

О НЕКОТОРЫХ ОБЩИХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО УРАЛА: СИНТЕЗ ДАННЫХ ИЗОТОПНОГО U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ ЦИРКОНОВ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

© 2016 г. А. В. Маслов*, **, Г. А. Мизенс*, Г. М. Вовна***, Е. С. Пыжова****,
Н. Б. Кузнецов*****, **, В. И. Киселев***, Ю. Л. Ронкин*,
А. З. Бикбаев*, Т. В. Романюк*****, **

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
E-mail: maslov@igg.uran.ru

**Институт геологии Уфимского научного центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

***ДВГИ ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, просп. 100 лет Владивостоку, 159

****Российский университет Дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

*****Российский государственный университет нефти и газа, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 65

*****Геологический институт РАН, г. Москва, 119017, Пыжевский пер., 7

*****Институт физики Земли РАН, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Поступила в редакцию 13.03. 2015

Принята к печати 18.06. 2015

Проанализированы данные по U-Pb изотопным возрастам обломочных цирконов из песчаников и геохимии глинистых сланцев и аргиллитов рифейско-палеозойских и раннетриасовых осадочных толщ Западного Урала. Возрасты обломочных цирконов позволяют сделать вывод о том, что основным поставщиком песчаного материала в осадочные бассейны, существовавшие в области сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала на протяжении более полутора миллиардов лет, была платформа. Тектогенные (в понимании Ф.Дж. Петтиджона с соавторами) пески в составе осадочных ассоциаций Западного Урала играют существенную роль только в венде и в последней трети палеозоя, на протяжении остального (>90%) времени доминируют кратоногенные разности песчаников. В изменении геохимического облика глинистых пород западного склона Южного и Среднего Урала в интервале 1750–250 млн лет прослеживается однонаправленный тренд: нарастание с течением времени в составе источников сноса доли основных/ультраосновных магматических образований, максимум присутствия которых на палеоводосборах пришелся на раннепермское время.

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа, Западный Урал, рифейско-палеозойские осадочные толщи, обломочные цирконы, U-Pb изотопное датирование, глинистые породы, геохимия.

Общие особенности процессов седиментогенеза (положение областей размыва, состав пород в источниках сноса, палеоклиматические обстановки и др.) в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Урала достаточно хорошо известны [4, 5, 8, 9, 20, 23, 25, 26, 29–31, 41, 44, 45]. Формирование рифейских осадочных последовательностей Западного Урала¹ происходило во внутрикратонных (ранний–средний рифей) осадочных бассейнах (рис. 1) и в пределах пассивной континентальной окраины (поздний рифей) [20, 23, 30 и др.]. В венде эти бассейны трансформировались сначала в структуры,

связанные с обстановками косої коллизии [28], а затем – в предгорные моцассовые прогибы [1, 12, 50 и др.], располагавшиеся в зоне перехода от Балтики (докембрийский остов ВЕП) к орогенному сооружению, по которому Балтика оказалась сопряженной с другим континентом [54]. Указанные бассейны завершили свое развитие в конце позднего венда–начала (?) кембрия [19, 54]. В палеозое эволюция осадочных бассейнов, реликты отложений которых присутствуют в структурах Западного Урала, контролировалась процессами, связанными с заложением, развитием и закрытием Палеоуральского океана [29, 30].

Появление в последние годы изотопно-геохимических материалов и данных об U-Pb изотопных возрастах обломочных цирконов из отложений верхнего докембрия и палеозоя Западного Урала, в том числе и Полярного его сегмента [13–16, 18, 21,

¹ Под Западным Уралом мы понимаем структуры Южного и Среднего Урала, отвечающие его палеоконтинентальному сегменту и располагающиеся в зоне сочленения ВЕП и Урала.

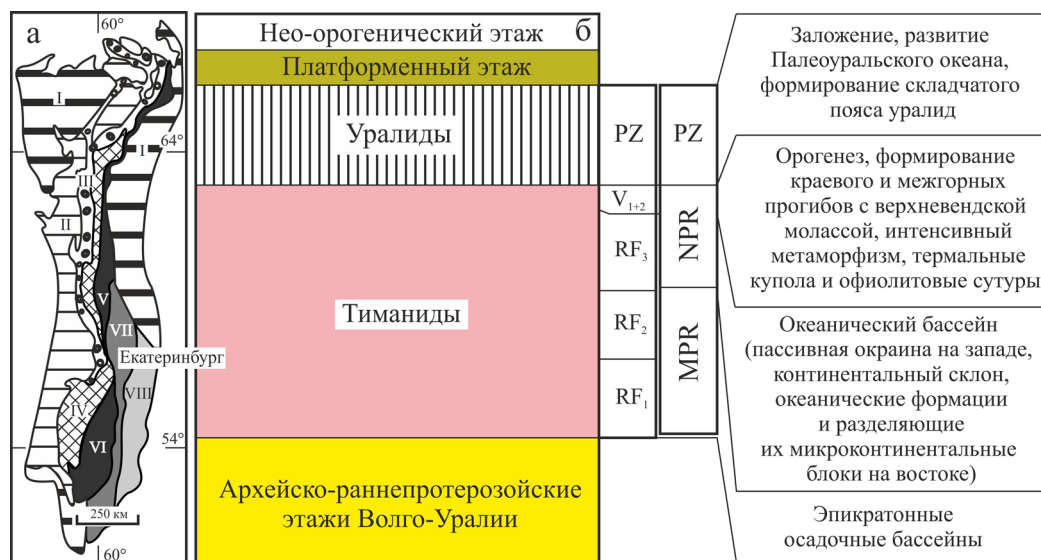


Рис. 1. Обзорная схема Урала (а) и принципиальная схема структурных этажей Урала (б), по данным [30] с некоторыми изменениями и добавлениями.

I – мезозойско-кайнозойские отложения; II – Предуральский прогиб; III–VIII – мегазоны: III – Западно-Уральская, IV – Центрально-Уральская, V – Тагильская, VI – Магнитогорская, VII – Восточно-Уральская, VIII – Зауральская. RF₁ – нижний рифей; RF₂ – средний рифей; RF₃ – верхний рифей; V₁₊₂ – нижний и верхний венд; PZ – палеозой; MPR – мезопротерозой; NPR – неопротерозой.

Fig. 1. Schematic geological map of the Urals (a) and the structural levels of the Urals (b), according to [30] with some modifications and additions.

I – Mesozoic-Cenozoic deposits; II – Pre-Uralian foredeep; III–VIII – megazone: II – West Uralian, IV – Central Uralian, V – Tagil, VI – Magnitogorsk, VII – East Uralian, VIII – Trans-Uralian. RF₁ – Lower Riphean, RF₂ – Middle Riphean, RF₃ – Upper Riphean, V₁₊₂ – Lower and Upper Vendian, PZ – Paleozoic, MPR – Mesoproterozoic, NPR – Neoproterozoic.

22, 35, 36, 42, 53, 54 и др.], и сведений о геохимических характеристиках тонкозернистых обломочных образований того же возраста [5, 7, 24 и др.] создают новую фактологическую базу, позволяющую детализировать условия формирования осадочных последовательностей Западного Урала на протяжении более 1.5 млрд лет его геологической истории.

В настоящей публикации мы рассматриваем результаты **U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов** из осадочных толщ Западного Урала, начиная от самых древних – нижнерифейских образований Башкирского мегантиклинория и заканчивая нижнетриасовыми отложениями Бельской впадины Предуральского прогиба. Места отбора обсуждаемых образцов показаны на рис. 2. Проанализированы также данные об общих особенностях эволюции геохимического состава тонкозернистых обломочных пород того же временного интервала. В заключительном разделе статьи выполнен комплексный анализ данных.

СПЕКТРЫ U-Pb ИЗОТОПНЫХ ВОЗРАСТОВ ОБЛОМОЧНЫХ ЦИРКОНОВ

Определение U-Pb изотопных возрастов (LA-ICP-MS) обломочных цирконов из песчаников ай-

ской и зильмердакской свит выполнено в GEMOC-центре университета Маквори, Сидней, Австралия (детали методики и данные об использованном оборудовании приведены в [52]), а басинской, кукарарукской и такатинской свит – в Университете штата Флорида, США (детали методики и данные об использованном оборудовании см. в [54]). Аналогичные сведения для обломочных цирконов из песчаников серебрянской серии, пород татарского яруса верхней перми и нижнего триаса получены в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН. Детали методики и используемое оборудование описаны в работах [3, 10]. **Во всех случаях критерием отбраковки зерен** являлась степень их дискордантности – использованы только зерна с $|D| < 10\%$.

Самыми древними осадочными образованиями Западного Урала, для которых в настоящее время имеются результаты **U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов**, являются аркозовые песчаники основания разреза айской свиты бурзянской серии нижнего рифея (бурзяния), залегающие на северо-востоке Башкирского мегантиклинория ниже метабазальтов с возрастом 1752 ± 18 млн лет [11]. В песчаниках айской свиты доминируют (83%) обломочные цирконы с палеопротерозойскими возрастными (рис. 3а); на долю кристаллов с ар-

Рис. 2. Места отбора образцов песчаников для исследования спектров U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов.

Песчаники: RF₁ai₁ – нижняя подсвита айской свиты, RF₃zl₃ – лемезинская подсвита зильмердакской свиты, V₁tn – танинская свита, V₁kr – керноская свита, V₂bs – басинская свита, V₂kk – куккараукская свита, D₁tk – такатинская свита, P₂t – татарский ярус, T₁ – нижний триас.

1 – Предуральский краевой прогиб, 2 – Западно-Уральская зона, 3 – Центрально-Уральская зона, 4 – Тагило-Магнитогорская зона, 5 – Восточно-Уральская зона, 6 – Зауралье, 7 – Платиноносный пояс, 8 – Главная гранитная ось, ГУР – Главный Уральский разлом.

Fig. 2. Locations of the sandstone samples for the investigation of detrital zircons U-Pb isotopic ages.

Sandstones: RF₁ai₁ – lower subformation of the Ai formation, RF₃zl₃ – Lemeza subformation of the Zilmerdak formation, V₁tn – Tany formation, V₁kr – Kernos formation, V₂bs – Basa formation, V₂kk – Kukkarauk formation, D₁tk – Takata formation, P₂t – Tatar Stage; T₁ – Lower Triassic.

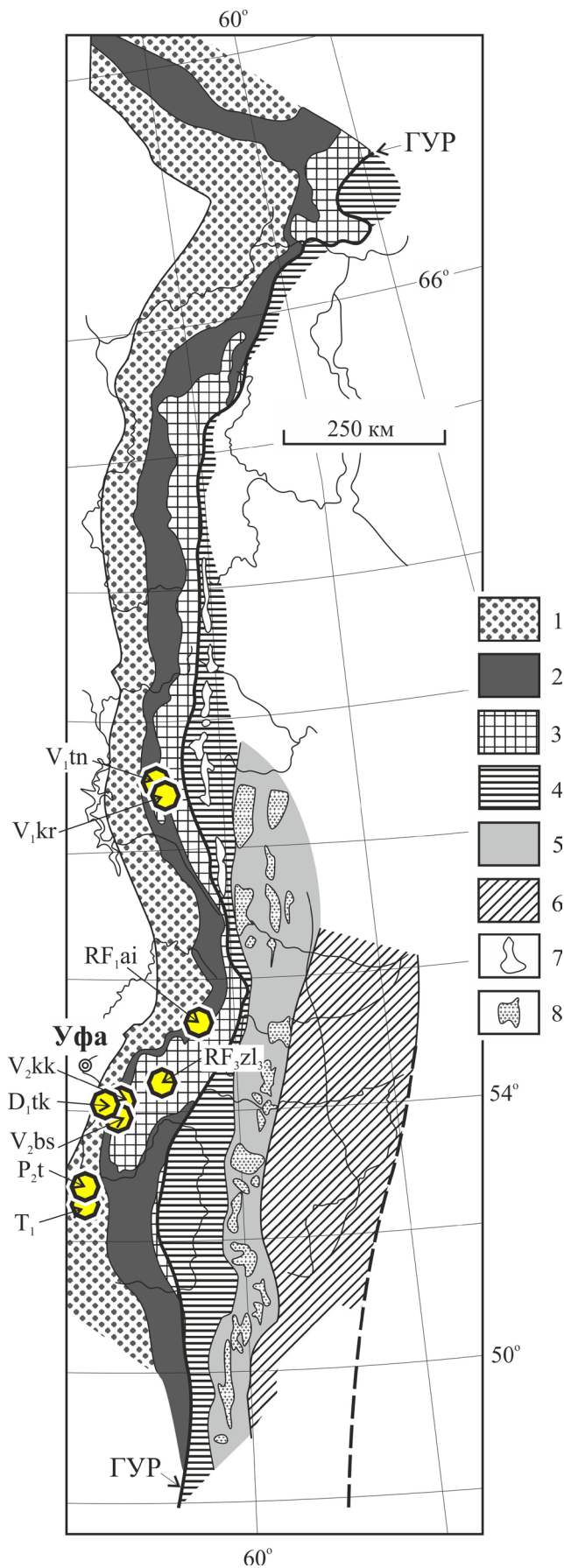
1 – Pre-Uralian foredeep, 2 – Western Uralian area, 3 – Central Uralian area, 4 – Tagil-Magnitogorsk zone, 5 – East Uralian area, 6 – Trans-Uralian area, 7 – Platinum Belt, 8 – Main Granite Axis, ГУР – Main Urals fault.

