

УДК 55(234.852), 551.82

ЛОКАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОРОД АЙСКОЙ СВИТЫ (ОСНОВАНИЕ РАЗРЕЗА СТРАТОТИПА НИЖНЕГО РИФЕЯ, БАШКИРСКОЕ ПОДНЯТИЕ, ЮЖНЫЙ УРАЛ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ U/Pb-ДАТИРОВАНИЯ (LA–ICP–MS) ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

Т. В. Романюк^{1,*}, Н. Б. Кузнецов^{1,2,3}, член-корреспондент РАН В. Н. Пучков⁴,
Н. Д. Сергеева⁴, В. И. Паверман⁵, В. М. Горожанин^{4,6}, Е. Н. Горожанина⁴

Поступило 22.03.2018 г.

Представлены результаты U/Pb-датирования детритовых цирконов, выделенных из пород айской свиты. Зафиксированы провенанс-сигнал локального источника с возрастом ~2,07 млрд лет и воздействие на изученную осадочную толщу ордовикского эпизода магматизма.

Ключевые слова: детритовые цирконы, U/Pb-датирование, Южный Урал, Башкирское поднятие, нижнерифейская айская свита.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652484177-82>

На западе южной части Уральского покровно-складчатого пояса (рис. 1А) расположен обширный выход докембрия: Башкирский мегаантиклинорий (БМА) [8]. Его внутреннее строение осложнено Зюраткульским разломом (рис. 1Б). К западу от разлома, в западной части БМА, описываемой иногда как Башкирское поднятие (БП) [4], распространены толщи верхнего докембрия. Их разрезы приняты за сводную стратотипическую последовательность рифея: бурзьянская, юрматинская, каратауская серии [8, 12] — стратотипы соответственно нижнего, среднего, верхнего рифея [7]. Нижнерифейская бурзьянская серия наиболее полно представлена на севере БП. Здесь на южном замыкании и на западном крыле Тараташской антиклинали, в ядре которой на поверхность выступает раннедокембрийский [8, 13, 14] тараташский гранито-метаморфический комплекс

(рис. 1Б), с несогласием и конгломератами в основании [1, 2] залегает айская свита низов разреза бурзьянской серии.

В нашей работе приведены новые результаты U/Pb-датирования детритовых цирконов (dZr) из песчанистого матрикса конгломератов (проба P-127) и кварцевого песчаника (проба P-127-1) из поля развития пород нижней части разреза айской свиты. Пробы отобраны на западном крыле Тараташского антиклинория, в точке с координатами 55°43,440' с.ш., 59°50,065' в.д., расположенной на правом берегу р. Ушат (рис. 1В). Восточнее участка опробования (ниже по р. Ушат) после перерыва в обнажениях, среди терригенных пород, залегающих выше по разрезу и по структуре, выходят магматические породы (рис. 1в, проба K2218), датирование цирконов из которых показало их ордовикский возраст [3, 9]. В связи с этим требовалось проверить, не являются ли вмещающие породы, отнесённые к нижнерифейской айской свите, палеозойскими. Приведённые в нашей работе новые данные сопоставлены с датировками dZr из пород айской свиты других локаций (проба M08-16-1 на рис. 1А, проба K13-206 на рис. 1Б) в [6, 10, 11].

Датирование dZr из проб P-127 и P-127-1 выполнено в НОЦ геохронологии Казанского федерального университета. Цирконы наклеивали на скотч. Их полировку не производили. Лазер NWR213 оборудован ячейкой TwoVol2. Использовали газы: He (500 мл/мин) для транспортирования материала пробы после абляции из ячейки, Ar для

¹ Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва

² Геологический институт Российской Академии наук,
Москва

³ Российский государственный университет
нефти и газа им. И. М. Губкина (национальный
исследовательский университет), Москва

