

УДК 551.72 (470.55/58)+550.93

DOI: 10.24930/1681-9004-2024-24-1-29-48

Некоторые литогеохимические и изотопно-геохимические особенности глинистых пород и перерывы в стратотипе рифея

А. В. Маслов

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург,
ул. Академика Вонсовского, 15, e-mail: amas2004@mail.ru

Поступила в редакцию 10.05.2023 г., принята к печати 26.07.2023 г.

Объект исследований в данной работе – глинистые породы нижнего, среднего и верхнего рифея (соответственно – бурзянской, юрматинской и каратауской серий) западного склона Южного Урала. Рассмотрены изменения свойственных им значений ряда отношений оксидов и некоторых редких и рассеянных элементов – индикаторов состава пород на палеоводосборах с учетом присутствующих в стратотипе рифея перерывов разной длительности. Основной метод исследований – расчет характерных для глинистых сланцев, мелкозернистых глинистых алевролитов и аргиллитов основных литостратиграфических единиц стратотипа рифея (свит и в ряде случаев подсвит) усредненных величин $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Th/Sc , La/Co и $(\text{La}/\text{Yb})_N$ и анализ их изменения с учетом известных в стратотипе рифея предмашакского/предзигальгинского, предзильмердакского, предминьярского и преддукского перерывов. **Результаты.** Установлено, что на протяжении всего рифея, вне зависимости от перерывов в осадконакоплении, связанных с теми или иными перестройками в областях питания и осадконакопления, ряд литогеохимических характеристик тонкозернистых обломочных пород бурзянской, юрматинской и каратауской серий (такие как $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Th/Sc , La/Co и в существенной степени $(\text{La}/\text{Yb})_N$) практически не испытывали значимых изменений. **Выводы.** Полученные результаты дают повод думать, что принципиальных изменений в составе комплексов пород – источников тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей рифея на протяжении более 1 млрд лет не происходило, и противоречат активному сценарию тектонических процессов конца раннего докембрия и всего позднего докембрия. Напротив, данные о значениях $t_{\text{Nd}}(\text{DM})$ и $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ в 37 образцах глинистых пород стратотипа рифея все же отражают смену состава пород питающих провинций и так или иначе вписываются в канву субглобальных событий, установленных традиционными геологическими методами в стратотипической местности рифея. В соответствии с ними в айсское и машакское время в областях сноса имело место увеличение доли ювенильного материала. К этому же привел и предзильмердакский перерыв.

Ключевые слова: глинистые породы, литогеохимия, перерывы, стратотип рифея, Южный Урал

Источник финансирования

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания ИГГ УрО РАН (номер госрегистрации 123011800013-6)

Some lithogeochemical and isotope-geochemical features of clay rocks and hiatuses in the Riphean stratotype

Andrey V. Maslov

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia,
e-mail: amas2004@mail.ru

Received 10.05.2023, accepted 26.07.2023

Research subject. Clay rocks of the Lower, Middle, and Upper Riphean (respectively, the Burzyan, Yurmatau, and Karatau groups) of the Western slope of the Southern Urals. Changes in their characteristic values of a number of ratios of oxides and some trace elements that are indicators of rock composition in provenances are considered, taking into account the breaks of different duration present in the Riphean stratotype. **Methods.** Calculation of the average values of $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Th/Sc , La/Co and $(\text{La}/\text{Yb})_N$, typical for shales, fine-grained clay siltstones, and mudstones of the main lithostratigraphic units of the Riphean stratotype (formation and, in some cases, subformation) and analysis

Для цитирования: Маслов А.В. (2024) Некоторые литогеохимические и изотопно-геохимические особенности глинистых пород и перерывы в стратотипе рифея. *Литосфера*, 24(1), 29–48. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-29-48>

For citation: Maslov A.V. (2024) Some lithogeochemical and isotope-geochemical features of clay rocks and hiatuses in the Riphean stratotype. *Lithosphere (Russia)*, 24(1), 29–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-29-48>

