
Км-519-96		0.51	0.0811	0.0007	2.3328	0.0434	0.2087	0.0039	1.00	1223	16	1222	13	1222	21	1223	16
Км-519-97		0.29	0.0731	0.0006	1.7187	0.0336	0.1706	0.0032	0.96	1015	17	1016	13	1016	18	1015	17
Км-519-98		0.62	0.0805	0.0007	2.2919	0.0433	0.2065	0.0039	0.99	1209	17	1210	13	1210	21	1209	17
Км-519-99		1.35	0.1609	0.0013	10.3334	0.1923	0.4659	0.0087	0.90	2465	14	2465	17	2465	38	2465	14
Км-519-100		0.44	0.1574	0.0013	9.9140	0.1874	0.4567	0.0086	0.99	2428	14	2427	17	2425	38	2428	14
Км-519-101		0.88	0.0856	0.0007	2.7160	0.0513	0.2300	0.0043	0.99	1330	16	1333	14	1335	22	1330	16
Км-519-102		0.82	0.0812	0.0007	2.3359	0.0460	0.2088	0.0039	0.95	1225	17	1223	14	1222	21	1225	17
Км-519-103		0.39	0.1255	0.0010	6.4231	0.1190	0.3713	0.0069	0.90	2036	15	2035	16	2035	32	2036	15
Км-519-104		0.30	0.0726	0.0006	1.6855	0.0338	0.1683	0.0032	0.94	1004	18	1003	13	1003	17	1004	18
Км-519-105		0.37	0.0722	0.0007	1.6571	0.0352	0.1666	0.0032	0.90	990	19	992	13	993	18	993	18
Км-519-106		0.22	0.0726	0.0006	1.6934	0.0317	0.1691	0.0032	1.00	1004	17	1006	12	1007	17	1004	17
Км-519-107		0.34	0.1204	0.0010	5.8994	0.1092	0.3555	0.0066	0.90	1962	15	1961	16	1961	31	1962	15
Км-519-109		0.59	0.0752	0.0008	1.8820	0.0450	0.1816	0.0037	0.85	1073	21	1075	16	1076	20	1073	21
Км-519-110		0.41	0.0733	0.0007	1.7319	0.0345	0.1715	0.0033	0.98	1021	18	1020	13	1020	18	1021	18
Км-519-111		0.31	0.1318	0.0012	7.0885	0.1382	0.3902	0.0076	1.00	2121	15	2123	17	2124	35	2121	15
Км-519-112		0.51	0.0896	0.0008	3.0379	0.0592	0.2460	0.0048	1.00	1416	17	1417	15	1418	25	1416	17
Км-519-113		0.50	0.0747	0.0007	1.8378	0.0362	0.1784	0.0035	0.99	1061	18	1059	13	1058	19	1061	18
Км-519-114		0.40	0.1297	0.0011	6.8642	0.1324	0.3837	0.0074	0.90	2094	15	2094	17	2094	35	2094	15
Км-519-115		0.27	0.0949	0.0008	3.4904	0.0673	0.2668	0.0052	0.90	1526	16	1525	15	1524	26	1526	16
Км-519-116		0.28	0.0719	0.0006	1.6423	0.0322	0.1656	0.0032	0.99	984	18	987	12	988	18	988	18
Км-519-117		2.17	0.1300	0.0011	3.4338	0.0662	0.1916	0.0037	0.90	2098	15	1512	15	1130	20	2098	15
Км-519-118		0.30	0.0784	0.0007	2.1225	0.0419	0.1964	0.0038	0.99	1156	18	1156	14	1156	21	1156	18
Км-519-119		0.48	0.1200	0.0010	4.7229	0.0905	0.2856	0.0055	0.90	1955	16	1771	16	1619	28	1955	16
Км-519-120		0.40	0.0812	0.0007	2.3441	0.0453	0.2095	0.0041	0.90	1226	17	1226	14	1226	22	1226	17
Км-519-121		0.29	0.0814	0.0007	2.3606	0.0471	0.2103	0.0041	0.98	1231	17	1231	14	1231	22	1231	17
Км-519-122		0.33	0.0707	0.0006	1.5428	0.0307	0.1584	0.0031	0.98	947	18	948	12	948	17	948	17
Км-519-123		0.39	0.0709	0.0006	1.5620	0.0316	0.1599	0.0031	0.97	954	18	955	13	956	17	956	17

Таблица 1. Окончание

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}_c, \%$	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет							
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$		$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	
																	$1\sigma$
Бортниковская свита (обр. Км-648)																	
Км-648-4		0.34	0.0729	0.0007	1.7108	0.0369	0.1701	0.0036	0.9	1012	18	1013	14	1013	20	2012	18
Км-648-5		0.52	0.1294	0.0012	6.8324	0.1443	0.3829	0.008	0.9	2090	16	2090	19	2090	37	2090	16
Км-648-6		1.49	0.0977	0.0009	3.7515	0.0801	0.2785	0.0059	0.9	1580	17	1584	17	1584	29	1580	17
Км-648-7		0.35	0.0772	0.0007	1.6247	0.0356	0.1527	0.0032	0.9	1126	18	916	14	916	18	1126	18
Км-648-10		0.39	0.0848	0.0008	2.412	0.0545	0.2063	0.0044	0.9	1311	19	1209	16	1209	23	1311	19
Км-648-11		0.29	0.129	0.0012	6.787	0.1445	0.3815	0.008	0.9	2085	16	2083	19	2083	37	2085	16
Км-648-12		0.74	0.1954	0.0019	14.595	0.3121	0.5418	0.0114	0.9	2788	15	2791	20	2791	48	2788	15
Км-648-13	2.25	0.35	0.0864	0.0021	1.1113	0.0444	0.0933	0.002	0.87	1346	45	759	21	575	12	1346	45
Км-648-14		0.38	0.0774	0.0007	2.0498	0.0432	0.192	0.004	0.9	1133	18	1132	14	1132	22	1133	18
Км-648-15		0.30	0.0716	0.0008	1.6092	0.0399	0.1629	0.0035	0.9	975	22	974	16	973	19	973	19
Км-648-16		0.45	0.0704	0.0007	1.5326	0.0331	0.1579	0.0033	0.9	940	19	944	13	945	18	945	18
Км-648-17		0.21	0.0815	0.0008	2.3655	0.0499	0.2105	0.0044	0.9	1234	18	1232	15	1232	24	1234	18
Км-648-18		0.28	0.0899	0.0008	2.3346	0.0491	0.1885	0.004	0.9	1423	18	1223	15	1113	21	1423	18
Км-648-19		0.19	0.0812	0.0008	2.3411	0.0498	0.2093	0.0044	0.9	1225	18	1225	15	1225	23	1225	18
Км-648-20		1.10	0.1587	0.0015	10.067	0.214	0.46	0.0097	0.9	2442	16	2441	20	2440	43	2442	16
Км-648-21		0.46	0.089	0.0008	2.983	0.0634	0.2432	0.0051	0.9	1403	18	1403	16	1403	27	1403	18
Км-648-22		0.80	0.094	0.0009	3.4088	0.0733	0.263	0.0056	0.9	1508	18	1506	17	1505	28	1508	18
Км-648-23		0.40	0.0961	0.0009	3.5963	0.0768	0.2716	0.0057	0.9	1549	17	1549	17	1549	29	1549	17
Км-648-24		0.29	0.0958	0.0009	3.5639	0.0762	0.2699	0.0057	0.9	1543	18	1542	17	1540	29	1543	18
Км-648-25	1.02	0.91	0.1221	0.0033	5.0289	0.2313	0.2988	0.007	0.9	1987	47	1824	39	1685	35	1987	47
Км-648-26	4.01	0.76	0.0964	0.0034	2.4676	0.1331	0.1856	0.0043	0.88	1556	65	1263	39	1098	23	1556	65
Км-648-27		0.32	0.0728	0.0007	1.6807	0.0364	0.1674	0.0035	0.9	1009	19	1001	14	998	19	1009	19
Км-648-28		0.27	0.073	0.0007	1.7102	0.0361	0.17	0.0036	0.9	1013	19	1012	14	1012	20	1013	19
Км-648-29		0.82	0.0759	0.0007	1.7811	0.0381	0.1703	0.0036	0.9	1091	18	1039	14	1014	20	1091	18
Км-648-30		0.3	0.0955	0.0009	3.5557	0.0755	0.27	0.0057	0.9	1538	17	1540	17	1541	29	1538	17
Км-648-31		0.24	0.0723	0.0008	1.6617	0.0396	0.1668	0.0036	0.9	993	20	994	15	994	20	994	20
Км-648-32		0.29	0.0752	0.0007	1.7083	0.0372	0.1649	0.0035	0.9	1073	18	1012	14	984	19	1073	18
Км-648-33		0.3	0.0786	0.0008	2.0444	0.0466	0.1886	0.004	0.9	1163	19	1130	16	1114	22	1163	19
Км-648-34		0.33	0.0849	0.0008	2.6485	0.0567	0.2262	0.0048	0.9	1314	17	1314	16	1314	25	1314	17