хейскими датировками приходится всего 17% [13, 34]. Кварцевые песчаники лемезинской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (каратавия) Башкирского мегантиклинория содержат примерно равное количество палеопротерозойских (41%) и неогархейских (52%) цирконов [35, 36] (рис. 3б).

Сходное соотношение между различными возрастными популяциями обломочных цирконов (палеопротерозойские – 49%, неогархейские – 48%, мезогархейские – 3%) присуще песчаникам нижневендской танинской свиты Кваркушко-Каменногогорского мегантиклинория Среднего Урала, залегающей в основании серебрянской серии [21, 22] (рис. 3в). В то же время песчаники керносской свиты, завершающей разрез серебрянской серии, содержат преимущественно палео- и мезопротерозойские цирконы (84%); на долю мезо- и неогархейских кристаллов приходится 15%, а количество неогархейских исчезающе мало (~1%) [21, 22] (рис. 3г).

В полимиктовых песчаниках верхневендских басинской и куккараукской свит ашинской серии Южного Урала доля архейских и палеопротерозойских обломочных цирконов составляет, соответственно, ~34% и 30%, тогда как преобладают кристаллы с мезопротерозойскими (63% и 62%) возрастными [15, 16, 54] (рис. 3д, е).

В пределах Западного Урала верхневендские осадочные образования почти повсеместно перекрыты кварцевыми песчаниками такатинской свиты нижнего девона (эмский ярус). В этих песчаниках присутствуют мезо- и неогархейские (18% и 30% соответственно), а также палеопротерозойские (52%) обломочные цирконы [14, 54] (рис. 3ж).



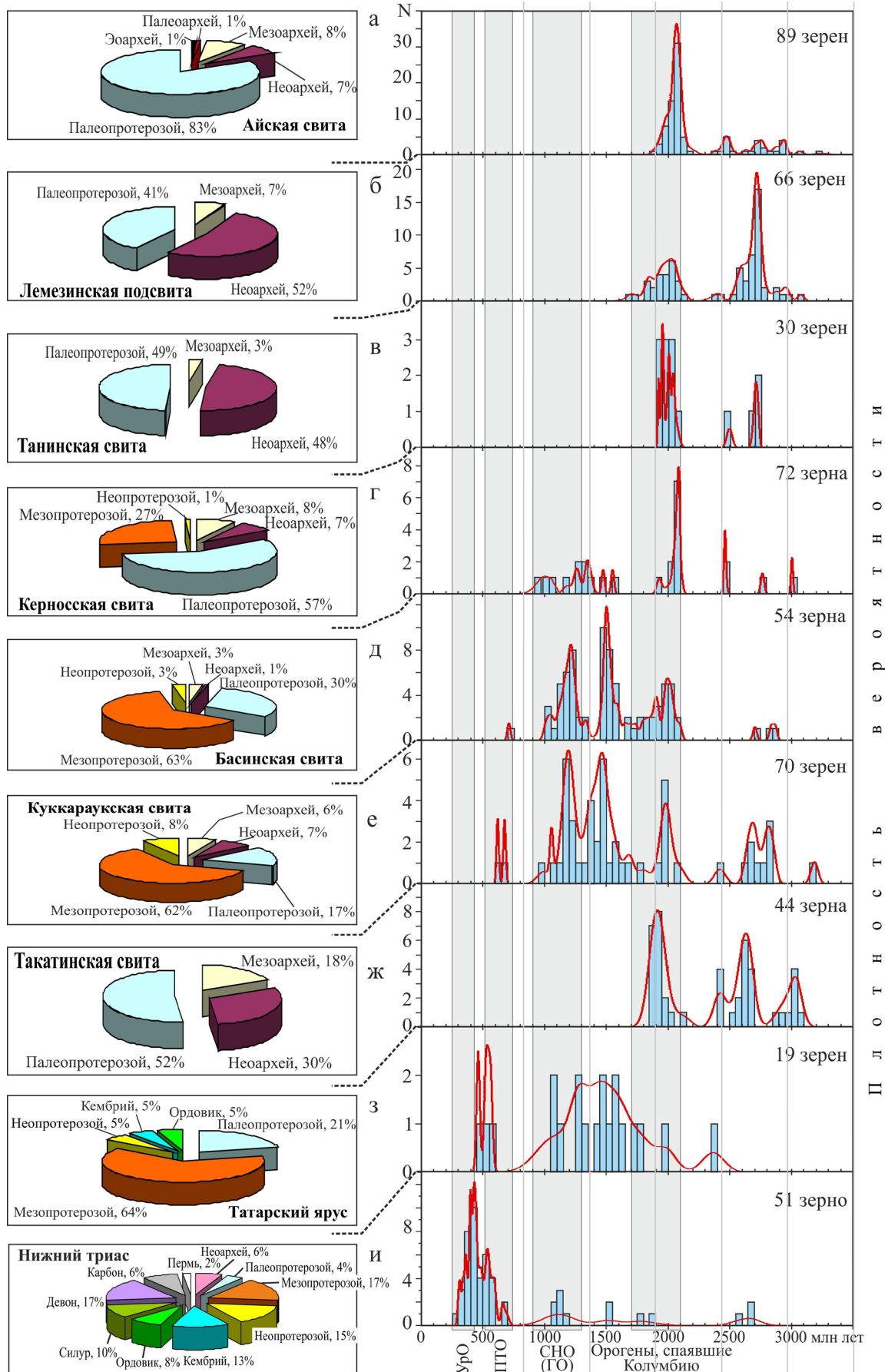


Рис. 3. Циклограммы (слева) и гистограммы/графики плотности вероятности (справа) U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаников Западного Урала (Средне- и Южноуральский сегменты).

Песчаники: а – нижняя подсвита айской свиты, б – лемезинская подсвита зильмердакской свиты, в – танинская свита, г – керноская свита, д – басинская свита, е – куккараукская свита, ж – такатинская свита, з – татарский ярус, и – нижний триас. Серыми интервалами показаны возрасты кристаллических комплексов орогенов: УрО – Уральского, ПТО – Протоуральско-Тиманского, СНО (ГО) – Свеко-Норвежского (Гренвилльского) и спаявших Колумбию.

Fig. 3. The cyclograms (left) and the histograms/graphs of the probability density (right) U-Pb-isotopic ages of detrital zircons from sandstones of the Western Urals (Middle and South Urals segments).

Sandstones: а – lower subformation of the Ai formation, б – Lemeza subformation of the Zilmerdak formation, в – Tany formation, г – Kernos formation, д – Basa formation, е – Kukkarauk formation, ж – Takata formation, з – Tatar Stage, и – Lower Triassic. Gray intervals showing the ages of crystalline complexes orogens: УрО – Urals, ПТО – Protourals-Timan, СНО (ГО) – Sweco-Norwegian (Grenville) and ones soldering Colombia.

В верхнепермских (татарский ярус) полимиктовых песчаниках² Бельской впадины Предуральского прогиба (Южный Урал) на долю обломочных цирконов с вендскими и раннепалеозойскими возрастными приходится $\approx 15\%$. Около 20% зерен характеризуются палеопротерозойскими, а более 60% – мезопротерозойскими U-Pb изотопными возрастными (рис. 3з). В песчаниках нижнего триаса той же структуры датировано 93 цирконовых зерна, из них для 51 получены датировки с приемлемой (менее 10%) дискордантностью, остальные из дальнейшего рассмотрения исключены. Неоархейские возрасты в данной выборке имеют 6% зерен. Палеопротерозойские и мезопротерозойские возрасты получены соответственно для 4% и 17% датированных цирконов (рис. 3и). Неопротерозойскими возрастными характеризуются примерно 15% зерен. Таким образом, докембрийскими датировками в исследованных нами верхнетриасовых песчаниках обладает порядка 42% зерен, а около 13% имеют кембрийский возраст. На долю зерен с ордовикскими и силурийскими возрастными приходится соответственно 8% и 10%. Несколько больше зерен с девонскими возрастными ($\approx 17\%$), тогда как зерен с каменноугольными датировками всего 6%. Только одно зерно циркона ($\approx 2\%$) имеет условно пермский возраст (299 млн лет).

Пробел сведений об U-Pb изотопных возрастах обломочных цирконов в среднедевонско-нижнепермских песчаниках западного склона Южного и Среднего Урала в какой-то мере закрывают аналогичные данные для песчаников западного склона Полярного Урала [18]. Так, в песчаниках шервошской свиты (верхний эмс–нижний эйфель) на долю архейских цирконов приходится $\approx 10\%$ всех зерен. Количество палеопротерозойских цирконов составляет здесь примерно 36%, доля мезопротерозойских существенно больше ($\approx 49\%$), а неопротерозойских – всего около 3%. Принципиаль-

но иной спектр возрастов обломочных цирконов присущ песчаникам яйюской свиты (визе–верхний карбон) – около 26% зерен характеризуются девонскими возрастными, а $\approx 74\%$ – каменноугольными. Песчаники кечпельской свиты (верхний карбон–ассель) содержат обломочные цирконы, диапазон U-Pb изотопных возрастов которых составляет от ≈ 2316 до ≈ 300 млн лет. Среди них около 14% имеют палеопротерозойские датировки, $\approx 7\%$ характеризуются мезопротерозойскими возрастными, а почти 70% – палеозойскими. В песчаниках артинской гусихинской свиты на долю мезо- и палеопротерозойских цирконов приходится чуть более 3%. Доля неопротерозойских кристаллов также невелика ($\approx 8\%$). Остальные зерна имеют палеозойские возрасты; около 3% среди них приходится на раннепермские [18].

Для установления количественных/статистических оценок сходства/различия наборов возрастов обломочных цирконов из всех проб использован тест Колмогорова-Смирнова (KS-тест)³. Полученные результаты приведены в табл. 1, а на рис. 4 показаны кумулятивные кривые, построенные по указанным данным.

Из всего сказанного следует, что основным поставщиком песчаного материала в осадочные бассейны, существовавшие в области скопления ВЕП и Урала на протяжении более полутора миллиардов лет выступала именно Восточно-Европейская платформа. Совокупность данных по Западному Уралу свидетельствует о том, что тектогенные “пески”,

² Всего проанализировано 32 зерна, из которых только для 19 получены значения возрастов с приемлемой (менее 10%) дискордантностью, поэтому приводимые данные следует рассматривать как предварительные.

³ Расчеты выполнены с помощью специального модуля (авторы – G. Gehrels и J. Guynn, Тусонский университет, Аризона, США) в стандартной программе MS Excel (<http://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home>). KS-тест оценивает вероятность соответствия двух эмпирических распределений одному закону. Стандартный уровень значимости KS-теста принимается равным 95%. Это означает, что, если величина KS-коэффициента (или параметра “p”) превышает пороговое значение 0.05, то тестируемые спектры возрастов цирконов фактически описываются одним и тем же законом, т.е. с высокой (> 95%) степенью вероятности источники цирконов были общими.

Таблица 1. Результаты теста Колмогорова–Смирнова (KS-тест) U-Pb изотопных возрастов детритных цирконов из терригенных толщ Западного Урала.

Table 1. Results of the Kolmogorov-Smirnov test (KS-test) for U-Pb isotopic ages of detrital zircons from the terrigenous deposits of the Western Urals.