of their changes taking into account the hiatuses known in the Riphean stratotype (Pre-Mashak/Pre-Zigalga, Pre-Zilmerdak, Pre-Minyar, Pred-Uk). *Results.* It was established that throughout the entire Riphean, regardless of breaks in sedimentation, presumably associated with certain transformations in the areas of erosion and sedimentation, a number of lithogeochemical characteristics of fine-grained clastic rocks of the Burzyan, Yurmatau, and Karatau groups (such as $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Th/Sc, La/Co, and, to a significant extent, $(\text{La}/\text{Yb})_N$) practically did not experience significant changes. *Conclusions.* The data obtained give reason to think that there were no fundamental changes in the composition of the sources of fine-grained aluminosiliciclastics for the Riphean sedimentary sequences for more than 1 Ga, and contradict the rather active scenario of tectonic processes at the end of the Early Precambrian and the entire Late Precambrian. Conversely, the data on the values of $t_{\text{Nd}}(\text{DM})$ and $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ in 37 samples of clay rocks of the Riphean stratotype nevertheless reflect a change in the composition of the rocks of the feeding provinces and, one way or another, fit into the outline of subglobal events established by conventional geological methods in the stratotype area of the Riphean. In accordance with them, in the Ai and Mashak times, an increase in the proportion of juvenile material took place in the areas of erosion. Apparently, the Pre-Zilmerdak hiatus also led to the appearance of a significant proportion of basic igneous rocks among the rocks of the provenances.

Keywords: clay rocks, lithogeochemistry, hiatuses, Riphean stratotype, Southern Urals

Funding information

The research was carried out in accordance with the State Contract No. 123011800013-6 of the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS

Acknowledgements

The author is sincerely grateful to the reviewers for the useful discussion of the issues raised in the article, comments and recommendations, most of which were taken into account. The illustrations for this work were made by N.S. Glushkova.

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что минеральный и химический состав, а также изотопно-геохимические особенности тонкозернистых обломочных/глинистых пород отражают преобладающий/интегральный тип пород – источников кластики в областях размыва (Taylor, McLennan, 1985; Geochemistry..., 2003). Разнообразные тектонические и магматические события приводят или могут приводить к преобразованию состава пород в областях сноса, что должно сказываться на изменении литогеохимических характеристик тонкозернистой алюмосиликокластики, поступающей в бассейны седиментации.

Наиболее эффективными инструментами для реконструкции интегрированного состава пород, слагающих области питания осадочных бассейнов, являются распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) и Sm-Nd изотопная систематика тонкозернистых обломочных/глинистых пород (аргиллитов, глинистых сланцев, мелкозернистых глинистых алевролитов). Соотношения РЗЭ и величины отношения Sm/Nd в большинстве случаев сохраняются в слагающем их материале в тех же пропорциях, что и в материнских породах, несмотря на выветривание, транспортировку, аккумуляцию и метаморфизм (Taylor, McLennan, 1985; McLennan, 1989; Cullers, 1995, 2002; Geochemistry..., 2003; и др.).

Sm-Nd изотопная характеристика осадочных пород позволяет получить информацию о соотношении в их составе мантийного и корового материала и их модельном возрасте (времени пребывания в коре). Появление на палеоводосборах нового мантийного материала увеличивает отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в формирующихся за их счет размыва осадках, уменьшает их модельный возраст $t_{\text{Nd}}(\text{DM})$, а также сдвигает величину $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ в сторону больших значений (McCulloch, Wasserburg, 1978; Michard et al., 1985; и др.). Вариации названных параметров отражают изменения палеогеографической и тектонической обстановки в прошлом, а их анализ предоставляет важную информацию, получить которую иными способами невозможно.

Наряду с Sm-Nd изотопной систематикой для реконструкции состава пород – источников сноса широко используются данные о содержании и соотношениях в тонкозернистых обломочных породах редких и рассеянных элементов. Считается, что геохимические характеристики глинистых пород отражают состав существенно больших по площади водосборов, чем аналогичные параметры песчаных пород (Taylor, McLennan, 1985; см. также ссылки в этой работе). Эти подходы предполагают анализ присущих тонкозернистым обломочным породам индикаторных отношений La, Th, Co, Sc, Cr, Ni, V, Zr и ряда других элементов. Используют-

ся для этой цели и соотношения ряда основных породообразующих оксидов (Маслов и др., 2020; см. также ссылки в этой работе). Еще один подход такого плана – анализ соотношений в глинистых породах оксидов алюминия и титана (McLennan et al., 1979; Ray, Paul, 2021).

В настоящей работе на примере стратотипического разреза рифея Южного Урала, расположенного на восточной (в современных координатах) окраине Балтики, сопоставляются данные о составе пород в источниках сноса, полученные как при анализе геохимических характеристик слагающих их глинистых пород, так и при рассмотрении соотношений ряда главных породообразующих оксидов. Основное внимание при этом уделено изменению различных литогеохимических параметров глинистых пород рифея до ряда известных в стратотипе рифея перерывов и после них, длительность которых оценивается, по разным данным, от первых десятков миллионов лет до почти четверти миллиарда лет. Мы намеренно не привлекаем к рассмотрению имеющиеся в литературе сведения о возрастах обломочного циркона, выделенного из песчаников стратотипа рифея. Таких данных все еще мало, а появляющиеся в последнее время (см., например: Маслов и др., 2018; Зайцева и др., 2022; и др.) показывают, что общая картина распределения возрастов обломочного циркона в песчаниках стратотипа рифея еще далека от идеала.