Примечание.  $^{206}\text{Pb}_c, \%$  – содержание обычного Pb, Rho – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , SA – значение конкордантного возраста (Concordia Age).

**Таблица 2.** Результаты U–Th–Pb LA-ICP-MS геохронологических исследований детритового циркона из позднепротерозойских песчаников (скв. Быховская-1)

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}_c, \%$	Th/U	Изотопные отношения				Rho	Возраст, млн лет									
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$				
			$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$		$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$				
Оршанская свита (обр. Вh-706)																	
Vh-706-1		0.77	0.1224	0.0011	6.1038	0.1260	0.3617	0.0075	1.00	1992	16	1991	18	1990	35	1992	6
Vh-706-2		0.85	0.1227	0.0011	6.1348	0.1274	0.3628	0.0075	1.00	1995	16	1995	18	1995	35	1996	9
Vh-706-3		0.33	0.1237	0.0012	6.2443	0.1304	0.3661	0.0076	0.99	2010	16	2011	18	2011	36	2010	11
Vh-706-33		0.91	0.1226	0.0011	6.1444	0.1225	0.3634	0.0073	0.90	1995	16	1997	17	1998	34	1996	26
Vh-706-39		1.27	0.1224	0.0011	6.1196	0.1233	0.3625	0.0073	0.99	1992	16	1993	18	1994	34	1992	9
Vh-706-40		0.49	0.1308	0.0012	6.9817	0.1393	0.3873	0.0077	0.90	2108	16	2109	18	2110	36	2109	26
Vh-706-41		0.58	0.1212	0.0011	5.9889	0.1192	0.3583	0.0072	0.90	1974	16	1974	17	1974	34	1974	26
Vh-706-43		0.64	0.1225	0.0011	6.1273	0.1230	0.3628	0.0073	1.00	1993	16	1994	18	1996	34	1993	8
Vh-706-48		0.48	0.1227	0.0011	6.1311	0.1244	0.3625	0.0074	1.00	1996	16	1995	18	1994	35	1996	6
Vh-706-49		0.76	0.1313	0.0012	7.0296	0.1426	0.3882	0.0079	1.00	2116	16	2115	18	2115	37	2116	4
Vh-706-50		0.60	0.1219	0.0011	6.0792	0.1234	0.3616	0.0073	1.00	1985	16	1987	18	1990	35	1985	7
Vh-706-52		0.76	0.1227	0.0011	6.1299	0.1240	0.3625	0.0073	0.90	1995	16	1995	18	1994	35	1995	26
Vh-706-54		0.41	0.1291	0.0012	6.7553	0.1371	0.3796	0.0077	1.00	2085	16	2080	18	2075	36	2085	7
Vh-706-56		0.41	0.0782	0.0007	2.1165	0.0437	0.1964	0.0040	0.98	1151	18	1154	14	1156	21	1151	15
Vh-706-59		0.45	0.1214	0.0011	6.0068	0.1228	0.3590	0.0074	0.90	1976	16	1977	18	1977	35	1977	26
Vh-706-62		0.75	0.1213	0.0011	6.0026	0.1238	0.3590	0.0074	1.00	1975	16	1976	18	1977	35	1975	8
Vh-706-64		0.39	0.1212	0.0011	5.9915	0.1224	0.3585	0.0074	0.90	1974	16	1975	18	1975	35	1974	26
Vh-706-65		0.33	0.1096	0.0010	4.8468	0.0989	0.3208	0.0066	0.90	1793	16	1793	17	1793	32	1793	26
Vh-706-66		0.74	0.1211	0.0011	5.9916	0.1224	0.3588	0.0074	0.90	1973	16	1975	18	1976	35	1974	26
Vh-706-67		0.91	0.1215	0.0011	6.0247	0.1231	0.3595	0.0074	0.90	1979	16	1979	18	1980	35	1979	26
Vh-706-68		0.50	0.1203	0.0011	6.0105	0.1241	0.3623	0.0075	1.00	1961	16	1977	18	1993	35	1961	9
Vh-706-70		0.90	0.1113	0.0010	5.0090	0.1024	0.3264	0.0067	0.90	1821	16	1821	17	1821	33	1821	26
Vh-706-71		0.31	0.1095	0.0010	4.8420	0.0990	0.3208	0.0065	1.00	1791	16	1792	17	1794	32	1791	8
Vh-706-76		0.97	0.1224	0.0011	6.0887	0.1243	0.3609	0.0074	1.00	1991	16	1989	18	1986	35	1991	7
Vh-706-81		0.92	0.1226	0.0011	6.1221	0.1260	0.3623	0.0074	0.99	1994	15	1993	18	1993	35	1994	11
Vh-706-82		0.57	0.1211	0.0011	5.9788	0.1228	0.3579	0.0073	0.99	1973	15	1973	18	1972	35	1973	10
Vh-706-83		0.43	0.1219	0.0011	6.0589	0.1237	0.3604	0.0074	1.00	1985	15	1984	18	1984	35	1985	7