Стратиграфические подразделения	Айская свита	Лемезинская подсвита	Танинская свита	Керноская свита	Басинская свита	Куккараукская свита	Такатинская свита	Татарский ярус
Айская свита		0	0.201	0.019	0	0	0.017	0
Лемезинская подсвита	0		0.086	0	0	0	0.387	0
Танинская свита	0.201	0.086		0.198	0	0	0.296	0
Керноская свита	0.019	0	0.198		0.001	0.082	0.019	0.007
Басинская свита	0	0	0	0.001		0.389	0	0.641
Куккараукская свита	0	0	0	0.082	0.389		0	0.521
Такатинская свита	0.017	0.387	0.296	0.019	0	0		0
Татарский ярус	0	0	0	0.007	0.641	0.521	0	

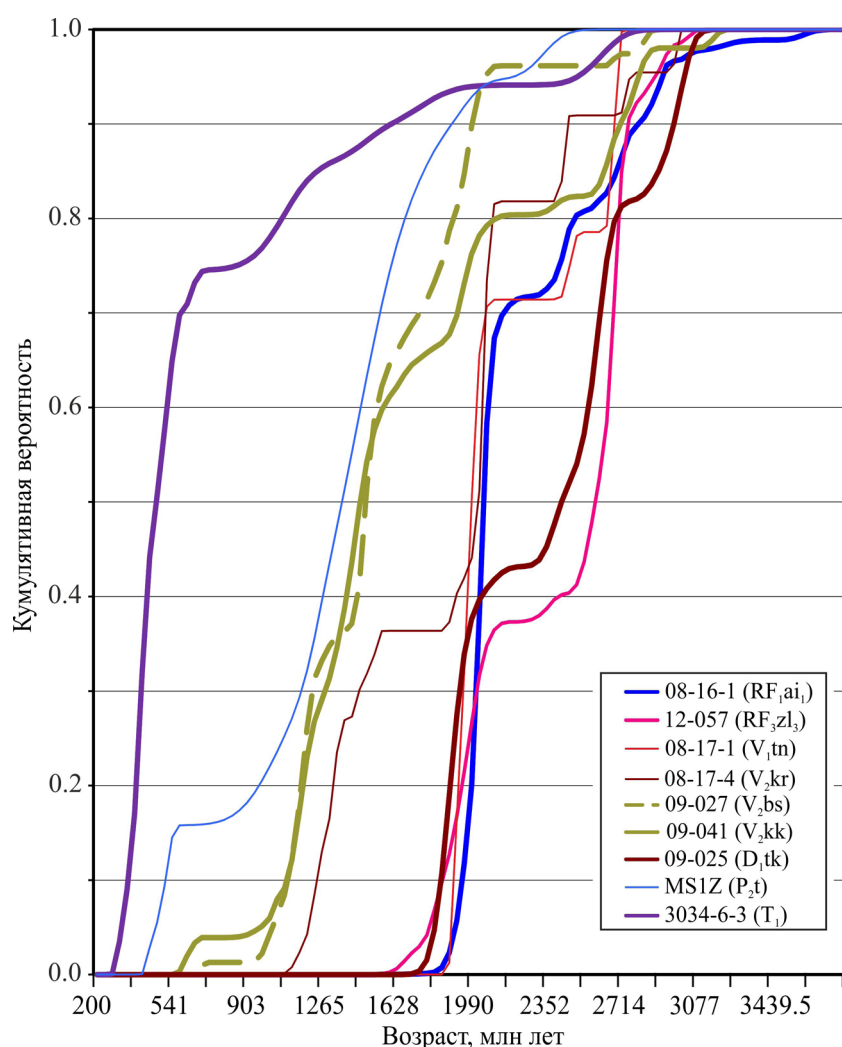


Рис. 4. Кумулятивные кривые для возрастов обломочных цирконов из песчаников Западного Урала (Средне- и Южноуральский сегменты).

Исходные графики плотности вероятности см. рис. 3.

Fig. 4. The cumulative curves for the ages of detrital zircons from sandstones of the Western Urals (Middle and South Urals segments).

Initial probability density graphics see Fig. 3.

в понимании [27], в составе осадочных ассоциаций Западного Урала играют существенную роль только в позднем венде и последней трети палеозоя. На протяжении остального (>90%) времени доминируют их кратоногенные разности. Это в существенной степени сближает Западный Урал с “геосинклиналью” Коронейшен и Аппалачами, а также Иллинойским бассейном, являющимися типичными примерами бассейнов пассивных окраин и внутрикратонных.

Следует подчеркнуть еще одну особенность изменения состава песчаных пород Западного Урала в интервале 1750–250 млн лет – оно носит в принципе необратимый/эволюционный, по А.Б. Ронову и А.А. Мигдисову [37], характер, но детальное рассмотрение этой стороны проблемы выходит за рамки настоящей работы.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

При анализе геохимических особенностей глинистых сланцев и аргиллитов рифея, венда и палеозоя Южного и Среднего Урала прослеживается определенная эволюция их состава, выраженная в изменении соотношения продуктов размыва кислых и основных пород (рис. 5).

Исходя из присущих ниже-, средне- и верхнерифейским⁴, а также верхневендским и пермским глинистым породам Южного Урала средних значений таких индикаторных параметров как La/Sc , Th/Co , Th/Sc , **содержание Sc и ряд других элементов** (табл. 2), можно сделать вывод о нарастании с течением времени в составе источников сноса доли основных (и, возможно, ультраосновных) магматических образований. По-видимому, максимум их присутствия на палеоводосборах пришелся на раннепермское время, предвосхищающее формирование собственно континентальной молассы за счет размыва интенсивно растущего горного сооружения в поздней перми–раннем триасе.

В интервале нижний венд–нижняя пермь эта тенденция еще более выразительно проявлена в глинистых породах западного склона Среднего Урала (табл. 3, рис. 5). Минимальные средние значения Eu/Eu^* и Th/Sc , **свидетельствующие о высокой доле примитивных в геохимическом отношении субстратов в областях эрозии, и здесь присущи глинистым породам нижней перми. Вендский интервал, также отвечающий размыву горного сооружения, выглядит в этом отношении существенно скромнее.**

⁴ Выбранные нами временные интервалы не отличаются принципиально от тех, что были использованы А.Б. Роновым с соавторами [38] при анализе количественных закономерностей эволюции состава алевропесчаных пород Русской плиты.

Описанная выше тенденция смены одних типов комплексов пород на палеоводосборах другими хорошо выражена и в особенностях изменения снизу вверх по разрезам верхнего докембрия–верхней перми или нижнего триаса Южного и Среднего Урала и ряда параметров нормированных по хондриту [43] спектров распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в глинистых породах. Так, в глинистых породах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория величина $(La/Yb)_N$ варьирует от 6.1 до 24.1 при средней величине ≈ 12.5 . Параметр Eu/Eu^* в тонкозернистых обломочных породах бурзянского типа местности составляет 0.7 ± 0.1 (минимум ≈ 1 , максимум – 0.5). Для сравнения отметим, что в среднем фанерозойском кратонном сланце по [46] значения указанных параметров составляют 8.8 и 0.6 соответственно, а такой объект, как, например, палеозойские базальты, характеризуется следующими величинами $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* – 2.7 и 1.1 (рис. 6).

Глинистые сланцы среднерифейской юрматинской серии Башкирского мегантиклинория характеризуются средним значением $(La/Yb)_N \approx 9.5$ (минимум – 4.3, максимум – 20.7), а средняя величина Eu/Eu^* для них составляет ≈ 0.7 . Глинистые породы верхнерифейской каратауской серии той же структуры обладают близкими к ним средними величинами обоих параметров – 8.4 и 0.6. Это указывает на то, что на протяжении всего рифея накопление тонкой алюмосиликокластики, слагающей разрезы Башкирского мегантиклинория, происходило за счет размыва умеренно и достаточно зрелых в геохимическом отношении субстратов, в качестве которых выступали кристаллические породы фундамента ВЕП; признаки многократного переотложения кластики, за исключением ряда вполне определенных уровней разреза (зигальгинская свита, лемезинская подсвита зильмердакской свиты, такатинская свита), отсутствуют.

Глинистые породы верхнего венда Башкирского мегантиклинория демонстрируют некоторое снижение средней величины $(La/Yb)_N$ (7.5), тогда как среднее значение Eu/Eu^* **для них практически сопоставимо с величиной европиевой аномалии в тонкозернистых обломочных породах типового разреза рифея.** Напротив, глинистые сланцы и аргиллиты нижней перми Предуральяского прогиба характеризуются более низкими средними значениями $(La/Yb)_N$ (6.4) и Eu/Eu^* (0.8), что позволяет предполагать заметное увеличение доли основных пород на палеоводосборах. Более молодые отложения верхней перми и нижнего триаса таких продуктов размыва содержат, по всей видимости, несколько меньше, так как средняя величина $(La/Yb)_N$ в них несколько выше (8.9), а параметр Eu/Eu^* остается достаточно небольшим (≈ 0.8).

Для глинистых пород нижнего венда Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория Среднего Урала среднее значение $(La/Yb)_N$ достаточно высокое (12.5, минимум – 6.8, максимум – 19.5).

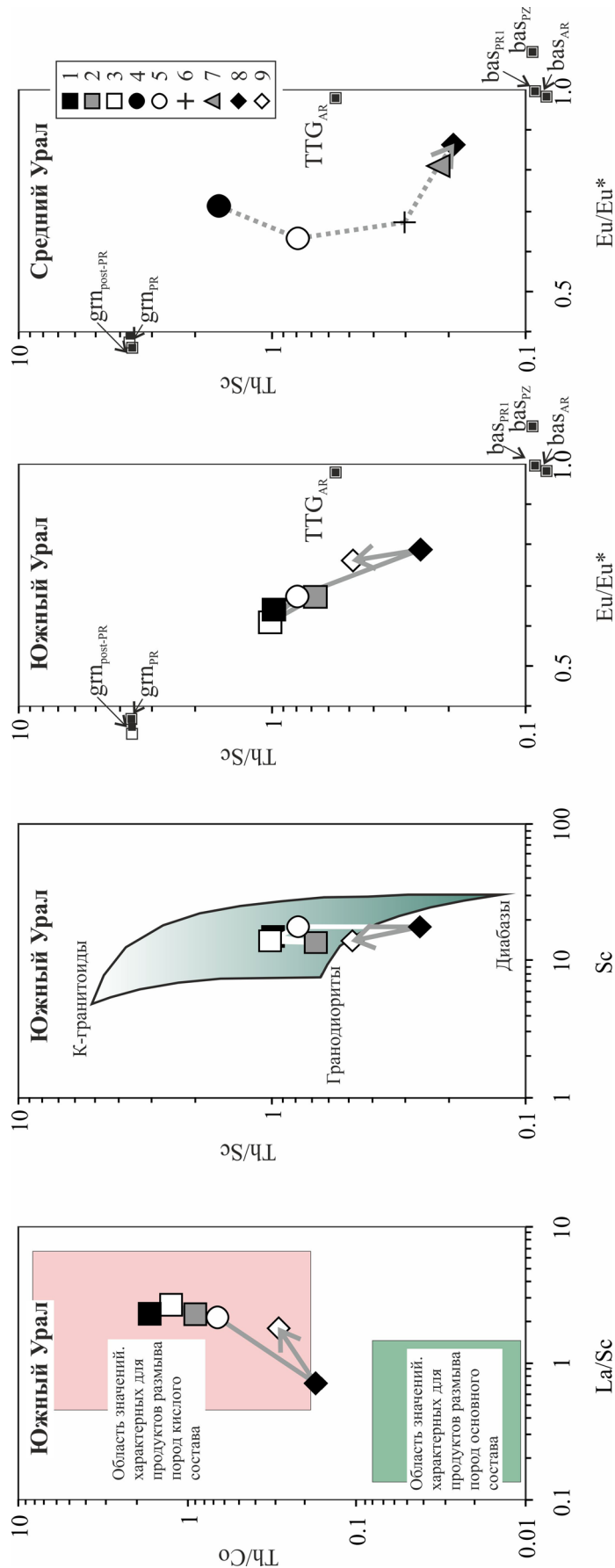


Рис. 5. Характер изменения значений La/Sc , Th/Co , Eu/Eu^* и содержания Sc в тонкозернистых глинистых породах рифея–палеозоя Западного Урала.

1 – нижний рифей, 2 – средний рифей, 3 – верхний рифей, 4 – нижний венд, 5 – верхний венд, 6 – верхний девон, 7 – московский ярус, 8 – нижняя пермь, 9 – верхняя пермь и нижний триас. Поля продуктов размыва пород основного и кислого состава по [47]. Положение точек состава диабазов, гранодиоритов и К-гранитоидов по [59, 60]; $\text{gm}_{\text{post-PR}}$ – фанерозойские гранитоиды; gm_{PR} – протерозойские гранитоиды; TTG_{AR} – архейские тоналит-гранд-емит-гранитные ассоциации; bas_{PR1} – раннепротерозойские базальты; bas_{PZ} – палеозойские базальты; bas_{AR} – базальты архейские – все по [46]. Диаграмма $\text{Eu/Eu}^*-\text{Th/Sc}$ заимствована из [46], диаграмма $\text{La/Sc}-\text{Th/Co}$ – из [61].

Fig. 5. Changes of the La/Sc , Th/Co , Eu/Eu^* and Sc content in the Riphean–Paleozoic fine-grained clay rocks of the Western Urals.