⁴ Институт геологии Уфимского научного центра
Российской Академии наук, Уфа

⁵ Институт земной коры Сибирского отделения
Российской Академии наук, Иркутск

⁶ Башкирский государственный университет, Уфа

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

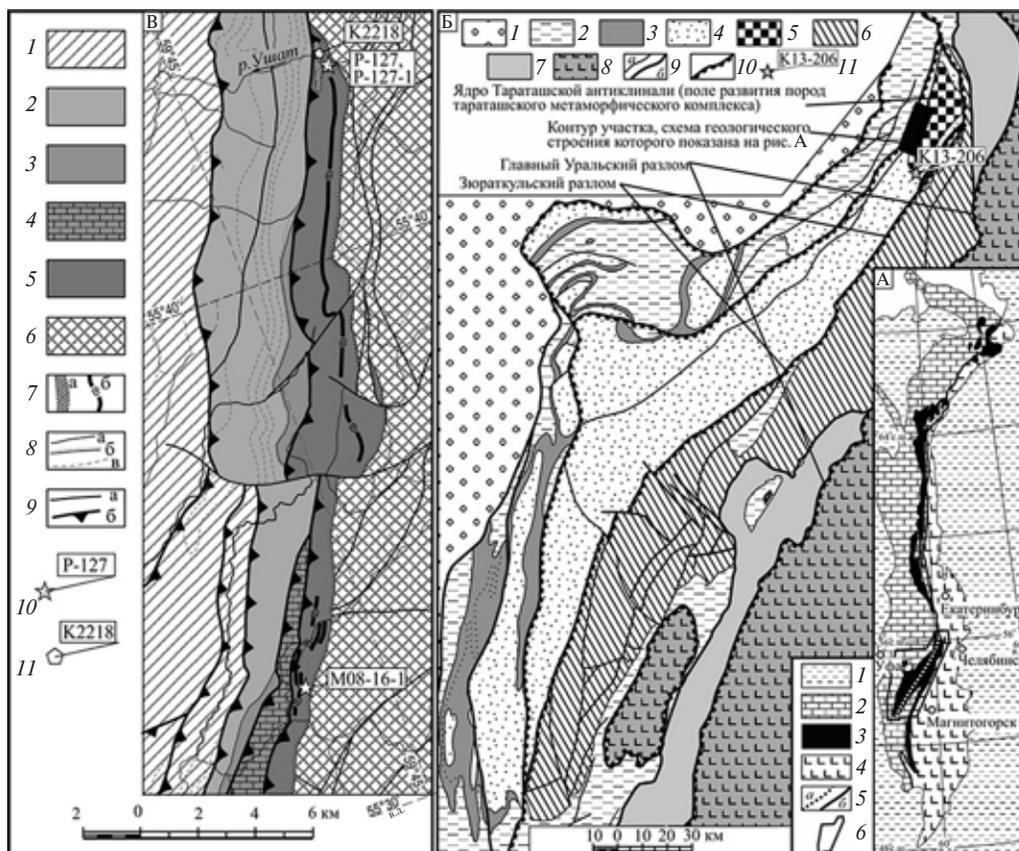


Рис. 1. А — Схема структурно-тектонического районирования Уральского покровно-складчатого пояса. 1 — мезозойско-кайнозойский чехол Восточно-Европейской платформы, Печорской, Прикаспийской, Западно-Сибирской плит и Тургайского прогиба; 2, 3 — Западно-Уральская мегазона: 2 — преимущественно осадочные ордовикско-позднепалеозойские толщи, 3 — доордовикские комплексы — протоуралиды—тиманиды зоны Центрально-Уральских поднятий (на юге преимущественно позднедокембрийские (мета)осадочные комплексы, на севере — преимущественно (мета)вулканогенно-осадочные комплексы, гранитоиды и редкие офиолиты); 4 — Восточно-Уральская мегазона (восточно-уральские уралиды — ордовикские, силурийские, девонские, каменноугольные преимущественно вулканогенно-осадочные комплексы); 5 — Зюраткульский разлом (а), Главный Уральский разлом (б). б — контур геологической схемы (б). Б — Схема геологического строения Башкирского мегаантиклинория (БМА) и сопряжённых структурных единиц, [11], с упрощениями. 1 — позднепалеозойские комплексы, выполняющие Предуральский краевой прогиб; 2—6 — докембрийские и палеозойские комплексы Западно-Уральской мегазоны: 2 — фаунистически охарактеризованные палеозойские толщи, 3, 4 — нижнепалеозойские и докембрийские комплексы Башкирского поднятия (БП) (3 — верхневендско-кембрийская ашинская серия, 4 — рифейские толщи стратотипической местности — отложения верхнего (каратауская серия), среднего (юрматинская серия) и нижнего (бурзянская серия) рифея, объединённые), 5 — раннедокембрийские метаморфические образования и гранитоиды (тараташский комплекс), 6 — неравномерно метаморфизованные верхнедокембрийские комплексы восточного борта БМА (Таганайско-Белорецкая тектоническая единица, [4]), 7 — неравномерно метаморфизованные палеозойские и позднедокембрийские комплексы зоны Уралтау (на юге) и Уфалейской зоны (на севере); 8 — ранне- и среднепалеозойские комплексы Восточно-Уральской мегазоны и краевых аллохтонов (Кракинского и Тирлянского); 9 — разломы: а — нарушающие внутреннее строение тектонических элементов БМА, б — отделяющие структуры БМА от зоны Уралтау и Уфалейской зоны; 10 — сместители крупных надвигов и подошвы шарьяжей; 11 — место отбора пробы К13-206. В — Схема геологического строения западного крыла Тараташской антиклинали. При составлении схемы использована подготовленная к изданию Государственная геологическая карта листа N-40-VI (В. М. Мосейчук, Ал. В. Тевелев и др., 2017 г.). 1 — палеозойские толщи; 2—5 — рифейские толщи: 2 — верхний рифей (каратавий), 3 — средний рифей (юрматиний); 4, 5 — нижний рифей (бурзяний): (4 — саткинская свита, 5 — айская свита); 6 — раннедокембрийские метаморфические образования и гранитоиды (тараташский комплекс); 7 (а) — ордовикские магматические породы (контур тела из [3]), 8 (а) — маркирующий горизонт, сложенный раннерифейскими (навышскими) базальтами и трахибазальтами; 8 (б) — геологические границы без признаков структурного несогласия, б — геологические границы между комплексами, разделёнными структурным несогласием (точки со стороны налегающих пород), в — структурные линии (границы серий, свит, пачек в пределах показанных стратифицированных комплексов); 9 — разломы (а — нарушающие внутреннее строение раннедокембрийского тараташского гранито-метаморфического комплекса, б — сместители крупных надвигов и подошвы шарьяжей); 10 — места отбора проб (и их номера) на детритные цирконы; 11 — место отбора пробы К2218 для изотопного датирования магматических пород.