Таблица 2. Продолжение

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}^{c\%}$	Th/U	Изотопные отношения				Rho	Возраст, млн лет									
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	CA	$1\sigma$		
Bh-706-85		0.80	0.1269	0.0012	6.5690	0.1376	0.3755	0.0078	1.00	2055	16	2055	18	2055	37	2055	8
Bh-706-87		0.96	0.1209	0.0011	5.9680	0.1243	0.3580	0.0075	0.90	1970	16	1971	18	1973	35	1970	28
Bh-706-88		0.53	0.1229	0.0011	6.1446	0.1273	0.3626	0.0075	0.90	1999	16	1997	18	1995	36	1998	28
Bh-706-90		1.52	0.1223	0.0011	6.0947	0.1263	0.3614	0.0075	0.90	1990	16	1989	18	1989	36	1990	28
Bh-706-96		0.42	0.1217	0.0011	6.0521	0.1253	0.3608	0.0075	0.90	1981	16	1983	18	1986	36	1982	28
Bh-706-97		1.92	0.1278	0.0012	6.6432	0.1404	0.3770	0.0079	0.99	2068	16	2065	19	2062	37	2068	12
Bh-706-98		0.56	0.1340	0.0012	7.3021	0.1412	0.3954	0.0076	1.00	2151	14	2149	17	2148	35	2150	8
Bh-706-100		1.08	0.1227	0.0011	6.1518	0.1186	0.3635	0.0070	0.90	1996	15	1998	17	1999	33	1997	26
Bh-706-102		0.39	0.1198	0.0010	5.8377	0.1124	0.3535	0.0068	0.90	1953	15	1952	17	1951	32	1952	26
Bh-706-103		0.76	0.1250	0.0011	6.3559	0.1228	0.3688	0.0071	1.00	2029	15	2026	17	2024	33	2029	7
Bh-706-104		0.60	0.1244	0.0011	6.3070	0.1213	0.3679	0.0071	0.90	2020	14	2019	17	2019	33	2020	26
Bh-706-105		1.06	0.1273	0.0011	6.6206	0.1303	0.3772	0.0073	0.99	2061	15	2062	17	2063	34	2061	13
Bh-706-106		0.63	0.1275	0.0011	6.6314	0.1278	0.3773	0.0073	0.90	2064	14	2064	17	2063	34	2064	26
Bh-706-107		0.80	0.1216	0.0011	6.0277	0.1171	0.3597	0.0070	0.99	1979	15	1980	17	1981	33	1979	9
Bh-706-108		0.65	0.1289	0.0011	6.7873	0.1308	0.3820	0.0074	0.90	2083	14	2084	17	2086	34	2083	26
Bh-706-109		0.56	0.1208	0.0010	5.9619	0.1149	0.3579	0.0069	0.90	1969	15	1970	17	1972	33	1969	26
Руднянская свита (обр. Вh-735)																	
Bh-735-02		1.16	0.1219	0.0011	5.8825	0.1195	0.3500	0.0069	0.97	1985	16	1959	18	1934	33	1981	16
Bh-735-03		0.52	0.1321	0.0012	6.9383	0.1390	0.3810	0.0075	0.98	2126	15	2104	18	2081	35	2124	13
Bh-735-05		0.74	0.1200	0.0011	5.8760	0.1238	0.3550	0.0071	0.95	1957	16	1958	18	1959	34	1957	23
Bh-735-06		0.26	0.1225	0.0011	6.1369	0.1228	0.3633	0.0071	0.98	1993	15	1996	17	1998	34	1998	13
Bh-735-10		0.36	0.1218	0.0011	6.0472	0.1217	0.3600	0.0071	0.98	1983	16	1983	18	1982	34	1983	15
Bh-735-11		0.8	0.1198	0.0012	5.8229	0.1290	0.3524	0.0072	0.92	1954	17	1950	19	1946	34	1952	29
Bh-735-12		0.56	0.1223	0.0011	6.1115	0.1237	0.3624	0.0071	0.97	1990	16	1992	18	1993	34	1991	16
Bh-735-18		0.29	0.1226	0.0011	6.3726	0.1258	0.3771	0.0074	0.99	1994	15	2028	17	2063	35	2063	7
Bh-735-19		0.79	0.1275	0.0011	6.6539	0.1312	0.3785	0.0074	1.00	2064	15	2067	17	2069	35	2069	7
Bh-735-26		0.39	0.1091	0.0010	4.7981	0.0978	0.3189	0.0064	0.99	1785	16	1785	17	1785	31	1785	11
Bh-735-27		0.94	0.1226	0.0011	6.1270	0.1250	0.3625	0.0073	0.99	1995	16	1994	18	1994	35	1994	11

Таблица 2. Окончание

Точка анализа	$^{206}\text{Pb}_c, \%$	Th/U	Изотопные отношения				Rho	Возраст, млн лет									
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	СА	$1\sigma$
Bh-735-29		0.59	0.1212	0.0011	5.9789	0.1232	0.3579	0.0073	0.98	1974	16	1973	18	1972	34	1973	13
Bh-735-33		0.62	0.1204	0.0011	5.8984	0.1204	0.3554	0.0072	0.99	1962	16	1961	18	1960	34	1962	11
Bh-735-34		0.49	0.1227	0.0011	6.1277	0.1245	0.3624	0.0073	0.99	1995	16	1994	18	1993	35	1995	10
Bh-735-41		0.62	0.1214	0.0006	5.9839	0.0639	0.3577	0.0036	0.94	1976	8	1974	9	1971	17	1975	12
Bh-735-43		0.67	0.1223	0.0006	6.1204	0.0664	0.3629	0.0036	0.93	1990	8	1993	9	1996	17	1991	14
Bh-735-46		0.48	0.1212	0.0006	5.9773	0.0652	0.3579	0.0036	0.92	1973	8	1973	9	1972	17	1973	14
Bh-735-48		0.67	0.1270	0.0007	6.6082	0.0825	0.3773	0.0040	0.85	2057	9	2060	11	2064	19	2059	20
Bh-735-49		0.48	0.1223	0.0011	6.0951	0.1242	0.3614	0.0072	0.97	1990	16	1990	18	1989	34	1990	16
Bh-735-50		0.54	0.1275	0.0012	6.6078	0.1347	0.3760	0.0075	0.97	2063	16	2060	18	2058	35	2063	16
Bh-735-61		0.76	0.1297	0.0011	6.8645	0.1347	0.3838	0.0075	1.00	2094	15	2094	17	2094	35	2094	6
Bh-735-63		0.7	0.1205	0.0011	5.9128	0.1171	0.3558	0.0070	0.99	1964	15	1963	17	1962	33	1964	9
Bh-735-64		0.63	0.1218	0.0011	6.0354	0.1182	0.3596	0.0070	1.00	1982	15	1981	17	1980	33	1982	5
Bh-735-67		1.08	0.1221	0.0011	6.0547	0.1217	0.3597	0.0071	0.98	1987	16	1984	18	1981	34	1987	14
Bh-735-70		0.7	0.1290	0.0011	6.7559	0.1336	0.3799	0.0075	0.99	2084	15	2080	17	2076	35	2084	9
Bh-735-71		0.54	0.1309	0.0012	6.9888	0.1390	0.3874	0.0076	0.99	2110	16	2110	18	2111	35	2111	11
Bh-735-72		1.23	0.1237	0.0011	6.2452	0.1263	0.3663	0.0072	0.98	2010	16	2011	18	2012	34	2010	15
Bh-735-79		0.62	0.1223	0.0011	6.0984	0.1221	0.3618	0.0071	0.98	1990	16	1990	17	1991	34	1991	13
Bh-735-80		0.39	0.1208	0.0011	5.9289	0.1177	0.3559	0.0070	0.99	1969	16	1965	17	1963	33	1968	11
Bh-735-81		0.79	0.1190	0.0011	5.7729	0.1193	0.3519	0.0070	0.96	1941	16	1942	18	1944	33	1941	20
Bh-735-85		0.37	0.1215	0.0011	6.0163	0.1196	0.3591	0.0071	0.99	1979	16	1978	17	1978	33	1979	11
Bh-735-87		0.68	0.1264	0.0011	6.4581	0.1292	0.3706	0.0073	0.99	2048	16	2040	18	2032	34	2048	12
Bh-735-89		0.42	0.1222	0.0011	6.0642	0.1208	0.3598	0.0071	0.99	1989	16	1985	17	1981	34	1989	11
Bh-735-92		0.43	0.1214	0.0011	5.9967	0.1198	0.3582	0.0071	0.99	1977	16	1975	17	1974	34	1977	11
Bh-735-97		1	0.1208	0.0011	5.9461	0.1238	0.3569	0.0071	0.96	1969	16	1968	18	1967	34	1968	20