1 – Lower Riphean, 2 – Middle Riphean, 3 – Upper Riphean, 4 – Lower Vendian, 5 – Upper Vendian, 6 – Upper Devonian, 7 – Moscow Stage, 8 – Lower Permian, 9 – Upper Permian and Lower Triassic. Fields for erosion products of basic and acid composition after [47]. The position of the diabase, granodiorite and K-granitoids points after [59, 60]; $\text{gm}_{\text{post-PR}}$ – Phanerozoic granitoids; gm_{PR} – Proterozoic granitoids; TTG_{AR} – Archean tonalite-trondhjemite-granite association; bas_{PR1} – Early Proterozoic basalts; bas_{PZ} – Paleozoic basalts; bas_{AR} – Archean basalts – all after [46]. $\text{Eu/Eu}^*-\text{Th/Sc}$ diagram after [46], $\text{La/Sc}-\text{Th/Co}$ after [61].

Таблица 2. Средние, минимальные и максимальные содержания ряда редких и рассеянных элементов в тонкозернистых обломочных породах верхнего докембрия–перми западного склона Южного Урала, г/т**Table 2.** Average, minimum and maximum contents of some trace elements in the Upper Precambrian–Permian fine-grained terrigenous rocks of the Southern Urals western slope, ppm

Компонент, отношение	Нижний рифей	Средний рифей	Верхний рифей	Верхний венд	Нижняя пермь	Верхняя пермь
Sc	14.54 ± 7.65 2.32–33.01	13.61 ± 6.81 0.48–30.67	14.16 ± 6.14 0.78–25.81	17.68 ± 4.86 9.50–27.09	17.63 ± 3.95 11.51–27.46	13.90 ± 4.46 5.14–23.48
Co	11.96 ± 7.63 1.05–41.51	10.90 ± 5.66 1.42–28.35	12.16 ± 6.00 1.10–33.44	20.93 ± 5.74 13.33–33.51	29.89 ± 5.86 20.76–44.48	23.99 ± 7.57 13.08–45.41
La	32.55 ± 15.86 6.61–62.08	26.94 ± 15.05 1.72–94.77	34.51 ± 16.84 0.55–85.51	36.37 ± 13.13 13.75–76.59	16.02 ± 3.01 10.97–20.94	20.35 ± 5.14 8.61–31.58
Yb	1.80 ± 0.62 0.58–3.19	1.74 ± 0.82 0.24–3.32	2.87 ± 1.27 0.19–7.07	3.24 ± 0.60 2.22–5.18	1.70 ± 0.24 1.34–2.38	1.60 ± 0.37 0.68–2.66
Th	11.76 ± 3.55 2.00–17.80	8.27 ± 3.89 0.51–16.69	13.21 ± 4.94 0.66–25.55	12.80 ± 1.92 8.71–17.22	4.45 ± 0.77 3.42–5.75	6.61 ± 2.17 1.92–11.34
La/Sc	2.55 ± 1.36 0.83–7.15	2.31 ± 1.34 0.27–7.15	2.41 ± 0.65 0.71–3.83	2.13 ± 0.78 0.83–5.08	0.94 ± 0.21 0.55–1.32	1.53 ± 0.33 0.80–2.15
Th/Co	1.62 ± 1.77 0.05–10.60	0.89 ± 0.56 0.10–2.93	1.23 ± 0.65 0.40–3.62	0.64 ± 0.15 0.38–1.02	0.15 ± 0.04 0.09–0.22	0.29 ± 0.12 0.11–0.59
Th/Sc	0.99 ± 0.48 0.14–2.12	0.67 ± 0.26 0.04–1.49	1.01 ± 0.46 0.54–3.30	0.76 ± 0.17 0.52–1.05	0.26 ± 0.06 0.19–0.40	0.48 ± 0.10 0.26–0.72
(La/Yb) _N	18.02 ± 6.67 4.21–35.60	16.59 ± 8.20 5.97–49.11	12.46 ± 6.54 2.99–40.00	11.04 ± 2.98 5.38–20.89	9.46 ± 1.50 6.63–11.91	12.84 ± 2.43 7.27–19.40
Eu/Eu*	0.70 ± 0.08 0.52–0.99	0.67 ± 0.10 0.46–0.91	0.61 ± 0.08 0.48–0.98	0.68 ± 0.04 0.56–0.77	0.79 ± 0.06 0.69–0.88	0.76 ± 0.03 0.69–0.83
n	54	65	43	50	16	42

Примечание. Здесь и в табл.3: в числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное содержания, n – число проанализированных образцов.

Note. Here and in table 3: numerator – arithmetic mean and standard error, denominator – minimum and maximum content, n – number of analysed samples

Таблица 3. Средние, минимальные и максимальные содержания ряда редких и рассеянных элементов в тонкозернистых обломочных породах венда–нижней перми западного склона Среднего Урала, г/т**Table 3.** Average, minimum and maximum contents of some trace elements in the Vendian–Lower Permian fine-grained terrigenous rocks of the Middle Urals western slope, ppm

Компонент, отношение	Нижний венд	Верхний венд	Верхний девон	Московский ярус	Нижняя пермь
Sc	10.73 ± 7.71 0.30–44.84	19.33 ± 5.40 6.64–43.43	10.73 ± 5.21 3.77–18.01	26.18 ± 3.57 21.95–30.89	24.48 ± 7.56 6.53–35.55
Co	15.00 ± 6.56 0.66–35.15	16.87 ± 3.93 9.22–35.26	8.18 ± 5.08 2.90–16.00	27.21 ± 3.97 22.34–31.70	18.08 ± 5.60 4.41–28.41
La	31.09 ± 17.32 7.29–111.78	45.29 ± 14.64 7.99–74.68	15.15 ± 7.32 7.35–25.62	20.51 ± 4.35 14.37–25.96	17.56 ± 4.35 4.69–23.43
Yb	1.66 ± 0.96 0.47–6.42	3.05 ± 0.82 0.92–4.43	1.31 ± 0.50 0.56–1.89	2.72 ± 0.41 2.30–3.23	2.31 ± 0.66 0.60–3.20
Th	9.79 ± 6.10 2.52–38.13	14.81 ± 4.11 1.93–22.56	3.54 ± 1.62 1.50–5.32	5.64 ± 0.79 4.68–6.87	4.60 ± 1.78 1.12–7.67
La/Sc	5.28 ± 7.88 1.11–46.37	2.43 ± 0.71 0.32–3.31	1.47 ± 0.32 1.07–1.98	0.78 ± 0.10 0.62–0.86	0.74 ± 0.14 0.51–1.07
Th/Co	0.96 ± 1.31 0.10–6.75	0.89 ± 0.25 0.16–1.79	0.52 ± 0.32 0.31–1.24	0.21 ± 0.02 0.17–0.22	0.26 ± 0.10 0.10–0.48
Th/Sc	1.60 ± 2.47 0.30–15.04	0.80 ± 0.21 0.20–1.10	0.34 ± 0.06 0.29–0.46	0.22 ± 0.02 0.20–0.24	0.19 ± 0.05 0.09–0.29
(La/Yb) _N	19.14 ± 4.01 10.09–30.40	14.73 ± 2.73 7.51–24.27	11.45 ± 2.18 8.27–13.66	7.49 ± 0.79 6.18–8.20	7.75 ± 0.89 6.51–9.62
Eu/Eu*	0.72 ± 0.09 0.42–0.94	0.64 ± 0.04 0.55–0.87	0.68 ± 0.02 0.64–0.71	0.82 ± 0.02 0.80–0.85	0.86 ± 0.03 0.82–0.95
n	43	106	7	5	22

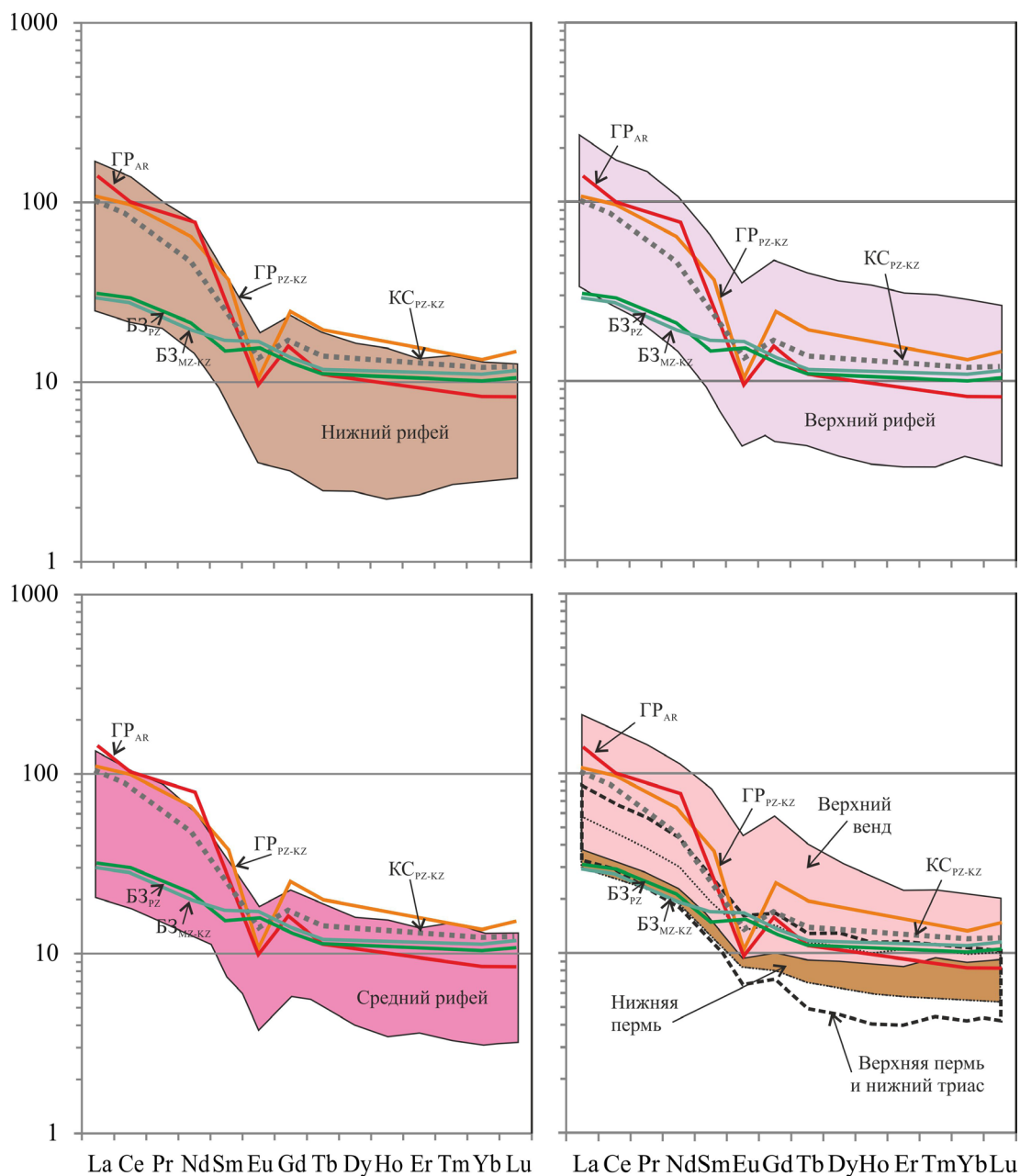


Рис. 6. Нормированные по хондриту спектры распределения РЗЭ в глинистых породах верхнего докембрия–нижнего триаса (средние составы) палеоконтинентального сектора Южного Урала.

KC_{PZ-KZ} – фанерозойский кратонный сланец; GP_{AR} – архейский гранит; GP_{PZ-KZ} – фанерозойский гранит; B3_{PZ} – палеозойский базальт; B3_{MZ-KZ} – мезозойско-кайнозойский базальт, все по [46].

Fig. 6. Normalized to chondrite REE spectra in the Upper Precambrian–Lower Triassic clay rocks (average composition) of the paleocontinental sector of the Southern Urals.

KC_{PZ-KZ} – Phanerozoic cratonic shale, GP_{AR} average Archean granite, GP_{PZ-KZ} – Phanerozoic granite, B3_{PZ} – Paleozoic basalt, B3_{MZ-KZ} – Mesozoic-Cenozoic basalt – all after [46].

Eu/Eu*_{среднее} равно 0.7, а пределы изменения значений данного параметра составляют 0.4–0.9. Породы верхнего венда обладают несколько меньшей средней величиной (La/Yb)_N (≈10.0), а параметр Eu/Eu* понижается до 0.6 (рис. 7).