Проблема возможного влияния перерывов на формирование состава слагающих стратотип рифея осадочных образований рассматривается нами не впервые. Так, в публикации (Маслов, 2020б) показано следующее: 1) при общей длительности формирования осадочных последовательностей всех четырех седиментационных серий верхнего докембрия западного склона Южного Урала порядка 1200 млн лет примерно 460 млн лет из них (т. е. около 40%) в геологической летописи здесь, по всей видимости, не представлено; 2) получение методически надежных данных об изотопном возрасте авзянской свиты позволило бы верифицировать представления о наличии в типовой местности рифея длительного перерыва между юрматинием и каратавием. В статье (Маслов, 2020а) для тестирования гипотезы о том, что известные в верхнерифейско-вендской последовательности Южного Урала перерывы могли сопровождаться перестройками областей питания и это приводило к появлению на них ранее не подверженных выветриванию комплексов пород, проанализированы литогеохимические особенности глинистых пород инзерской, миньярской, укской, бакеевской и басинской свит. В результате оказалось, что единственным литостратиграфическим подразделением в указанной осадочной последовательности, глинистые породы которого обладают химически заметно менее зрелым характером по сравнению с таковым под-

стилающих их образований, выступает нижеукская подсвита. Высказано предположение, что это служит следствием появления в предукское время на палеоводоразделах менее преобразованных процессами выветривания комплексов пород. Настоящая работа продолжает исследования влияния перерывов в стратотипе рифея на литогеохимические и Sm-Nd изотопно-геохимические характеристики слагающих его тонкозернистых обломочных/глинистых пород.

СТРОЕНИЕ ЭТАЛОННОГО РАЗРЕЗА РИФЕЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЛАГАЮЩИХ ЕГО ОСАДОЧНЫХ АССОЦИАЦИЙ

Стратотипический разрез рифея расположен на западном склоне Южного Урала в Башкирском мегантиклинории (рис. 1) и представлен интра- и перикратонными терригенными, карбонатно-терригенными и карбонатными последовательностями, на некоторых уровнях среди которых присутствуют также вулканиты (Стратотип..., 1983; Нижний рифей..., 1989; Маслов и др., 2001, 2002). Он объединяет три крупные седиментационные серии: бурзянскую, юрматинскую и каратаускую (рис. 2), являющиеся типовыми подразделениями соответственно нижнего, среднего и верхнего рифея (Стратотип..., 1983; Семихатов и др., 2009, 2015).

Бурзянская серия несогласно залегает на метаморфических породах архея – раннего протерозоя тараташского комплекса и на северо-востоке Башкирского мегантиклинория (Бакало-Саткинский район) объединяет айскую, саткинскую и бакальскую свиты. Айская свита представлена преимущественно терригенными породами. В нижней ее части известны вулканиты с U-Pb изотопным возрастом циркона 1752 ± 11 млн лет (Краснобаев и др., 2013а). Саткинская свита объединяет в основном доломиты. Известняки, слагающие маломощную пачку у ее кровли, имеют Pb-Pb возраст 1550 ± 30 млн (Кузнецов и др., 2008). Бакальская свита сложена в нижней части низкоуглеродистыми глинистыми сланцами, а в верхней – несколькими терригенными и карбонатными пачками; возраст раннего диагенеза известняков одной из таких пачек равен 1430 ± 30 млн лет (Кузнецов и др., 2003). Переходы между названными свитами постепенные, через переслаивание (Стратотип..., 1983; Нижний рифей..., 1989). В центральных районах Башкирского мегантиклинория аналогами названных стратонів считаются большеинзерская, суранская и юшинская свиты (Стратотип..., 1983; Нижний рифей..., 1989).