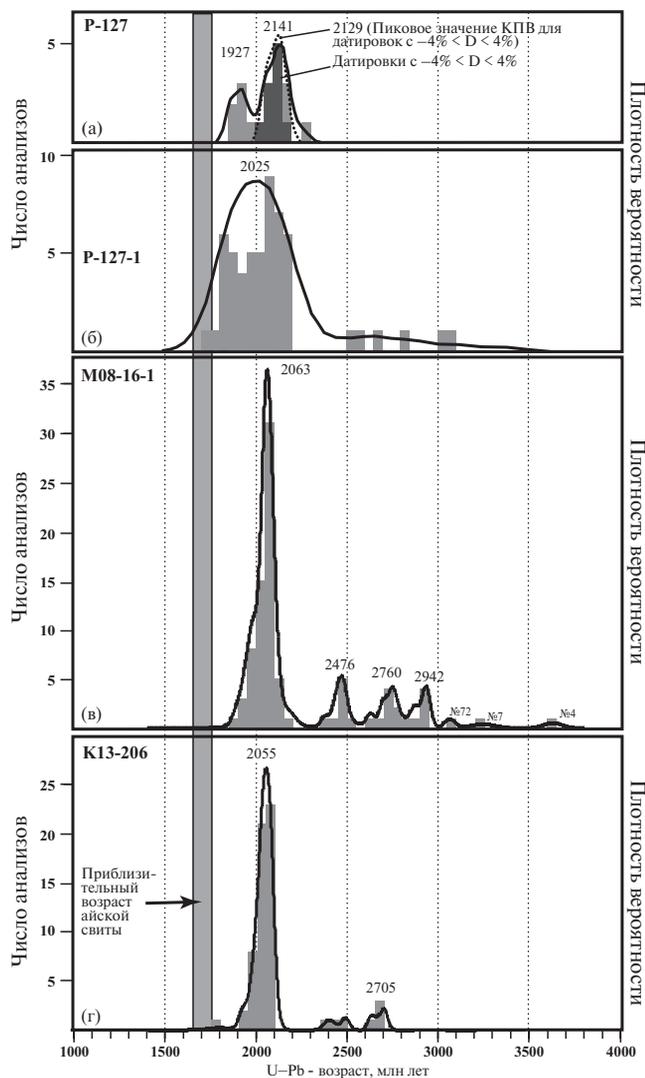


Рис. 2. Гистограммы и КПВ U/Pb кондиционных изотопных возрастов детритных цирконов из песчаников нижнерифейской айской свиты. (а) — проба P-127 (песчаный матрикс конгломерата); дополнительно показаны гистограмма и КПВ для датировок с $-4\% < D < 4\%$; (б) — проба P-127-1 (кварцевый разнозернистый песчаник); (в) — проба M-08-16-1 (кварцевый разнозернистый песчаник) [6 10 11]; (г) — проба K13-2016 (кварцевый разнозернистый песчаник) [11].

транспортировки пробы в горелку масс-спектрометра (952 мл/мин). К He также примешивали N₂ (6 мл/мин) для повышения сигнала, регистрируемого детекторами масс-спектрометра. Измерение изотопных отношений производили на многоколлекторном масс-спектрометре двойной фокусировки с индуктивно-связанной плазмой Neptune Plus (“Thermo Scientific”, Германия), оснащённом джет-интерфейсом. Сессию лазерной абляции производили в автоматическом режиме. Корректировку изотопных отношений выполняли по стандарту GJ-1. Для внутреннего контроля использован

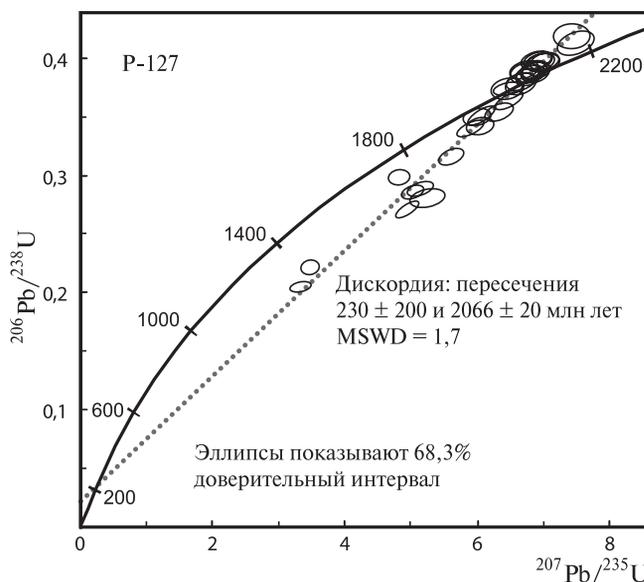


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для цирконов из пробы P-127.

стандарт MudTank. Первичная обработка аналитических данных, расчёт изотопных отношений и возрастов производили в программе Iolite. Коррекция результатов на общий Pb выполнена по [15]. Возраст dZr вычисляли по $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. Для построения стандартных кривых плотности вероятности (КПВ) и гистограмм учитывались только кондиционные анализы, показавшие исходную аналитическую погрешность датировок не хуже 50 млн лет и дискордантность $D: -5\% < D < 10\%$.