Аргиллиты верхнего девона обладают заметно более низким средним значением (La/Yb)_N, чем тонкозернистые обломочные породы венда (7.7 против 12.5 в породах серебрянской серии нижнего венда и ≈10.0 в породах сыльвицкой серии верхнего

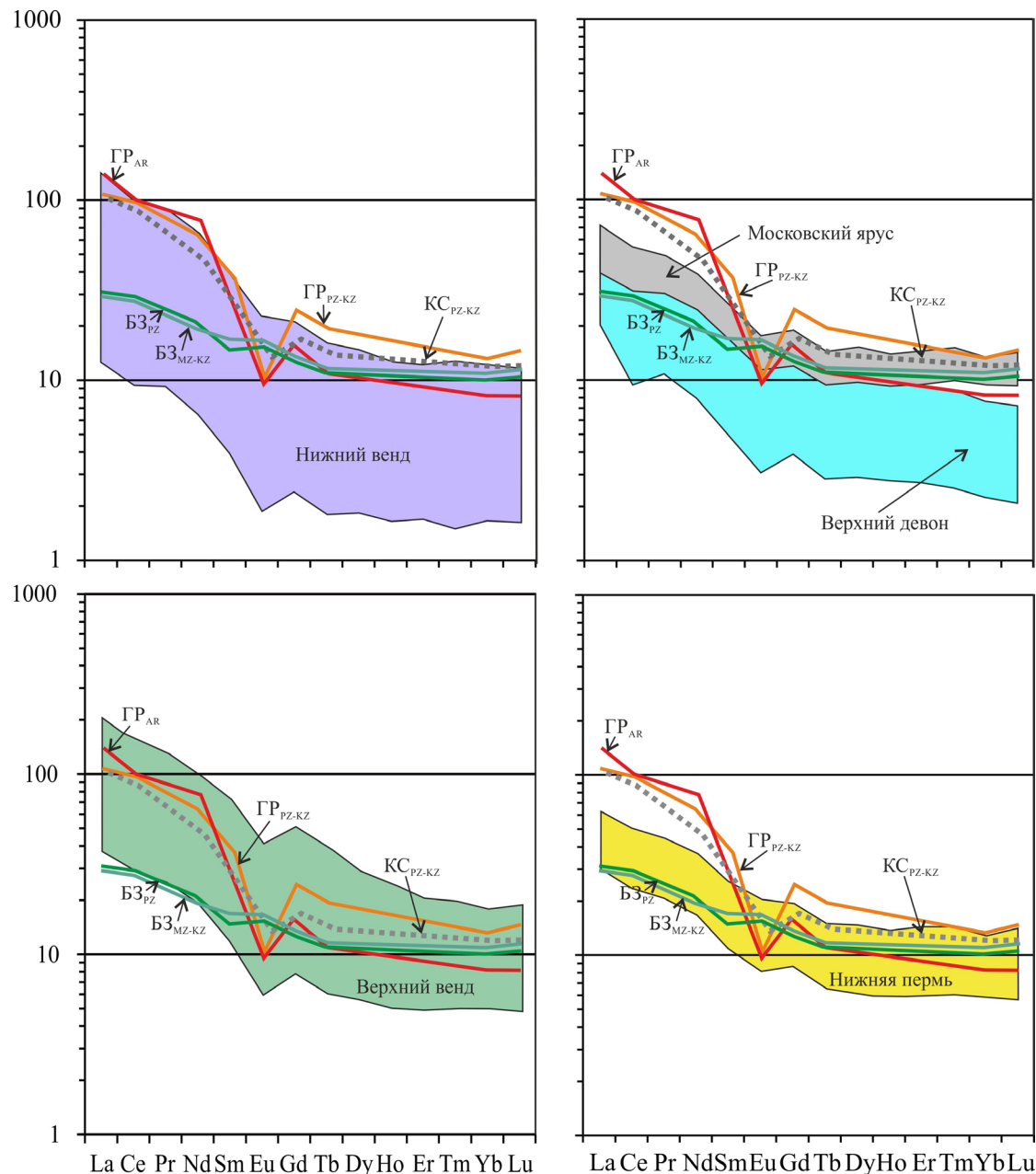


Рис. 7. Нормированные по хондриту спектры распределения РЗЭ в глинистых породах верхнего докембрия–нижней перми палеоконтинентального сектора Среднего Урала.

Условные обозначения см. рис. 6.

Fig. 7. Normalized to chondrite REE spectra in the Upper Precambrian–Lower Permian clay rocks of the paleocontinental sector of the Middle Urals.

Symbols see Fig. 6.

венда), а вот величины отрицательной европиевой аномалии в них сопоставимы.

Глинистые породы московского яруса Юрюзано-Сылвинской впадины Предуральяского прогиба имеют существенно более низкое среднее значение $(La/Yb)_N$ (≈ 5.0), чем породы верхнего девона. Заметно меньше в них и средняя величина евро-

пиевой аномалии (0.8). Все это позволяет предполагать, что доля основной алюмосиликокластики в указанных образованиях заметно выше, чем в тонкозернистых обломочных породах венда и верхнего девона. Примерно такие же средние величины обоих рассматриваемых нами параметров характерны для глинистых пород нижней перми названной впа-

дины ($(\text{La/Yb})_N = 5.3$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.9$). Таким образом, нижнепермские отложения палеоконтинентально-го сектора Среднего Урала, как и одновозрастные им породы Южного Урала, содержат в своем составе максимальную среди всех рассмотренных нами в настоящей публикации осадочных образований долю продуктов размыва магматических пород основного состава.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Анализ особенностей изменения спектров U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов и геохимических характеристик глинистых образований, сопоставление их с известными в истории Земли глобальными, а также региональными/локальными геодинамическими событиями, проявленными в пределах Уральского региона, позволяют сделать некоторые заключения о составе и положении питающих провинций, общих особенностях перемещения кластики, и, кроме того, дают возможность проследить эволюцию палеогеографических обстановок на рассматриваемой территории на протяжении более полутора миллиардов лет её геологической истории.

В истории Земли, наиболее важные и широкомаштабные (планетарные) события, при которых генерируются гигантские объемы гранитоидов и гранитно-метаморфических комплексов, типичным акцессорным минералом которых является циркон, проявлены в периоды сборки суперконтинентов. Три последних из них, признаваемые большинством специалистов, это существовавший в конце палеозоя–начале мезозоя суперконтинент Пангея (Пангея А. Вегенера), суперконтинент Родиния, отвечающий концу мезопротерозоя–началу неопротерозоя и палеопротерозойский суперконтинент Колумбия (Нуна).

В процессе формирования названных суперконтинентов происходили столкновения крупных блоков сиала (палеоконтинентов). В возникающих в зонах столкновения – орогенах в больших объемах выплавлялись гранитоиды и формировались гранитно-метаморфические комплексы. Впоследствии орогены разрушались, а цирконы вместе с некоторыми другими устойчивыми продуктами эрозии разносились на большие расстояния. Процессы орогенеза, проявлявшиеся в зонах столкновения континентов, а также эпейрогенические движения, свойственные внутренним частям континентов, приводили также к тому, что в размыв вовлекались и более древние осадочные образования, выступавшие источниками переотложенных, в том числе и гораздо более древних, обломочных цирконов.

Не вызывает особого сомнения тот факт, что большая часть продуктов разрушения горных сооружений, аккумулируется во внутриконтинентальных бассейнах или бассейнах пассивных окраин,

где накапливаются толщи мощностью в несколько километров, иногда до 17–20 километров. Именно такая мощность характерна для осадочных последовательностей позднего докембрия–палеозоя Западного Урала, поэтому в соответствии с имеющимися фактами логично считать, что часть своей рифейско-вендской истории этот регион представлял собой бассейн/бассейны на пассивной континентальной окраине (современный аналог – североамериканский и африканский шельфы Атлантического океана), а также внутриконтинентальный бассейн/бассейны (современный аналог – Прикаспийский бассейн). Накопление же палеозойских отложений на рассматриваемой территории происходило в рамках истории Уральского палеоокеана.

Песчаники айской свиты характеризуют самые ранние стадии заложения раннерифейского бассейна на месте современного Башкирского мегантиклинория. Седиментационный возраст этой свиты – не моложе 1.75–1.70 млрд лет – примерно соответствует времени заложения системы древних авлакогенов Восточно-Европейской платформы (ВЕП). В указанную эпоху еще продолжалось формирование Колумбии (2.1–1.7 млрд лет). Частью указанного процесса была и кратонизация ВЕП (образование ПротоБалтики). Это позволяет предполагать, что заложение айского бассейна происходило на фоне заключительных стадий сборки Колумбии.

В целом, в спектре возрастов цирконов из песчаников упомянутой свиты доминируют палеопротерозойские датировки, при второстепенном вкладе материала разрушения архейских протократонов. То есть, в айской свите представлены, главным образом, продукты разрушения орогенов, спаявших Колумбию в единый суперконтинент. Реликты таких орогенов (Волго-Сарматский, Средне-Русский, Лапландско-Кольский и др.) известны в фундаменте ВЕП. Комплексы пород примерно такого же возраста (1.7–2.0 млрд лет) широко представлены и на других кратонах, например, Сибирском [33] и Северо-Американском [63], которые, также как и ПротоБалтика, были частью Колумбии.

В то же время, одни только U-Pb изотопные возрасты цирконов не позволяют идентифицировать источники палеопротерозойских и архейских кристаллов. Выход из указанной ситуации позволяют найти данные по изотопии Lu-Hf в обломочных цирконах из песчаников айского и лемезинского уровней стратотипа рифея: они фиксируют очень древние (>3.5 млрд лет) модельные возрасты субстрата цирконов, и позволяют с высокой степенью вероятности считать основным поставщиком кластики именно Волго-Уральскую и соседние с ней части ВЕП [34, 36].

В интервале верхний рифей–нижний венд по сравнению с основанием бурзяния (айская свита) в возрастах обломочных цирконов из изученных нами образцов [21, 22, 35, 36] не фиксируется появления каких-либо новых, чужеродных фундаменту ВЕП

источников сноса, варьирует только относительный вклад источников. Так, в песчаниках верхнерифейской лемезинской подсвиты зильмердакской свиты Южного Урала установлено преобладание продуктов размыва локального источника кластики с возрастом ~2.7 млрд лет, а в породах нижневендской танинской свиты Среднего Урала вновь доминирует материал разрушения палеопротерозойских орогенов при минимальном вкладе архейской кластики. Поскольку спектры распределения U-Pb-изотопных возрастов обломочных цирконов в песчаниках танинской и айской свит очень похожи визуально, а значение KS-коэффициента достигает достаточно большой величины (0.201), можно предполагать, что танинская свита формировалась за счет переотложения продуктов размыва рифейских осадочных образований, в той или иной мере сходных с айской свитой, или за счет разрушения одних и тех же/сходных пород источников сноса. Нельзя не отметить также чрезвычайно длительный период отсутствия каких-либо проявлений тектоно-магматических процессов на палеоводосборах, поставлявших кластику в ранневендский осадочный бассейн: интервал между временем накопления отложений танинской свиты и возрастом самого молодого зерна в слагающих ее песчаниках достигает ~1.2 млрд лет. В это время произошло становление мезопротерозойского суперконтинента Родиния и начались процессы его деформации, однако обломочные цирконы с возрастными, соответствующими времени формирования Родинии, в танинской свите не зафиксированы. Таким образом, бассейн раннего венда, существовавший на западном склоне Среднего Урала либо располагался очень далеко от мезопротерозойских орогенов Родинии, либо был отделен от них какой-то преградой, препятствовавшей перемещению кластики к этому осадочному бассейну, так как продукты их разрушения в него не попадали.

В позднем венде палеогеографическая и/или палеотектоническая ситуация резко изменилась: в бассейн стал поступать материал, содержащий обломочные цирконы с мезо- и раннеопротерозойскими возрастными (керноская свита⁵ Среднего Урала), а в конце венда (басинская и куккараукская свиты Южного Урала) этот материал становится доминирующим. Поскольку источники цирконов с мезо- и раннеопротерозойскими возрастными на ВЕП известны только в ее северо-западной части, удаленной более чем на 2000 км от Западного Урала, доминирование в песчаниках из верхневендских толщ Западного Урала обломочных цирконов с указанными возрастными требует специального рассмотрения.

Анализ палеогеографии ВЕП в венде показал [15], что известные пути транспортировки кластики через платформу вряд ли могли обеспечить доминирование мезо- и раннеопротерозойских обломочных цирконов в верхневендских осадочных толщах на востоке (здесь и далее – в современных координатах) Балтики. Более вероятно появление у поздневендского бассейна второго (восточного) борта и/или возникновение ситуации, при которой материал, сносимый с указанного борта бассейна, стал достигать уральского края/окраины ВЕП. Вопрос о том, что собой мог представлять восточный борт – отдельная проблема.