Примечание.  $^{206}\text{Pb}_c, \%$  – содержание обычного Pb, Rho – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , СА – значение конкордантного возраста (Concordia Age).

**Таблица 3.** Результаты U–Th–Pb датирования детритового циркона из рифейских песчаников шеровичской (обр. Km-648) и белорусской серий (обр. Km-519, Vh-735 и Vh-706)

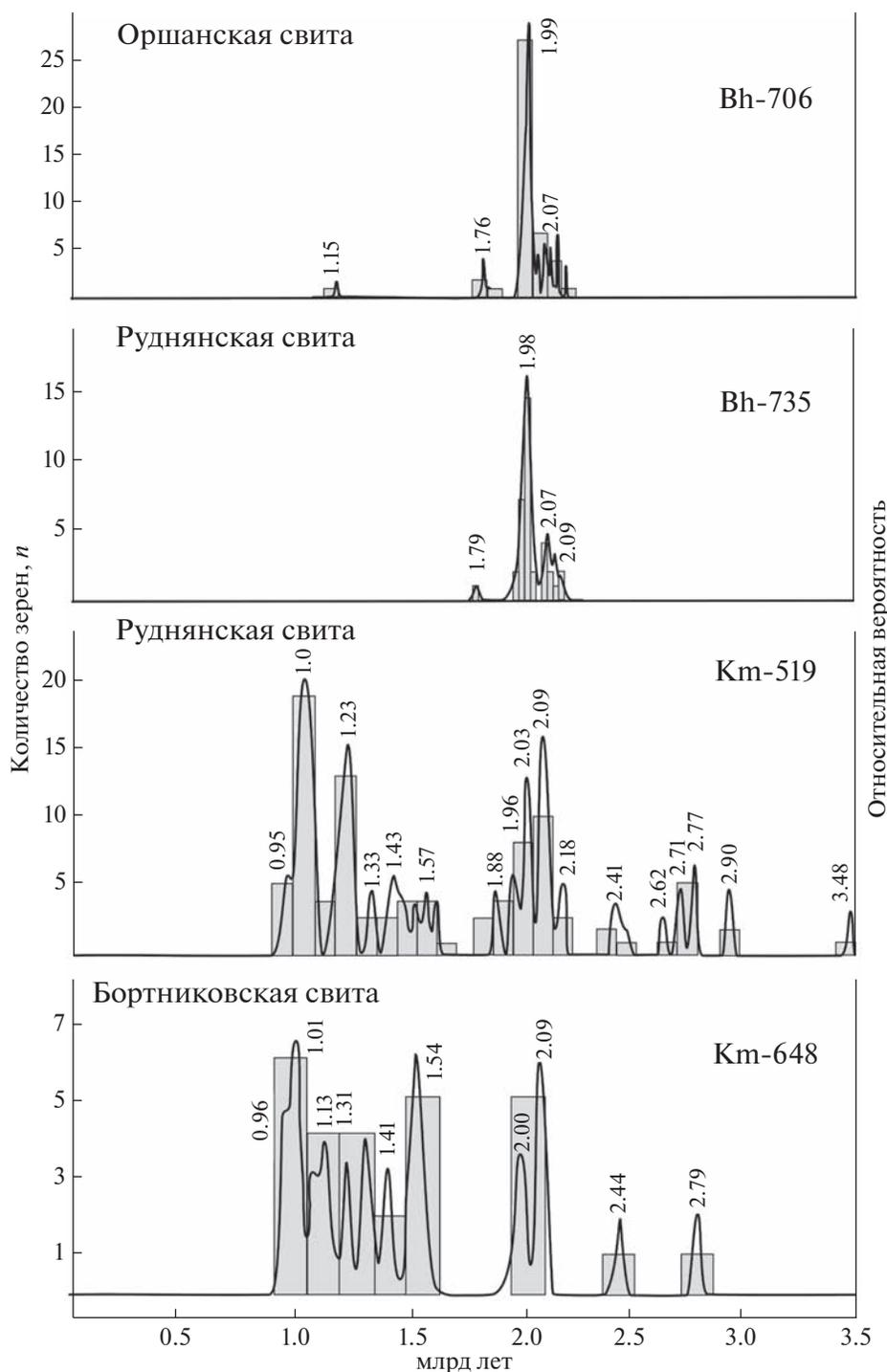
Характеристики детритовых цирконов: возрастной диапазон популяций (количество зерен, <i>n</i> , пик максимальной вероятности*) и возраст единичных зерен (млн лет)**				Тектонические события, возраст питающих провинций
Km-648 бортниковская свита	Km-519 руднянская свита	Vh-735 руднянская свита	Vh-706 оршанская свита	
<b>945–1091</b> , ( <i>n</i> = 8, 1006) <b>1163–1126</b> ( <i>n</i> = 3, 1131)	<b>948–1086</b> , ( <i>n</i> = 26, 954, 1031)		1151**	Свеконорвежская (гренильская) (?) орогения, Фенноскандия (?) (960–1140 млн лет)
(1225, 1234)** ( <i>n</i> = 2) <b>1311–1346</b> ( <i>n</i> = 3, 1314) <b>1403–1423</b> ( <i>n</i> = 3, 1412)	<b>1153–1248</b> ( <i>n</i> = 15, 1227) <b>1319–1342</b> ( <i>n</i> = 3, 1333) <b>1416–1484</b> ( <i>n</i> = 6, 1426)			Данополонская орогения (1420–1470 млн лет), телемаркская орогения (1480–1520 млн лет)
<b>1508–1580</b> ( <i>n</i> = 6, 1543)	(1526–1626)** ( <i>n</i> = 6)			Готская орогения, Фенноскандия (1550–1730 млн лет)
1987** ( <i>n</i> = 1)	<b>1955–1989</b> ( <i>n</i> = 6, 1962)	1785** <b>1998–1941</b> ( <i>n</i> = 24, 1982)	<b>1821–1791</b> ( <i>n</i> = 3, 1796) <b>1998–1952</b> ( <i>n</i> = 27, 1985)	Осницко-Микашевичский ороген, северо-запад Сарматии (1800–2000 млн лет)
	<b>2014–2038</b> ( <i>n</i> = 7, 2027)	<b>2010–2069</b> ( <i>n</i> = 6, 2066)	<b>2010–2068</b> , ( <i>n</i> = 7, 2068)	Постколлизийный магматизм, северо-запад Сарматии (2020–2070 млн лет)
(2090, 2085)** ( <i>n</i> = 2)	<b>2079–2121</b> ( <i>n</i> = 10, 2095)	<b>2084–2111</b> ( <i>n</i> = 3, 2093)	(2083–2116)**	Гранулитовый метаморфизм, северо- запад Сарматии (2070–2100 млн лет)
(2442–2788)** ( <i>n</i> = 2)	<b>2161–2183</b> ( <i>n</i> = 3, 2175) (2412–2710)** ( <i>n</i> = 6) <b>2761–2772</b> ( <i>n</i> = 3, 2769) (2916–3481)** ( <i>n</i> = 3)	2124**	2150**	Породы комплексов Сарматии (2100–3300 млн лет)