Проба P127. Всего анализов 56, из них кондиционных 19 (рис. 2а). На диаграмме с конкордией фигуративные точки (эллипсы) анализов всех датированных зёрен формируют дискордию с верхним и нижним пересечениями с конкордией: 2066 ± 20 и 230 ± 200 млн лет (рис. 3). Это очень веский аргумент в пользу того, что проба P127 зафиксировала фактически в чистом виде сигнал от локального источника, пик магматической/метаморфической активности в котором был 2,07 млрд лет (верхнее пересечение дискордии с конкордией). При этом осадочная толща, в которой аккумулированы продукты разрушения этого локального источника, претерпела воздействие (термальное и/или флюидное), время проявления которого определяется нижним пересечением дискордии с конкордией. Это событие в разной степени нарушило изотопные U/Pb-системы dZr и явилось причиной частичной потери цирконами радиогенного Pb и формирования дискордии. Доля потери Pb в датированных dZr оказалась всё же невысокой, что обусловило расположение фигуративных точек в той части дискордии, которая приближена к её верхнему пересечению с конкордией. Ввиду этого нижнее

пересечение дискордии и конкордии определяется с невысокой точностью (± 200 млн лет).

Пики на КПВ, построенной для датировок, удовлетворяющих критерию $-5\% < D < 10\%$ (рис. 2а, светло-серая гистограмма), и поддержанные более чем 3 датировками, соответствуют значениям — 2141 и 1927 млн лет. Очевидно, что при таких пороговых значениях дискордантности в выборку попало значительное количество дискордантных датировок, образующих часть выше охарактеризованной дискордии, в том числе все дискордантные датировки моложе 2 млрд лет. Для КПВ, построенной для датировок, удовлетворяющих более жёсткому критерию $-4\% < D < 4\%$ (рис. 2а, тёмно-серая гистограмма), который “отрезает” большую часть дискордантных датировок, на КПВ остаётся только один пик — 2129 млн лет. Всё это — основание считать пики 1929 и 2141 на КПВ ложными. Они возникли вследствие применения обычных статистических методов, которые хорошо работают при анализе массивов изотопных U/Pb-данных, обладающих свойствами случайного распределения датировок. Такому критерию набор дискордантных датировок не удовлетворяет.

Проба P127-1. Всего анализов 98 (рис. 4а), из них кондиционных 55 (рис. 2б). Если отбросить архейские датировки и один сильно-дискордантный анализ, то оставшиеся значения формируют дискордию, верхнее и нижнее пересечения которой с конкордией — 2075 ± 13 и 505 ± 74 млн лет (рис. 4б).

Наша интерпретация: проба P-127-1, как и проба P-127, наряду с другими dZr зафиксировала сигнал от локального источника, пик магматической активности в котором также был 2,07 млрд лет. В пределах ошибки значения верхних пересечений дискордий для проб P-127-1 и P-127 совпадают. С высокой степенью вероятности это мог быть один и тот же источник. Как и для пробы P-127, для пробы P127-1 мы не интерпретируем единственный пик на КПВ (2025 млн лет), считая его ложным.

Оценки временных интервалов (с учётом ошибки измерений) значений нижних пересечений конкордии и дискордий — 430–580 млн лет (для пробы P-127-1) и 30–430 млн лет (для пробы P-127) перекрываются на значениях ~ 430 млн лет. Это может указывать на общую причину частичной потери Pb в изученных дискордантных dZr обеих проб. U/Pb-датирование цирконов из магматитов, залегающих рядом с участком отбора проб P-127, P-127-1 (несколько ниже по течению р. Ушат), показало их возраст $441,8 \pm 8,2$ и 437 ± 1 млн лет (SHRIMP) [9], а также $477,8 \pm 8,6$ млн лет по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (SIMS) [3]. Значение ~ 430 млн лет несколько моложе полученных датировок, но расхождения гораздо меньше, чем точность определения значений нижних пересечений конкордии