В наиболее популярных плитотектонических реконструкциях [2, 55, 56, 58 и др.] в неопротерозое уральская окраина Балтики представляет собой пассивную окраину Родинии. Однако ряд авторов [48, 62] считает, что около уральского края Балтики в неопротерозое располагался квинслендский край/окраина Австралии. Сопоставление возрастов обломочных цирконов из некоторых близкородственных пород Австралии – кварцитов формации Капп Ривер (Cape River formation, Квинсленд), а также песчаников формаций Бонни (Bonney Sandstones) и Марино (Marino Arkose), распространенных в районе Аделаиды [49, 51], сложенных продуктами эрозии мезопротерозойских орогенов Мусгрейв и Джоржтаун Центральной и/или Западной Австралии, со спектрами U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаников ашинской серии Южного Урала показало их заметное сходство [15, 16, 54]. Исходя из сказанного, нельзя исключать того, что именно указанные объекты могли быть источниками обломочного материала для верхневендских толщ западного склона как Южного, так и Среднего Урала. Однако пока для надежных реконструкций общей конфигурации Родинии и обоснованных выводов о природе предполагаемого восточного борта поздневендского седиментационного бассейна все еще мало данных.

Изменение питающих провинций во второй половине венда для западноуральского бассейна/бассейнов фиксируется и по данным геохимических исследований тонкой алюмосиликокластики, указывающим на появление в верхневендских отложениях продуктов размыва основных/ультраосновных магматических (и/или метаморфических) образований. Это дает основание предполагать, что, начиная с середины венда, на палеоводосборах возрастает доля комплексов пород-реликтов “океанических структур” (офиолиты (?) и/или комплексы, изначально сформированные на активных окраинах или в океанических дугах⁶).

⁵ В соответствии с современными представлениями [6], керноская, старопечнинская и перевалокская свиты Кваркушко-Каменногогорского мегантиклинория принадлежат редкинскому региону верхнего венда.

⁶ К числу последних мог, принадлежать, предполагаемый в работах [39, 40] краевой вулканический пояс, располагавшийся в венде-раннем кембрии на стыке Восточно-Европейского палеоконтинента и Протоуральского океана.

В конце раннего девона в западноуральском бассейне накапливались существенно кварцевые песчаники такатинской свиты. Судя по результатам датирования обломочных цирконов из этих песчаников [14, 32], в бассейн седиментации поступал материал разрушения только очень древних (>1.9 млрд лет) комплексов пород. Временной интервал между формированием пород такатинской свиты и **U-Pb изотопным возрастом самого молодого циркона**, выделенного из них, составляет около 1.5 млрд лет! В спектре возрастов обломочных цирконов из этих песчаников не установлено ни продуктов разрушения мезопротерозойских орогенов, представленных в верхневендских толщах (танинская свита Среднего Урала, басинская и куккараукская свиты Южного Урала), ни продуктов протоуральской орогении, зафиксированных в верхнекембрийско-нижнеордовикских песчаниках манитаньбурдской и погурейской свит [42, 57], распространенных на западе Полярного Урала (подробнее см. ниже). С другой стороны, спектр **U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов** из песчаников такатинской свиты практически подобен возрастному спектру цирконов из лемезинской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея Южного Урала ($KS\text{-коэффициент} = 0.387$) и очень схож со спектром **U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов** из отложений танинской свиты нижнего венда Среднего Урала ($KS\text{-коэффициент} = 0.296$). Это свидетельствует о высокой степени сходства комплексов пород, служивших источниками обломочного материала указанных свит, и позволяет идентифицировать в качестве единственно возможной питающей провинции для такатинской свиты – северо-восточную часть фундамента Волго-Уралии.

В каменноугольное время и позднее, питающими провинциями для Западноуральского бассейна, кроме ВЕП выступали области, сформированные несколькими аккреционными и коллизионными событиями, приведшими в итоге в самом конце палеозоя к появлению Уральского коллизионного орогена. Однако данные об **U-Pb изотопных возрастах обломочных цирконов** из каменноугольных и нижнепермских песчаников Западного Урала пока отсутствуют. Это задача будущих исследований.

Между геологами, изучающими Уральский регион существует консенсус в понимании того, что верхнепермские толщи Предуральского прогиба представляют собой молассу, сформированную за счет размыва Уральского орогена. В полученном нами, хотя статистически и малопредставительном, наборе конкордантных **U-Pb изотопных датировок обломочных цирконов** из песчаников татарского яруса доминируют мезопротерозойские кристаллы при подчиненной роли палеопротерозойских зерен. То есть, несмотря на то, что осадочные образования верхней перми Западного Урала считают-

ся молассой, в слагающих их песчаниках продуктов разрушения палеозойских комплексов, из которых в существенной степени сложен Уральский ороген, фактически не установлено. Возможно, что это является отражением количественной малопредставительности набора проанализированных обломочных цирконов или следствием неудачного места отбора образца. Тем не менее, нельзя не отметить, что даже для этого набора возрастов установлено высокое сходство с **U-Pb изотопными возрастами обломочных цирконов** из песчаников ашинской серии ($KS = 0.641$ и $KS = 0.521$, **басинская и куккараукская свиты**, соответственно), в которых также зафиксирован сильный мезопротерозойский сигнал, и которые также, как и отложения татарского яруса являются молассой, правда другого, более древнего орогена.

В более количественно представительном наборе возрастов обломочных цирконов из пробы песчаников нижнего триаса доминируют кристаллы, **U-Pb изотопный возраст** которых позволяет предположить, что указанные песчаники сложены продуктами эрозии собственно уральских (палеозойских) комплексов, вовлеченных в строение эпипалеозойского Уральского орогена. Наряду с указанным материалом в нижнетриасовых песчаниках заметную роль также играют обломочные цирконы с возрастными характеристиками для кристаллических комплексов орогена Протоуралид-Тиманид.

Как уже было отмечено, данные **U-Pb изотопного возраста обломочных цирконов** из осадочных образований Западного Урала, принадлежащих к стратиграфическому интервалу средний девон – нижняя пермь, в настоящее время отсутствуют. Однако имеются аналогичные данные по песчаникам западного склона Полярного Урала [18] показывающие, что их питающие провинции были сложены комплексами пород, содержащими цирконы, возрасты которых соответствуют протоуральско-тиманским и уральским коллизионным событиям [18, 42, 53]. Так, например, в визейское время на эрозионную поверхность были выведены преимущественно среднепалеозойские магматические комплексы, слагавшие, очевидно, реликты различных элементов Малоуральско-Войкарской островодужной системы, которая к этому времени была скучена у края континента и представляла собой восточный борт полярной части западноуральского осадочного бассейна [17, 18]. В конце карбона – начале перми главным поставщиком кластики для рассматриваемой территории стали комплексы пород растущего Уральского орогена [17, 18].

Таким образом, возрастная структура обломочных цирконов в песчаниках самых верхних горизонтов палеозоя и нижнего триаса Предуральского прогиба в известной степени сопоставима со спектром **U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов** из песчаников верхнего венда Западного Ура-

ла; существенная роль принадлежит среди них цирконам, переотложенным из более древних осадочных образований.

ВЫВОДЫ

Данные U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов из песчаников рифея, венда, палеозоя и нижнего триаса Западного Урала, как и материалы исследования геохимических особенностей глинистых образований того же возрастного интервала, фиксируют изменение характера осадочного материала, выполняющего осадочные бассейны области сочленения ВЕП и Урала. На протяжении всего рифея это был преимущественно кратоногенный материал, источником которого являлся кристаллический фундамент ВЕП (в основном Волго-Уральская область и соседние части цоколя ВЕП). Начиная с венда, в осадочные толщи Западного Урала попадает все больше и больше продуктов разрушения офиолитов и комплексов, изначально сформированных на активных окраинах или в островных дугах (содержащих основные и ультраосновные магматические и/или метаморфические образования). Пик этих событий пришелся на раннюю пермь. Исключение составляют раннедевонские песчаники такатинской свиты, которые, судя по полученным материалам, также, как и рифейско-нижневендские песчаники представляют собой кратоногенные образования.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ: договор № 14.Z50.31.0017 (ИФЗ РАН) и грант 2330 (РГУНГ им. И.М. Губкина). Анализ геохимических особенностей тонкозернистых пород венда Южного и Среднего Урала – одна из тем исследований в рамках гранта РФФИ 15-05-01512. Систематизация и обработка аналитических данных по возрастам обломочных цирконов из позднедокембрийских толщ запада Южного Урала и палеозойских толщ запада Полярного Урала проведены при поддержке Российского Научного Фонда (грант 14-27-00058, ГИН РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Недра, 288 с.
- Богданова С.В., Писаревский С.А., Ли Ч.Х. (2009) Образование и распад Родинии (по результатам МПТК 440). *Стратиграфия. Геол. корреляция*. **17**(3), 29-45.
- Вовна Г.М., Киселев В.И., Сахно В.Г., Мишкин М.А., Ленников А.М., Зарубина Н.В., Вельдемар А.А. (2014) Первые данные по локальному изотопному U-Pb-датированию цирконов (метод LA-ICP-MS) гиперстеновых плагиогнейсов Джугджурского блока (юго-восток Алданского щита). *Докл. АН*. **459**(2), 189-193.
- Геология и палеогеография западного склона Урала (1977) (Под ред. Ю.Д. Смирнова). Л.: Недра, 199 с.
- Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии (2008) (Под ред. А.В. Маслова) Екатеринбург: УрО РАН, 274 с.
- Гражданкин Д.В. и Маслов А.В. (2015) Место венда в Международной стратиграфической шкале. *Геология и геофизика*. **56**(4), 703-717.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2010) Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 280 с.
- Даргевич В.А. и Якобсон К.Э. (1960) Анализ вещественного состава и фаций верхнепалеозойских терригенных толщ в связи с геологической историей Башкирского Урала. *Геология и полезные ископаемые Урала и Тургай*. Л.: ВСЕГЕИ, 57-71.
- Ильинская М.Н. (1980) О составе песчаников зилаирской серии на Южном Урале. *Литология и полез. ископаемые*. (6), 32-44.
- Киселев В.И., Вовна Г.М., Мишкин М.А., Ковалева Е.Ю. (2008) Одновременное определение содержания редких элементов и U-Pb изотопных отношений цирконов по единичному зерну методом LA-ICP-MS. *Материалы VIII научной конференции "Аналитика Сибири и Дальнего Востока"*. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 78-79.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н. (2013) Цирконология навашских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале. *Докл. АН*. **448**(4), 437-442.
- Кузнецов Н.Б. (2009) Комплексы протоуралид-тиманид и позднедокембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИФЗ РАН, 51 с.
- Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Романюк Т.В., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанин Е.Н., Серегина Е.С., Цельмович В.А. (2013а) Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопного датирования обломочных цирконов из базальных уровней стратотипа рифея. *Докл. АН*. **451**(3), 308-313.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. (2014) Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет. *Бюл. МОИП. Отд. геол.* **89**(5), 56-70.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Меерт Дж. (2012а) 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*. (4), 59-77.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Орлов С.Ю., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Ипатьева И.С. (2012б) Первые результаты массового U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала – палеогеографический и палеотектонический аспекты. *Докл. АН*. **447**(1), 73-79.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Орлов С.Ю., Горожанин В.М., Горожанин Е.Н., Серегина Е.С., Иванова Н.С., Меерт Дж. (2014) Первые U/Pb данные о возрастах детритных цирконов