Примечание. (\*) пик – максимум вероятности возраста ( $2\sigma$ ) на кривой относительной вероятности; (\*\*) единичные зерна, не образующие популяций.

против, песчаники шеровичской и белорусской серий в скв. Кормянская, расположенной южнее на 25 км от скв. Быховская, сложены продуктами разрушения пород разновозрастных источников: средне- и раннерифейского (мезопротерозойского) – 0.95–1.58 млрд лет, раннепротерозойского (палеопротерозойского) – 1.88–2.44 млрд лет и даже архейского – 2.62–3.48 млрд лет. Наблюдаемые различия возрастных популяций циркона в песчаниках белорусской серии в трех близко рас-

положенных скважинах указывают на изменение состава питающих областей ВОП в рифейское время. Вероятно, главной причиной такого различия является сложное блоковое строение дна палеопротрибы, влиявшее на пути транспортировки терригенного материала.

Скважины Быховская и Кормянская пробурены в пределах восточной прибортовой Оршанской зоны ВОП, поэтому очевидно, что ведущим источником зерен обломочного циркона ранне-



**Рис. 4.** Гистограмма распределения и график относительной вероятности для U–Pb возрастов детритового циркона из рифейских песчаников шеровичской (обр. Km-648) и белорусской серий (обр. Km-519, Bh-735 и Bh-706).

протерозойского и архейского возраста могли выступать различные кристаллические комплексы прежде всего Сарматии. Кристаллические породы с возрастом 1.8–3.7 млрд лет широкого распространены в фундаменте Сарматии (Бибикина и др., 1995, 2008; Bogdanova et al., 2008). Породы с

таким же древним возрастом присутствуют в фундаменте Фенноскандии (Nuhma et al., 2004; Lahtinen et al., 2005; Слабунов и др., 2006; Балтыбаев и др., 2009), обрамляющей ВОП с севера.

В зоне сочленения Сарматии и Волго-Уралии (Волго-Сарматский ороген) и в пределах Средне-

Русского орогена, примыкающего к ВОП с северо-востока (рис. 1), преобладают породы раннепротерозойского возраста — 1.8–2.1 млрд лет (Аксаментова, 2002; Lahtinen et al., 2005; Бибикина и др., 2009; Савко и др., 2017, 2019; Бурмистров и др., 2019; Kuzmenkova et al., 2019a, 2019b; Кузнецов и др., 2019). К этому этапу относятся гранодиориты микашевичского комплекса, которые вскрыты скв. Кормянская на глубине более 660 м. Породы этого комплекса образуют крупные массивы, слагающие до 70% площади Осницко-Микашевичского магматического (вулканоплутонического) пояса, который протягивается вдоль Сарматского сегмента ВЕП и вдоль южного борта ВОП на 650 км (Аксаментова, 2002). Согласно геохронологическим данным, интрузивные и эффузивные породы Осницко-Микашевичского пояса кристаллизовались в интервале 1.97–2.00 млрд лет (Щербак и др., 1990; Аксаментова, 2002; Шумлянский, 2014). Таким образом, продукты разрушения именно раннепротерозойских гранулитовых и постколлизийных орогенных комплексов формируют терригенные отложения, вскрытые в скв. Быховская.

Доля зерен циркона из раннепротерозойских комплексов в песчаниках скв. Кормянская занимает значительно меньшую (одну четверть) часть, а доля зерен циркона из архейских комплексов в этих песчаниках еще меньше — около одной десятой от общей выборки. Две трети зерен детритового циркона в песчаниках скв. Кормянская имеют ранне- и среднерифейский (мезопротерозойский) возраст — 950–1580 млн лет. Магматические породы такого возраста в пределах Сарматии пока не известны (рис. 1). Нахождение циркона с возрастом около 1 млрд лет в песчаниках шеровичской серии может указывать на пока не обнаруженный источник сноса, расположенный в непосредственной близости от места бурения скв. Кормянская. Потенциальными источниками циркона с возрастом 1.5 млрд лет могли быть аноксидит-гранитные магматические комплексы, широко развитые на юго-западе Фенноскандии, в том числе мостовский и гродненский комплексы Беларуси (Пискун и др., 2020), находящиеся в 400 км от скв. Кормянская. Однако также вероятным может быть предположение о привносе обломочного материала с возрастом 950–1580 млн лет из более дальних областей. На длительный перенос указывает значительная доля зерен циркона магматического генезиса с сильной и средней степенью окатанности (рис. 3). Магматические породы мезопротерозойского возраста известны среди кристаллических комплексов Фенноскандии, в пределах которой широко развиты огромные поля гранитов-рапакиви готского возраста (1.50–1.62 млрд лет; Ларин, 2011), магматические породы данополонского и телемарского орогенов (1.42–1.52 млрд лет; Bingen, Solli, 2009; Wiszniewska, Krzemińska, 2021), а

также гренвильские магматические комплексы Свеко-Норвегии (0.95–1.22 млрд лет; Andersson et al., 2002; Bingen et al., 2003; Bingen, Solli, 2009; Bogdanova et al., 2008). Интересно отметить, что популяции циркона с возрастом ~980–1540 млн лет также установлены в тиллитах глусской свиты вильчанской серии венда и в песчаниках страдческой свиты раннего кембрия, тогда как в породах волынской и валдайской серий венда зерен циркона такого возраста не обнаружено (Paszkowski et al., 2019). Это различие ясно указывает на расширение области сноса в раннем венде и раннем кембрии в пределах западной окраины ВЕП.