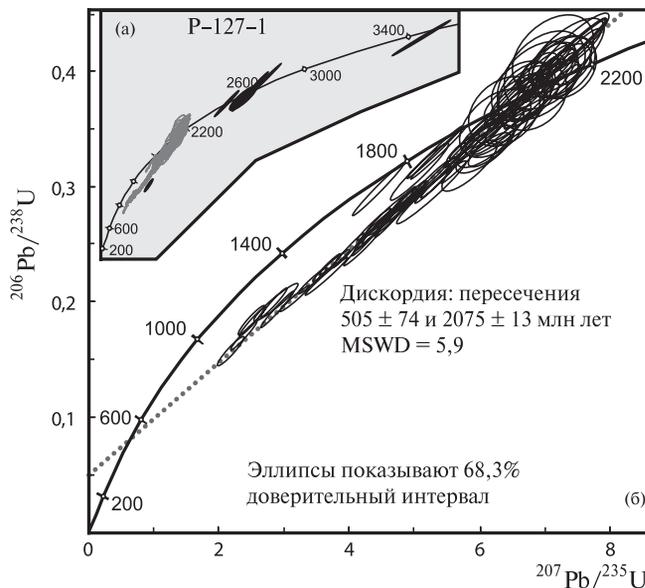


Рис. 4. Диаграмма с конкордией для всех цирконов из пробы P-127-1 (а) и увеличенный фрагмент с дискордией, при расчёте которой не учитывали анализы, показанные на (а) сплошной чёрной заливкой (б).

и дискордий для обеих проб. Всё это позволяет заключить, что потеря Pb в части датированных dZr из проб P-127, P-127-1, наиболее вероятно, связана со становлением ордовикских магматических тел, обнажённых на правом берегу р. Ушат [3, 9] вблизи места отбора проб. Этот магматизм, очевидно, сопровождал ордовикский рифтогенез восточной периферии Балтики, проявившийся на начальных этапах развития Уральского палеоокеана [8, 9].

С очень большой вероятностью минимальные оценки возрастов dZr из проб P-127, P127-1 не истинные, так как они лежат на дискордии. Следовательно, эти датировки не могут быть использованы для ограничения седиментационного возраста пород, из которых были отобраны изученные пробы. Тем не менее сомнения в том, что эти породы принадлежат айской свите, можно отбросить.

Для объяснения особенностей возрастных наборов dZr из ранее изученных пород (M08-16-1, K13-206) айской свиты (рис. 2в, г), а также специфических геохимических и Hf-изотопных характеристик этих dZr [6, 10, 11] ранее была разработана модель формирования айской свиты в Навышском грабене [1] — предшественнике Камско-Бельского авлакогена [10]. Новые данные по пробам P-127, P127-1 подтверждают сформулированный ранее вывод о том, что на ранних стадиях заполнения Навышского грабена значительного перемешивания эрозионного материала не происходило. Действительно, частотные максимумы возрастов dZr в пробах K13-206, M08-16-1 соответствуют рубежу

~2,07 млрд лет и обязаны своим происхождением, очевидно, локальным (местным) источникам детрита. При этом в пробах P-127, P127-1 датировки dZr, формирующие дискордии с верхним пересечением ~2,07 млрд лет, также фиксируют локальный источник с возрастом около 2,07 млрд лет.

Источник финансирования. Исследования проведены в рамках тем государственных заданий ИФЗ РАН, ГИН РАН (0135–2016–0009) и ИГ УНЦ РАН (0252–2014–0002). Изотопные анализы выполнены в КФУ и обработаны за счёт гранта РФФ № 14–27–00058. Материалы по геологии Урала и ВЕП собраны в рамках проекта 14. Z50.31.0017 МОН РФ. Публикация подготовлена за счёт РФФИ (№ 16–05–00259).