- из песчаников верхнеэмской такатинской свиты Западного Урала (в связи с проблемой коренных источников уральских алмазоносных россыпей). *Докл. АН.* **455**(4), 427-432.
18. Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Миллер Э.Л., Удорткина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. (2013б) Первые U/Pb-датировки детритных цирконов из песчаников среднего и верхнего палеозоя Полярного Урала: тестирование региональных тектонических моделей. *Докл. АН.* **451**(2), 183-188.
 19. Кузнецов Н.Б., Шацкило А.В. (2011) Первые находки скелетных фосфоритов в кукараукской свите ашинской серии Южного Урала и их значение для определения начала протоуральско-тиманской коллизии. *Докл. АН.* **440**(3), 378-383.
 20. Маслов А.В. (1997) Осадочные ассоциации рифея стратотипической местности. Екатеринбург: УрО РАН, 220 с.
 21. Маслов А.В., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2011) Первые результаты U-Pb-датирования обломочных цирконов из отложений серебрянской серии (верхний протерозой, Средний Урал). *Докл. АН.* **439**(3), 359-364.
 22. Маслов А.В., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. (2012) U-Pb-систематика обломочных цирконов из отложений серебрянской серии Среднего Урала. *Литология и полез. ископаемые.* (2), 180-196.
 23. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфилов Л.В. (2001) Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, Т. I. 351 с.
 24. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Бадида Л.В., Крупенин М.Т., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Ронкин Ю.Л. (2015) Литогеохимия терригенных ассоциаций южных впадин Предуральяского прогиба. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 310 с.
 25. Мизенс Г.А. (1980) Петрография и минералогия нижнепермских песчаников западного склона Среднего Урала. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 60 с.
 26. Мизенс Г.А. (1997) Верхнепалеозойский флиш Западного Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 230 с.
 27. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. (1976) Пески и песчаники. М.: Мир, 536 с.
 28. Петров Г.А. (2013) Проявление тектонической обстановки скольжения плит в фанерозойской истории Среднего Урала: постановка проблем и некоторые направления исследования. *Ежегодник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160*, 56-61.
 29. Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
 30. Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 280 с.
 31. Пушаровский Ю.М. (1959) Краевые прогибы, их тектоническое строение и развитие. М.: Изд-во АН СССР, 153 с.
 32. Пыжова Е.С., Попова Н.С. (2015) Результаты изотопного (U/Pb) датирования обломочных (детритных) цирконов из песчаников алмазоносной эмской (нижний девон) такатинской свиты западного Урала. *Вестник РУДН. Инженерные исследования.* (1), 45-51.
 33. Розен О.М. (2003) Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции. *Геотектоника.* (3), 3-21.
 34. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. (2014) Геохимическая и Lu/Hf-изотопная (LA-ICP-MS) систематика детритных цирконов из песчаников базальных уровней стратотипа рифея. *Докл. АН.* **459**(3), 340-344.
 35. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. (2013б) Геохимическая и (LA-ICP-MS) Lu/Hf систематика детритных цирконов из лемезинских песчаников верхнего рифея южного Урала. *Докл. АН.* **453**(6), 657-661.
 36. Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С. (2013а) Первые результаты U/Pb LA-ICP-MS датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклинария (Южный Урал). *Докл. АН.* **452**(6), 642-645.
 37. Ронов А.Б. и Мигдисов А.А. (1996) Количественные закономерности строения и состава осадочных толщ Восточно-Европейской платформы и Русской плиты и их место в ряду древних платформ мира. *Литология и полез. ископаемые.* (5), 451-475.
 38. Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Хане К. (1995) Количественные закономерности эволюции состава алевроспесчаных пород Русской плиты. *Геохимия.* (3), 323-348.
 39. Руженцев С.В., Самыгин С.Г. (2004) Структура и тектоническое развитие области сочленения Восточно-Европейской платформы и Южного Урала. *Геотектоника.* (4), 20-44.
 40. Самыгин С.Г., Руженцев С.В. (2003) Уральский палеоокеан: модель унаследованного развития. *Докл. АН.* **392**(2), 226-229.
 41. Саркисян С.Г., Хворова И.В. (1954) О некоторых особенностях состава песчано-алевритовых пород карбона и нижней перми южной части Уральского передового прогиба. *Бюл. МОИП. Отд. геол.* **29**(2), 21-41.
 42. Соболева А.А., Кузнецов Н.Б., Миллер Э.Л., Удорткина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. (2012) Первые результаты U/Pb-датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уральцев (Полярный Урал). *Докл. АН.* **445**(5), 570-576.
 43. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
 44. Хворова И.В. (1961) Флишевая и нижнемолассовая формации Южного Урала. М.: Изд-во АН СССР, 352 с.
 45. Хворова И.В., Ильинская М.Н. (1980) Верхнедевонские граувакковые отложения Южного Урала и механизм их формирования. *Литология и полез. ископаемые.* (4), 55-67.
 46. Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.* **104**, 1-37.
 47. Cullers R.L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO,

- USA. *Chem. Geol.* **191**, 305-327.
48. Evans D.A.D. (2009) The palaeomagnetically viable, long-lived and all-inclusive Rodinia supercontinent reconstruction. *Ancient Orogens and Modern Analogues*. (Eds. J.B. Murphy, J.D. Keppie, A.J. Hynes). Geological Society (London), Spec. Publ. **327**, 371-404.
 49. Fergusson Ch.L., Henerson R.A., Fanning M.C., Withenall I.W. (2007) Detrital zircon ages in Neoproterozoic to Ordovician siliciclastic rocks, northeastern Australia: implications for the tectonic history of the East Gondwana continental margin. *J. Geol. Soc. (London)*. **164**, 215-225.
 50. Grahdankin D. (2004) Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland. *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*. (Eds. D.G. Gee, V.L. Pease) London: The Geological Society, 37-46.
 51. Ireland T.R., Flöttmann T., Fanning C.M., Gibson G.M., Preiss W.V. (1998) Development of the early Paleozoic Pacific margin of Gondwana from detrital-zircon ages across the Delamerian orogen. *Geology*. **26**(3), 243-246.
 52. Kuznetsov N.B., Natapov, L.M., Belousova, E.A., O'Reilly, S.Y., Griffin, W.L. (2010) Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: implications for plate tectonic models. *Gondwana Res.* **17**(2-3), 583-601.
 53. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V. (2014b) New data on detrital zircons from the sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea region, East-European craton): unraveling the timing of the onset of the Arctida-Baltica collision. *Intern. Geol. Rev.* **56**(16), 1945-1963.
 54. Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. (2014a) Ages of detrital zircons (U/Pb, LA-ICP-MS) from the Latest Neoproterozoic–Middle Cambrian (?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the Southwestern Urals: A test of an Australia-Baltica connection within Rodinia. *Prec. Res.* **244**, 288-305.
 55. Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins A.S., Davidson A., Waele B., Ernst R.E., Fitzsimons I.C.W., Fuck R.A., Gladkochub D.P., Jacobs J., Karlstrom K.E., Lu S., Natapov L.M., Pease V., Pisarevsky S.A., Thrane K., Vernikovsky V. (2008) Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Prec. Res.* **160**, 179-210.
 56. Meert J.G. and Powell C.McA. (2001) Introduction to the special volume on the assembly and breakup of Rodinia. *Prec. Res.* **110**, 1-8.
 57. Miller E.L., Kuznetsov N., Soboleva A., Udoratina O., Grove M., Gehrels G.E. (2011) Baltica in the Cordillera? *Geology*. **39**, 791-794.
 58. Powell C.McA., McElhinny M.W., Li Z.X., Meert J.G., Park J.K. (1993) Paleomagnetic constraints on timing of the Neoproterozoic breakup of Rodinia and the Cambrian formation of Gondwana. *Geology*. **21**, 889-892.
 59. Roy D.K., Roser B.P. (2013) Climatic control on the composition of Carboniferous–Permian Gondwana sediments, Khalaspir basin, Bangladesh. *Gondwana Res.* **23**, 1163-1171.
 60. Schoenborn W.A., Fedo C.M. (2011) Provenance and paleoweathering reconstruction of the Neoproterozoic Johnnie Formation, southeastern California. *Chem. Geol.* **285**, 231-255.
 61. Sharma A., Sensarma S., Kumar K., Khanna P.P., Saini N.K. (2013) Mineralogy and geochemistry of the Mahi River sediments in tectonically active western India: Implications for Deccan large igneous province source, weathering and mobility of elements in a semi-arid climate. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **104**, 63-83.
 62. Swanson-Hysell N.L., Maloof A.C., Kirschvink J.L., Halverson G.P., Hurtgen M.T. (2012) Constraints on Neoproterozoic paleogeography and Paleozoic orogenesis from paleomagnetic records of the Bitter Springs Formation, Amadeus Basin, central Australia. *Am. J. Sci.* **312**, 817-884.
 63. Whitmeyer S.J. and Karlstrom K.E. (2007) Tectonic model for the Proterozoic growth of North America. *Geosphere*. **3**(4), 220-259.

Some general features of the Western Urals terrigenous deposits formation: Synthesis of U-Pb isotopic age data of detrital zircon and geochemical investigation of the sales and mudstones

A.V. Maslov*, **, G.A. Mizens*, G.M. Vovna***, E.S. Pyzhova****,
N.B. Kuznetsov*****, *****, V.I. Kiselev***, Yu.L. Ronkin*,
A.Z. Bikbaev*, T.V. Romanyuk*****, *****

*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

**Institute of Geology, Ufimian Scientific Centre of RAS

***Far East Geological Institute, Far East Branch of RAS

****Peoples' Friendship University of Russia

*****Russian State Oil and Gas University

*****Geological Institute of RAS

*****Institute of Physics of the Earth of RAS

The data on U-Pb-isotopic ages of detrital zircons from Riphean–Paleozoic and Early Triassic sandstones and geochemistry of shales and mudstones of the Western Urals are discussed. The ages of detrital zircons suggest that the sand material for sedimentary basins existed at the junction of the East European Platform and Urals during more than one and a half billion years, has been brought mainly from the platform. Tectonogenic sands (according F.J. Pettijohn and co-authors) as a part of the Western Urals sedimentary associations play a significant role only in Vendian and in the last third of the Paleozoic. During the rest of the time was dominated cratonogenic sands. According to clay rocks geochemical characteristics during the time from 1750 to 250 Ma, there are unidirectional trend in the composition of the erosion areas: increasing mafic and ultramafic igneous rocks which reached to maximum in Early Permian time.

Key words: *East European Platform, Western Urals, Riphean-Paleozoic sedimentary sequences, detrital zircons, U-Pb-isotopic dating, clay rocks, geochemistry.*

REFERENCES

1. Bekker Yu.R. (1988) *Molassy dokembrija* [Precambrian molasses]. Leningrad: Nedra Publ., 288 p. (In Russian).
2. Bogdanova S.V., Pisarevskij S.A., Lee Ch.Kh. (2009) Formation and disintegration of Rodinia (according to the IGCP 440). *Stratigr. Geol. Korrel.* **17**(3), 29-45. (In Russian).
3. Vovna G.M., Kiselev V.I., Sakhno V.G., Mishkin M.A., Lennikov A.M., Zarubina N.V., Vel'demar A.A. (2014) The first data on the local isotopic U-Pb-dating of zircon (the method of LA-ICP-MS) from hypersthene plagiogneiss Dzhugdzhur block (south-east of the Aldan Shield). *Docl. Akad. Nauk.* **459**(2), 189-193. (In Russian).
4. *Geologija i paleogeografija zapadnogo sclona Urala* [Geology and paleogeography of the western slope of the Urals] (1977) (Ed. Yu.D. Smirnov). Leningrad: Nedra Publ., 199 p. (In Russian).
5. *Geokhimiya tonkozernistykh terrigennykh porod verkhnego dokembrija Severnoj Evrazii* [Geochemistry of fine-grained clastic rocks of the Upper Precambrian Northern Eurasia] (2008) (Ed. A.V. Maslov) Ekaterinburg: UrO RAN, 274 p. (In Russian).
6. Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2015) Vendian place in the International stratigraphic scale. *Geol. geofiz.* **56**(4), 703-717. (In Russian).
7. Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2010) *Osadochnye sistemy sylvitskoj serii (verkhnij vend Srednego Urala)* [Sedimentary system of Sylva series (Upper Vendian of the Middle Urals)]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 280 p. (In Russian).
8. Dargevich V.A., Jakobson K.E. (1960) Analysis of the material composition and facies of Upper Paleozoic clastic strata in connection with the geological history of the Bashkir Urals. *Geologija i poleznye iskopaemye Urala i Turgaja*. Leningrad: VSEGEI Publ., 57-71. (In Russian).
9. Il'inskaja M.N. (1980) On the composition of sandstones Zilair series in the Southern Urals. *Litol. Polezn. Iskop.* (6), 32-44. (In Russian).
10. Kiselev V.I., Vovna G.M., Mishkin M.A., Kovaleva E.Yu. (2008) Simultaneous determination of trace elements and U-Pb zircon isotopic ratios for single grains by LA-ICP-MS. *Materialy VIII nauchnoj konferentsii "Analitika Sibiri i Dal'nego Vostoka"*. Tomsk: T. Politekh. Univer. Publ., 78-79. (In Russian).
11. Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Lepehina E.N. (2013) Zirkons from volcanites of Ai Formation and the problem of the age of the lower boundary of Riphean in the Southern Urals. *Docl. Akad. Nauk.* **448**(4), 437-442. (In Russian).
12. Kuznetsov N.B. (2009) *Kompleksy protouralid–timanid i pozdnedokembrijsko–rannepaleozojskaja evolyutsija vostochnogo i severo-vostochnogo obramlenija Vostochno-Evropskoj platformy* [Complexes Protouralid–Timanides and Late Precambrian–Early Paleozoic evolution of the eastern and north-eastern framing of the East European Platform]. Avtoref. dis. ... dokt. geol.-min. nauk. Moscow: IFZ RAN, 51 p. (In Russian).
13. Kuznetsov N.B., Maslov A.V., Belousova E.A., Romanyuk T.V., Krupenin M.T., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N., Seregina E.S., Tsel'movich V.A. (2013) [The first results of U-Pb LA-ICP-MS isotope