Проблема появления зерен детритового циркона гренвильского и готского возраста уже поднималась при рассмотрении позднерифейских и вендских осадочных пород восточной (уральской) окраины Восточно-Европейской платформы (Кузнецов и др., 2012; Kuznetsov et al., 2014; Зайцева и др., 2022). В качестве вероятного источника гренвильских цирконов для терригенных пород позднего рифея на востоке Балтики предлагались орогены квинслендской окраины Австралии, при этом территории древнего континента Балтика исключались как потенциальные области сноса (Kuznetsov et al., 2014; Кузнецов, Романюк, 2021). Главным аргументом была значительная (более 2500 км) удаленность свеконорвежских комплексов и отсутствие путей доставки обломочного материала на противоположный край Балтики. В частности, современная ориентировка палеопрогибов (авлакогенов) не имеет прямой связи между западной (свеконорвежской) и восточной (уральской) окраиной Балтики. Однако анализ данных показал, что цирконы из свеконорвежских комплексов и гранитов-рапакиви Фенноскандии доминировали в терригенных породах начала и середины позднего рифея (Маслов и др., 2018; Зайцева и др., 2022), а в венде их доля только увеличилась. Поскольку не во всех палеорекострукциях Австралийский континент был причленен к Балтике в неопротерозое (позднем рифее и венде), перенос обломочного материала на 1800–2500 км внутри континента выглядит предпочтительным (Зайцева и др., 2022).

Волыно-Оршанский палеопрогиб расположен между двумя мегаблоками Сарматия и Фенноскандия. Учитывая, что гренвильский ороген со Свеконорвежским блоком представлял собой возвышенную форму рельефа в позднем рифее, он и продуцировал главный объем обломочного материала в пределах Фенноскандии, которая, в свою очередь, непосредственно примыкала к палеопрогибу. В этом случае весь обломочный материал без промежуточных ванн переносился в пониженные формы рельефа, в палеопрогибы (авлакогены), возникшие внутри континента Балтика. Потенциальными поставщиками обломочного циркона могли быть как мазурский, мостовский и гроднен-

ский анортозит-гранитные комплексы (возраст 1.5 млрд лет), расположенные в 400–500 км от изученных скважин, так и фенноскандинавские массивы гранитов-рапакиви (1.5–1.6 млрд лет), удаленные от ВОП на 500–1200 км, а также гренвильские комплексы Свеконорвегии (0.95–1.22 млрд лет), расположенные на расстоянии 1200–1500 км, либо неустановленный источник, локализованный в пределах Вольно-Оршанского палеопргиба.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены новые данные по U–Th–Pb возрасту зерен детритового циркона из песчаников шервичской и белорусской серий, возраст которых ранее считался условно среднерифейским. Результаты U–Th–Pb датирования впервые позволили выделить представительную популяцию циркона с возрастом 1 млрд лет в породах шервичской и белорусской серий в скв. Кормянской, что определяет возраст этих толщ как позднерифейский. Поскольку ранее возраст шервичской и белорусской серий считался среднерифейским, новые данные требуют пересмотра и уточнения региональной стратиграфической схемы рифея Вольно-Оршанского палеопргиба.

Преобладание зерен детритового циркона с возрастом около 1 млрд лет в рифейских песчаниках только в одной скважине (скв. Кормянская) среди всех изученных ранее скважин в пределах ВОП позволяет предполагать, что неустановленный источник детритового материала мог располагаться в непосредственной близости от района, в пределах которого пробурена скважина. Кроме того, возможными ранне- и среднерифейскими (мезопротерозойскими) источниками зерен детритового циркона в терригенных отложениях Вольно-Оршанского пргиба могли быть кристаллические комплексы гренвильского Свеконорвежского орогена (0.95–1.22 млрд лет), гранитов Фенноскандии (1.5 млрд лет), магматических и метаморфических комплексов Сарматии (1.8–3.7 млрд лет).

**Благодарности.** Авторы благодарны Н.Б. Кузнецову за ценные замечания, способствовавшие улучшению статьи, а также Т.В. Романюк за консультации при подготовке статьи к публикации.

**Источники финансирования.** Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГГД РАН (№ FMUW-2021-0003) на оборудовании ЦКП “АИРИЗ” (ИГГД РАН; Кузнецов и др., 2022).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айзберг Р.Е., Старчик Т.А. Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба. Минск: Беларусь. наука, 2013. 146 с. (Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т природопользования).

Аксаментова Н.В. Магматизм и палеогеодинамика раннепротерозойского Осницко-Микашевичского вулканоплутонического пояса. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2002. 176 с.

Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А., Левский Л.К. Свеконорвежский пояс Фенноскандии: пространственно-временная корреляция раннепротерозойских эндогенных процессов. СПб.: Наука, 2009. 328 с.

Балуев А.С. Геодинамика рифейского этапа эволюции северной пассивной окраины Восточно-Европейского кратона // Геотектоника. 2006. № 3. С. 23–38.

Бессонова В.Я. Базальные отложения рифея запада Русской платформы // Докл. АН СССР. 1968. Т. 178. № 5. С. 1149–1152.

Бибикова Е.В., Богданова С.В., Горбачев Р., Клаэссон С., Кириозова Т.И. Изотопный возраст, природа и структура докембрийской коры в Беларуси // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3. № 6. С. 68.

Бибикова Е.В., Лобач-Жученко С.Б., Артеменко Г.В., Клаэссон С., Коваленко А.В., Крылов И.Н. Позднеархейские магматические комплексы Приазовского террейна Украинского щита: геологическое положение, изотопный возраст, источники вещества // Петрология. 2008. Т. 16. № 3. С. 227–247.

Бибикова Е.В., Богданова С.В., Постников А.В., Попова Л.П., Кириозова Т.И., Фугзан М.М., Глушенко В.В. Зона сочленения Сарматии и Волго-Уралии: изотопно-геохронологическая характеристика супракrustальных пород и гранитоидов // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17. № 6. С. 3–16.

Брунс Е.П. Стратиграфия древних доордовикских отложений западной части Русской платформы // Сов. геология. 1957. № 59. С. 1–54.

Бурмистров В.Н., Гуринович М.П., Пискун О.А. U–Pb изотопный возраст и геотектоническая позиция палеопротерозойских чарнокитов брагинского гранулитового массива юго-востока Беларуси (северо-западная окраина Сарматии) // Літасфера. 2019. № 2 (51). С. 12–22.

Вейс А.Ф., Воробьева Н.Г. Новые данные о составе верхнерифейской древнинской микробиоты (Туруханский район Сибири) // Докл. АН. 1996. Т. 349. № 4. С. 499–503.

Великанов В.Я. Рифей України: стан вивченості, проблемні питання і задачі подальших досліджень // Зб. наук. пр. Укр. ДГРІ. 2010. № 3–4. С. 75–88.