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. *Краснобаев А. А., Пучков В. Н., Козлов В. И., Сергеева Н. Д., Бушарина С. В., Лепехина Е. Н.* Цирконология навышских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // ДАН. 2013. Т. 448. № 4. С. 437–442.
3. *Краснобаев А. А., Пучков В. Н., Сергеева Н. Д.* Полихронная цирконология навышских вулканитов айской свиты (Южный Урал) // ДАН. 2018. Т. 478. № 1. С. 74–80.
4. *Кузнецов Н. Б.* Комплексы проторуалитид-тиманид и позднедокембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. М.: ИФЗ РАН, 2009. 51 с.
5. *Кузнецов Н. Б., Белоусова Е. А., Романюк Т. В., Дегтярев К. Е., Маслов А. В., Горожанин В. М., Горожанина Е. Н., Пыжова Е. С.* Первые результаты U/Pb датирования детритовых цирконов из песчаников зигальгинской свиты (средний рифей, Южный Урал) // ДАН. 2017. Т. 475. № 6. С. 659–664.
6. *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–изотопного датирования обломочных цирконов из базальных уровней стратотипа рифея // ДАН. 2013. Т. 451. № 3. С. 308–313.
7. *Общая стратиграфическая шкала. Постановление МСК и его постоянных комиссий. В. 33 / Под ред. Б. С. Соколова, А. И. Жамойды.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. 51 с.
8. *Пучков В. Н.* Геология Урала и Приуралья. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
9. *Пучков В. Н., Козлов В. И., Краснобаев А. А.* Палеозойские U–Pb SHRIMP–датировки магматических пород Башкирского антиклинория. Геол. сб. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2011. № 9. С. 36–43.
10. *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.
11. *Романюк Т. В., Кузнецов Н. Б., Белоусова Е. А., Горожанин В. М., Горожанина Е. Н.* Палеотектонические и палеогеографические обстановки накопления нижнерифейской айской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) на основе изучения детритовых цирконов методом “TerraneChrono®” // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 1. С. 101–138.
12. *Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Под ред. Б. М. Келлера, Н. М. Чумакова М.: Наука, 1983. 184 с.*
13. *Тевелев Ал. В., Кошелева И. А., Хотылев А. О., Мосейчуку В. М., Петров В. И.* Новые данные об изотопном возрасте Тараташского и Александровского метаморфических комплексов // Вестн. МГУ. Геология. 2015. № 1. С. 27–42.
14. *Тевелев А. В., Мосейчук В. М., Тевелев А. В., Шкурский Б. Б.* Распределение значений возраста цирконов в метаморфитах Тараташского блока Южного Урала (исходный провенанс–сигнал) // Вестн. МГУ. Геология. 2017. № 4. С. 15–19.
15. *Andersen T.* Correction of Common Lead in U–Pb Analyses That Do Not Report ²⁰⁴Pb // Chem. Geol. 2002. V. 192. P. 59–79.

**LOCAL SOURCE OF DETRITUS FOR THE ROCKS OF THE
AI FORMATION (A BASAL LEVEL OF THE STRATA-TYPICAL
LOWER RIPHEAN SEQUENCE, THE BASHKIR UPLIFT,
THE SOUTHERN URALS) DERIVED FROM RESULTS OF U–Pb
DATING (LA–ICP–MS) OF DETRITAL ZIRCONS**

**T. V. Romanyuk, N. B. Kuznetsov, Corresponding Member of the RAS V. N. Puchkov,
N. D. Sergeeva, V. I. Powerman, V. M. Gorozhanin, E. N. Gorozhanina**

Received March 22, 2018

This study presents the results of U–Pb dating of detrital zircons separated from rocks of the Ai formation. A provenance-signal of local source with an age of approximately 2.07 Ga is derived and an effect of the Ordovician magmatic episode impact on the sedimentary strata is revealed.

Keywords: Detritic zircons, U–Pb dating, Southern Urals, Bashkir uplift, Lower Riphean Ai Formation.