- dating of detrital zircons from basal levels of the Riphean stratotype]. *Docl. Akad. Nauk.* **451**(3), 308-313. (In Russian).
14. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. (2014) Evolution of Paleozoic Polar Urals: Voykar pool with oceanic crust existed for at least 65 million years. *Bul. MOIP. Otd. Geol.* **89**(5), 56-70. (In Russian).
 15. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Meert Dzh. (2012a) Age detrital zircons from the Asha Series of Southern Urals – acknowledgment spatial conjugation of the Urals Baltic edge and Australia Queensland region in Rodinia (“Australia Upside Down conception”). *Litosfera.* (4), 59-77. (In Russian).
 16. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Orlov S.Yu., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Ipat'e-va I.S. (2012) The first results of the mass U-Pb-isotope dating (LA-ICP-MS) detrital zircons from the Asha Series of Southern Urals – paleogeographic and paleotectonic aspects. *Docl. Akad. Nauk.* **447**(1), 73-79. (In Russian).
 17. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Orlov S.Yu., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N., Seregina E.S., Ivanova N.S., Meert J. (2014) The first U/Pb ages of detrital zircons data from sandstones Upper Ems Takata Suites Western Urals (in connection with the problem of indigenous sources Urals diamondiferous placers). *Docl. Akad. Nauk.* **455**(4), 427-432. (In Russian).
 18. Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Miller E.L., Udoratina O.V., Gerels J., Romanyuk T.V. (2013b) First U/Pb-dating of detrital zircons from sandstones of the Middle and Upper Paleozoic Polar Urals: Testing of regional tectonic models. *Docl. Akad. Nauk.* **451**(2), 183-188. (In Russian).
 19. Kuznetsov N.B., Shatsillo A.V. (2011) The first finds of skeletal fossils in Kukkarauk Suite Asha Series of Southern Urals Mountains and their significance for determining the start Protouralian-Timan conflict. *Docl. Akad. Nauk.* **440**(3), 378-383. (In Russian).
 20. Maslov A.V. (1997) *Osadochnye assotsiatsii rifeja stratotipicheskoy mestnosti* [Sedimentary associations in Riphean stratotype area]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 220 p. (In Russian).
 21. Maslov A.V., Vovna G.M., Kiselev V.I., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2011) The first results of U-Pb-dating of detrital zircons from the sediment Serebryanka series (Upper Proterozoic, the Middle Urals). *Docl. Akad. Nauk.* **439**(3), 359-364. (In Russian).
 22. Maslov A.V., Vovna G.M., Kiselev V.I., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T. (2012) U-Pb-systematics detrital zircons from the sediment Serebryanka series of the Middle Urals. *Litol. Polezn. Iskop.* (2), 180-196. (In Russian).
 23. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) *Rifej zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskie pamjatniki prirody)* [Riphean the western slope of the Southern Urals (classic sections and sedimentogenesis, lithogenesis, minerageny, geological monuments of nature)]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN Publ., T. I. 351 p. (In Russian).
 24. Maslov A.V., Mizens G.A., Badida L.V., Krupenin M.T., Vovna G.M., Kiselev V.I., Ronkin Yu.L. (2015) *Litogeokhimiya terrigennykh assotsiatsij yuzhnykh vpadin Predural'skogo progiba* [Litogeochemistry clastic terrigenous associations southern troughs the Cis-Uralian flexure]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN Publ., 310 p. (In Russian).
 25. Mizens G.A. (1980) *Petrografiya i mineralogija nizhnepersmskikh peschanikov zapadnogo sklona Srednego Urala* [Petrography and mineralogy of Lower Permian sandstones of the Middle Urals western slope]. Sverdlovsk: IGG USC AN SSSR, 60 p. (In Russian).
 26. Mizens G.A. (1997) *Verkhnepaleozojskij flish Zapadnogo Urala* [Upper paleozoic flysch Western Urals]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN Publ., 230 p. (In Russian).
 27. Pettijhon F., Potter P., Siver R. (1976) *Peski i peschaniki*. [Sands and sandstones]. Moscow: Mir Publ., 536 p. (In Russian).
 28. Petrov G.A. (2013) The manifestation of the tectonic plates sliding conditions in the Phanerozoic history of the Middle Urals: statement of problem and some direction of research. *Ezhegodnik-2012. Tr. IGG UrO RAN. V. 160*, 56-61. (In Russian).
 29. Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics Southern and Middle Urals]. Ufa: Dauriya Publ., 146 p. (In Russian).
 30. Puchkov V.N. (2010) *Geologija Urala i Priural'ja (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Ural region (current questions stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DizajnPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian).
 31. Pushcharovskii Yu.M. (1959) *Kraevye progiby, ikh tektonicheskoe stroenie i razvitie* [Foredeeps their tectonic structure and development]. Moscow: AN SSSR Publ., 153 p. (In Russian).
 32. Pyzhova E.C., Popova N.S. (2015) Isotopic results (U/Pb) dating of detrital zircons from sandstones diamondiferous Ems (Lower Devonian) Takata Suite Western Urals. *Vestn. RUDN. Inzhenernye issledovaniya.* (1), 45-51. (In Russian).
 33. Rozen O.M. (2003) The Siberian Craton: tectonic zoning, stages of evolution. *Geotektonika.* (3), 3-21. (In Russian).
 34. Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Maslov A.V., Belousova E.A., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N. (2014) Geochemical and Lu/Hf-isotope (LA-ICP-MS) taxonomy of detrital zircons from sandstones basal levels Riphean stratotype. *Docl. Akad. Nauk.* **459**(3), 340-344. (In Russian).
 35. Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Maslov A.V., Belousova E.A., Ronkin Yu.L., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N. (2013) Geochemical and (LA-ICP-MS) Lu/Hf systematics of detrital zircons from Lemeza sandstones of the Upper Riphean Southern Urals. *Docl. Akad. Nauk.* **453**(6), 657-661. (In Russian).
 36. Romanyuk T.V., Maslov A.V., Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N., Seregina E.S. (2013) The first results of U/Pb LA-ICP-MS dating of detrital zircons from the Upper sandstones Bashkir anticlinorium (Southern Urals). *Docl. Akad. Nauk.* **452**(6), 642-645. (In Russian).
 37. Ronov A.B., Migdisov A.A. (1996) Quantitative regularities of structure and composition of sedimentary

- rocks of the East European Platform and the Russian Plate and their place in a number of ancient platforms in the world. *Litol. Polezn. Iskop.* (5), 451-475. (In Russian).
38. Ronov A.B., Migdisov A.A., Hane K. (1995) Quantitative laws of the evolution of the composition of siltysandstone rocks Russian Plate]. *Geokhimiya.* (3), 323-348. (In Russian).
 39. Ruzhentsev S.V., Samygin S.G. (2004) Structure and tectonic development of the junction of the East European Platform and the Southern Urals. *Geotektonika.* (4), 20-44. (In Russian).
 40. Samygin S.G., Ruzhentsev S.V. (2003) Ural paleocean: model inherited development. *Docl. Akad. Nauk.* **392**(2), 226-229. (In Russian).
 41. Sarkisjan S.G., Hovorova I.V. (1954) Some features of the composition of sand and silty rocks of Carboniferous and Permian southern Ural foredeep. *Bul. MOIP. Otd. Geol.* **29**(2), 21-41. (In Russian).
 42. Soboleva A.A., Kuznetsov N.B., Miller E.L., Udoratina O.V., Gerels J., Romanyuk T.V. (2012) The first results of U/Pb-dating of detrital zircons from the basal horizons of Uralides (Polar Urals). *Docl. Akad. Nauk.* **445**(5), 570-576. (In Russian).
 43. Taylor S.R., MakLennan S.M. (1988) *Kontinental'naja kora: ee sostav i evolyutsija* [The continental crust: its structure and evolution]. Moscow: Mir Publ., 384 p. (In Russian).
 44. Hovorova I.V. (1961) *Flishevaja i nizhnemolassovaja formatsii Yuzhnogo Urala* [Flisch and Low-Molasse formation of the Southern Urals]. Moscow: AN SSSR Publ., 352 p. (In Russian).
 45. Hovorova I.V., Il'inskaja M.N. (1980) Upper Devonian graywacke deposits of the Southern Urals and the mechanism of their formation. *Litol. Polezn. Iskop.* (4), 55-67. (In Russian).
 46. Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.* **104**, 1-37.
 47. Cullers R.L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.* **191**, 305-327.
 48. Evans D.A.D. (2009) The palaeomagnetically viable, long-lived and all-inclusive Rodinia supercontinent reconstruction. *Ancient Orogens and Modern Analogues.* (Eds. Murphy J.B., Keppie J.D., Hynes A.J.). Geological Society (London), Spec. Publ. **327**, 371-404.
 49. Fergusson Ch.L., Henerson R.A., Fanning M.C., Withenall I.W. (2007) Detrital zircon ages in Neoproterozoic to Ordovician siliciclastic rocks, northeastern Australia: implications for the tectonic history of the East Gondwana continental margin. *J. Geol. Soc. (London).* **164**, 215-225.
 50. Grazhdankin D. (2004) Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland. *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica.* (Eds. Gee D.G., Pease V.L.) London: The Geological Society, 37-46.
 51. Ireland T.R., Flöttmann T., Fanning C.M., Gibson G.M., Preiss W.V. (1998) Development of the early Paleozoic Pacific margin of Gondwana from detrital-zircon ages across the Delamerian orogen. *Geology.* **26**(3), 243-246.
 52. Kuznetsov N.B., Natapov, L.M., Belousova, E.A., O'Reilly, S.Y., Griffin, W.L. (2010) Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: implications for plate tectonic models. *Gondwana Res.* **17**(2-3), 583-601.
 53. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V. (20146) New data on detrital zircons from the sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea region, East-European craton): unraveling the timing of the onset of the Arctida-Baltica collision. *Intern. Geol. Rev.* **56**(16), 1945-1963.
 54. Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. (2014a) Ages of detrital zircons (U/Pb, LA-ICP-MS) from the Latest Neoproterozoic-Middle Cambrian (?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the Southwestern Urals: A test of an Australia-Baltica connection within Rodinia. *Prec. Res.* **244**, 288-305.
 55. Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins A.S., Davidson A., Waele B., Ernst R.E., Fitzsimons I.C.W., Fuck R.A., Gladkochub D.P., Jacobs J., Karlstrom K.E., Lu S., Natapov L.M., Pease V., Pisarevsky S.A., Thrane K., Vernikovsky V. (2008) Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Prec. Res.* **160**, 179-210.
 56. Meert J.G. and Powell C.McA. (2001) Introduction to the special volume on the assembly and breakup of Rodinia. *Prec. Res.* **110**, 1-8.
 57. Miller E.L., Kuznetsov N., Soboleva A., Udoratina O., Grove M., Gehrels G.E. (2011) Baltica in the Cordillera? *Geology.* **39**, 791-794.
 58. Powell C.McA., McElhinny M.W., Li Z.X., Meert J.G., Park J.K. (1993) Paleomagnetic constraints on timing of the Neoproterozoic breakup of Rodinia and the Cambrian formation of Gondwana. *Geology.* **21**, 889-892.
 59. Roy D.K. and Roser B.P. (2013) Climatic control on the composition of Carboniferous-Permian Gondwana sediments, Khalaspir basin, Bangladesh. *Gondwana Res.* **23**, 1163-1171.
 60. Schoenborn W.A., Fedo C.M. (2011) Provenance and paleoweathering reconstruction of the Neoproterozoic Johnnie Formation, southeastern California. *Chem. Geol.* **285**, 231-255.
 61. Sharma A., Sensarma S., Kumar K., Khanna P.P., Saini N.K. (2013) Mineralogy and geochemistry of the Mahi River sediments in tectonically active western India: Implications for Deccan large igneous province source, weathering and mobility of elements in a semi-arid climate. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **104**, 63-83.
 62. Swanson-Hysell N.L., Maloof A.C., Kirschvink J.L., Halverson G.P., Hurtgen M.T. (2012) Constraints on Neoproterozoic paleogeography and Paleozoic orogenesis from paleomagnetic records of the Bitter Springs Formation, Amadeus Basin, central Australia. *Am. J. Sci.* **312**, 817-884.
 63. Whitmeyer S.J. and Karlstrom K.E. (2007) Tectonic model for the Proterozoic growth of North America. *Geosphere.* **3**(4), 220-259.