Власов Б.И., Воловник Б.Я., Грузман Г.Г. Особенности строения и принцип расчленения полесской серии на Вольны // Геол. журн. 1972. Т. 32. Вып. 4. С. 56–67.

Гарецкий Р.Г. Эволюция платформенных областей // Літасфера. 2015. № 1(42). С. 3–19.

Геология Беларуси. Ред. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. и др. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. 815 с.

Голубкова Е.Ю., Кузьменкова О.Ф., Кушим Е.А., Лапцевич А.Г., Манкевич С.С., Плоткина Ю.В. Распространение микрофоссилий в отложениях венда Оршанской впадины Восточно-Европейской платформы, Беларусь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2021. Т. 29. № 6. С. 24–38.

- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Сергеева Н.Д., Адамская Е.В., Плоткина Ю.В.* U–Th–Pb возраст детритового циркона из оолитовых известняков укской свиты: следы гренвильских источников сноса в позднем рифее Южного Урала // Докл. АН. 2022. Т. 503. № 2. С. 14–20.
- Котык В.А., Марковский В.М., Маковская И.А.* Верхнепротерозойские отложения западных областей Украины по данным глубокого бурения // Тектоника и стратиграфия. 1976. № 11. С. 61–74.
- Кузнецов А.Б., Лобач-Жученко С.Б., Каулина Т.В., Константинова Г.В.* Палеопротерозойский возраст карбонатных пород и трондьемитов центральноприазовской серии: Sr–изотопная хемотратиграфия и U–Pb геохронология // Докл. АН. 2019. Т. 484. № 6. С. 71–74.
- Кузнецов А.Б., Зайцева Т.С., Сальникова Е.Б.* Центр коллективного пользования “АИРИЗ” (ИГГД РАН, Санкт-Петербург): научное оборудование, основные направления исследований и результаты // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13(2). 0584. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0584>
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В.* Пери-Гондванские блоки в структуре южного и юго-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы // Геотектоника. 2021. № 4. С. 3–40.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацлло А.В., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Меерт Дж.* Возраст детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала – подтверждение пространственной сопряженности Уральского края Балтики и Квинслендского края Австралии в Родинии (“Australia Upside Down conception”) // Литосфера. 2012. № 4. С. 59–77.
- Кузьменко Ю.Т., Шик С.М.* Уточненная стратиграфическая схема рифейских отложений центральной части Европейской России // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2006. Т. 81. Вып. 2. С. 29–39.
- Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г., Глаз Н.В.* К вопросу о бортниковской свите среднего рифея Беларуси // Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика. Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия, Санкт-Петербург, 2019 г. СПб.: Свое издательство, 2019а. С. 122–124.
- Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г., Кузнецов А.Б., Шумлянский Л.В., Голубкова Е.Ю., Зайцева Т.С., Манкевич С.С.* Актуальные вопросы стратиграфии рифея и венда Вольно-Оршанского палеоавлакогена запада Восточно-Европейской платформы // Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика. Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. Санкт-Петербург, 2019 г. СПб.: Свое издательство, 2019б. С. 125–127.
- Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Сорокин А.А., Сорокин А.П., Коршунов А.М., Великославинский С.Д., Яковлева С.З., Плоткина Ю.В.* Возраст и тектоническое положение гранитов и вулканитов восточного окончатия Селенгино-Витимского вулканоплутонического пояса // Докл. АН. 2011. Т. 441. № 3. С. 363–368.
- Маслов А.В., Ерохин Ю.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С.* Первые результаты U–Pb La–ICP–MS–изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Докл. АН. 2018. Т. 482. № 5. С. 558–561.
- Махнач А.С., Веретенников Н.В., Шкуратов В.И., Бордон В.Е.* Рифей и венд Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1976. 360 с.
- Муратов М.В., Микунов М.Ф., Чернова Е.С.* Основные этапы тектонического развития Русской платформы // Изв. вузов. Геология и разведка. 1962. № 11. С. 3–28.
- Нагорный М.А.* Тектоника Вольно-Среднерусской системы прогибов. Минск: Навука и тэхніка, 1990. 105 с.
- Пискун О.А., Гуринович М.П., Толкачикова А.А., Завадич Н.С.* Минералого-геохимические особенности гранитоидов мостовского комплекса кристаллического фундамента северо-запада Беларуси // Літасфера. 2020. № 2(53). С. 87–103.
- Савко К.А., Самсонов А.В., Холин В.М., Базиков Н.С.* Мегаблок Сарматия как осколок суперкратона Ваалбара: корреляция геологических событий на границе архея и палеопротерозоя // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25. № 2. С. 3–26.
- Савко К.А., Самсонов А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ларионов А.Н., Кориш Е.Х., Ковач В.П., Базикова Н.С.* Мезоархейские тоналит-трондьемит-гранодиоритовые ассоциации Восточной Сарматии: возраст и геологическое положение // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 4–18.
- 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.
- Сергеев В.Н.* Окремненне микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение. М.: ГЕОС, 2006. 280 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 567).
- Слабунов А.И., Лобач-Жученко С.Б., Бибикова Е.В., Балаганский В.В., Сорьонен-Вард П., Володичев О.И., Шипанский А.А., Светов С.А., Чекулаев В.П., Арестова Н.А., Степанов В.С.* Архей Балтийского щита: геология, геохронология, геодинамические обстановки // Геотектоника. 2006. № 6. С. 1–33.
- Сорохтин Н.О., Лобковский Л.И., Козлов Н.Е., Чикирѳев И.В., Никифоров С.Л.* Эволюция арктического бассейна и алмазность северной части Восточно-Европейской платформы // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 3(22). С. 3–20.
- Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України у двох томах. Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. Головний редактор Гожик П.Ф. Київ: ІГН НАН України, Логос, 2013. 637 с.
- Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси. Объяснительная записка. Ред. Веретенников Н.В., Кручек С.А., Матвеев А.В. и др. Минск: ГП “БелНИГРИ”, 2010. 282 с.
- Тектоника запада Восточно-Европейской платформы. Ред. Гарецкий Р.Г. Минск: Навука і тэхніка, 1990. 168 с.
- Тектоническая карта Белоруссии и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 500 000. Гл. ред. Гарецкий Р.Г. М.: б. и., 1974.

- Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Научный мир, 2001. 606 с.
- Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Сапожников Р.Б. Корреляция позднедокембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и в смежных палеоокеанических областях // Геотектоника. 2015. № 1. С. 31–59.
- Чамов Н.П. Стрoение и развитие Среднерусско-Беломорской провинции в неопротерозое Отв. ред. Леонов Ю.Г. М.: ГЕОС, 2016. 233 с.
- Шумлянський Л.В. Геохимия пород Осницко-Микашевичского вулканоплутонического пояса Украинского щита // Геохимия. 2014. № 11. С. 972–985.
- Щербак Н.П., Пан А.М., Бартницкий Е.Н., Заяц А.П. Уран-свинцовый изотопный возраст гранитоидов Белоруссии // Докл. АН БССР. 1990. Т. 34. № 8. С. 740–743.
- Andersson U., Neymark L.A., Billstrom K. Petrogenesis of the Mesoproterozoic (Subjotnian) rapakivi complexes of central Sweden: implications from U–Pb zircon ages, Nd, Sr and Pb isotopes // Trans. R. Soc. Edinburgh. Earth. Sci. 2002. V. 92. P. 201–228.
- Bingen B., Solli A. Geochronology of magmatism in the Caledonian and Sveconorwegian belts of Baltica: synopsis for detrital zircon provenance studies // Norwegian. J. Geol. 2009. V. 89. P. 267–290.
- Bingen B., Nordgulen O., Sigmond E.M.O., Tucker R.D., Mansfeld J., Hogdahl K. Relations between 1.19–1.13 Ga continental magmatism, sedimentation and metamorphism, Sveconorwegian province, S. Norway // Precambrian Res. 2003. V. 124. P. 215–241.
- 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 // Precambrian Res. 2008. V. 160. P. 23–45.
- Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Garetsky R.G. EUROPE East European Craton, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10020-X>
- Gehrels G.E. Detrital zircon U–Pb geochronology: current methods and new opportunities // Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances. Eds. Busby C., Azor A. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2012. P. 47–62.
- Horstwood M.S.A., Košler J., Gehrels G., Jackson S.E., McLean N.M., Paton Ch., Pearson N.J., Sircombe K., Sylvester P., Vermeesch P., Bowring J.F., Condon D.J., Schoene B. Community-derived standards for LA-ICP-MS U–(Th)–Pb geochronology – uncertainty propagation, age interpretation and data reporting // Geostand. Geoanal. Res. 2016. V. 40. P. 311–332.
- Huhma H., Mutanen T., Whitehouse M. Oldest rocks of the Fennoscandian Shield: the 3.5 Ga Siurua trondhjemite gneiss in the Archean Pudasjarvi granulite belt // Finland. GFF. 2004. V. 126. P. 10.
- 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.
- Kuzmenkova O., Bekker A., Hoffmann A., Shumlyansky L. The U–Pb zircon age of the Paleoproterozoic Koran granitoid complex (Belarus) // Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні: Збірник тез наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка. Київ, 2019а. Т. 1. С. 231–232.
- Kuzmenkova O., Samsonov A., Tolkachikova A. The U–Pb zircon age of the paleoproterozoic monzogabbro Uborok stock (Belarus) // Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні: Збірник тез наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка. Київ, 2019b. Т. 1. С. 233–234.
- Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. Ages of the detrital zircons (U/Pb, La-ICP-MS) from Latest Neoproterozoic–Middle Cambrian(?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the South-Western Urals: a testing of an Australia–Baltica connection within the Rodinia // Precambrian Res. 2014. V. 244. P. 288–305. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.09.011>
- Lahtinen R., Korja A., Nironen M. Paleoproterozoic tectonic evolution // Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Eds. Lehtinen M., Nurmi P.A., Rämö O.T. Amsterdam: Elsevier, 2005. P. 481–532.
- Lubnina N. Geodynamics of the East European Craton in the Middle Riphean according to new paleomagnetic data // Геофиз. журн. 2006. Т. 28. № 6. С. 139–140.
- Nikishin A.M., Ziegler P.A., Stephenson R.A., Cloetingh S.A.P.L., Furne A.V., Fokin P.A., Ershov A.V., Bolotov S.N., Korotaev M.V., Alekseev A.S., Gorbachev V.I., Shipilov E.V., Lankreijer A., Bembinova E. Yu., Shalimov I.V. Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: dynamics of sedimentary basin evolution // Tectonophysics. 1996. № 268. P. 23–63.
- Paszkowski M., Budzyń B., Mazur St., Slama J., Shumlyanzkyy L., Srodoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamägi S., Pisarzowska A. Detrital zircon U–Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, Belarus // Precambrian Res. 2019. V. 331. P. 1–19.
- Shumlyanzkyy L., Hawkesworth C., Dhuime B., Billström K., Claesson S., Storey C. <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb ages and Hf isotope composition of zircons from sedimentary rocks of the Ukrainian shield: crustal growth of the south-western part of East European craton from Archaean to Neoproterozoic // Precambrian Res. 2015. V. 260. P. 39–54.
- Skaly platformy prekambryjskiej w polsce. Cresc 2: Pokrywa osadowa. Pod redakcją Laszkiewicz A. Warszawa: Instytut geologiczny, 1974. 292 s.
- Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. LA-ICP-MS in the Earth Sciences Data reduction software for LA-ICP-MS, Appendix 3 // Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences. Ed. Sylvester P. Can. Mineral. Assoc. Short Course Handbook. 2001. V. 29. P. 239–243.
- Vermeesch P. IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology // Geosci. Frontiers. 2018. V. 9. P. 1479–1493.
- Wiszniewska J., Krzemińska E. Advances in geochronology in the Suwałki anorthosite massif and subsequent granite veins, northeastern Poland // Precambrian Res. 2021. V. 361. P. 106265.

Рецензенты Н.Б. Кузнецов, А.Б. Котов

## U–Th–Pb Age of Detrital Zircon from the Riphean Sandstones of the Volyn-Orsha Paleotrough, Belarus

T. S. Zaitseva<sup>a, #</sup>, O. F. Kuzmenkova<sup>b</sup>, A. B. Kuznetsov<sup>a</sup>, V. P. Kovach<sup>a</sup>, B. M. Gorokhovskiy<sup>a</sup>, Yu. V. Plotkina<sup>a</sup>, E. V. Adamskaya<sup>a</sup>, and A. G. Laptsevich<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>b</sup> State Enterprise “Research and Production Center for Geology”, Branch “Institute of Geology”, Minsk, Belarus

<sup>#</sup>e-mail: z-t-s@mail.ru

Geochronological U–Th–Pb LA-ICP-MS study of detrital zircon grains from Riphean sandstones of the Sherovichi and Belarus series of the Orsha part of the Volyn-Orsha paleotrough (boreholes Korma and Bykhov, Belarus) was carried out. The received U–Th–Pb geochronological data indicate that the primary provenance of zircon was crystalline rocks of predominantly Early and Middle Riphean, as well as Early Proterozoic and Archean age. The presence of detrital zircon grains with an age of 1 Ga in the sandstones of the Sherovichi and Belarus series, which were previously considered Middle Riphean, evidences that these sequences are of Late Riphean age. A representative population of grains with an age of about 1 Ga was detected only in the rocks of the Korma borehole, whereas in sandstones from other boreholes located within the Volyn-Orsha trough (borehole 70, borehole Vilchitsy 1 and borehole Bykhovskaya), it is absent. This indicates that a possible primary provenance of zircon could be located both within the paleotrough and at a considerable distance, within the Grenville Sveconorwegian orogen.

*Keywords:* geochronology, Precambrian, Sherovichi and Belarus series, boreholes Korma and Bykhov, west of the East European platform, Grenville orogeny