На отложениях бурзянской серии с перерывом (его максимальная длительность может быть порядка 40–50 млн лет) и угловым несогласием залегают терригенные и терригенно-карбонатные об-

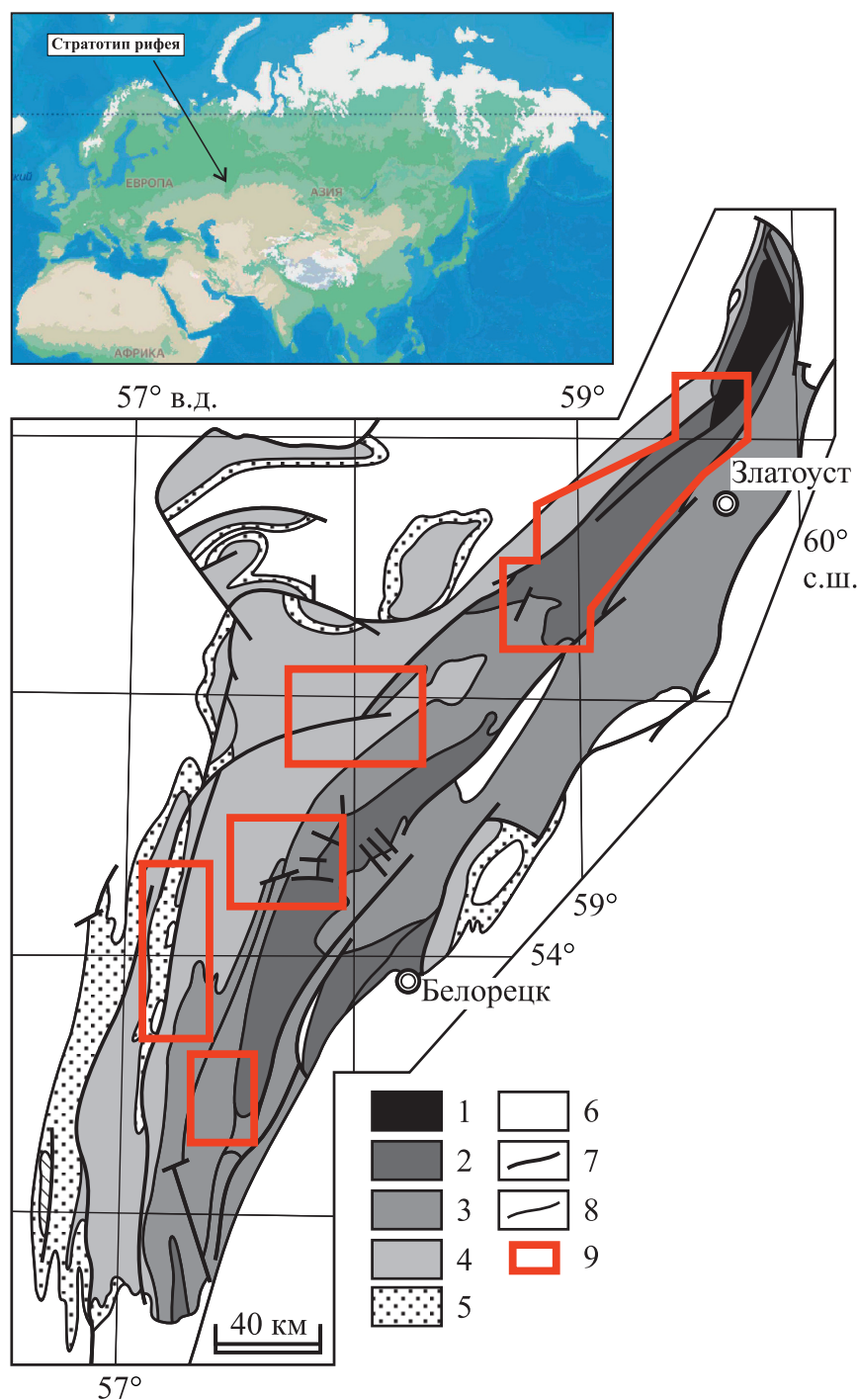


Рис. 1. Положение стратотипического разреза рифея на территории Евразии и схематическая геологическая карта Башкирского мегантиклинория.

1 – архей и нижний протерозой; 2 – нижний рифей; 3 – средний рифей; 4 – верхний рифей; 5 – венд; 6 – палеозой; 7 – разрывные нарушения; 8 – геологические границы; 9 – районы основного отбора образцов. Географическая основа – Яндекс Карты (<https://yandex.ru/maps/?ll=103.964267%2C28.775506&z=2>).

Fig. 1. The position of the stratotype section of the Riphean in the territory of Eurasia and a schematic geological map of the Bashkirian meganticlinorium.

1 – Archean and Lower Proterozoic; 2 – Lower Riphean; 3 – Middle Riphean; 4 – Upper Riphean; 5 – Vendian; 6 – Paleozoic; 7 – discontinuities; 8 – geological boundaries; 9 – areas of main sampling. Geographical basis – Yandex Maps (<https://yandex.ru/maps/?ll=103.964267%2C28.775506&z=2>).

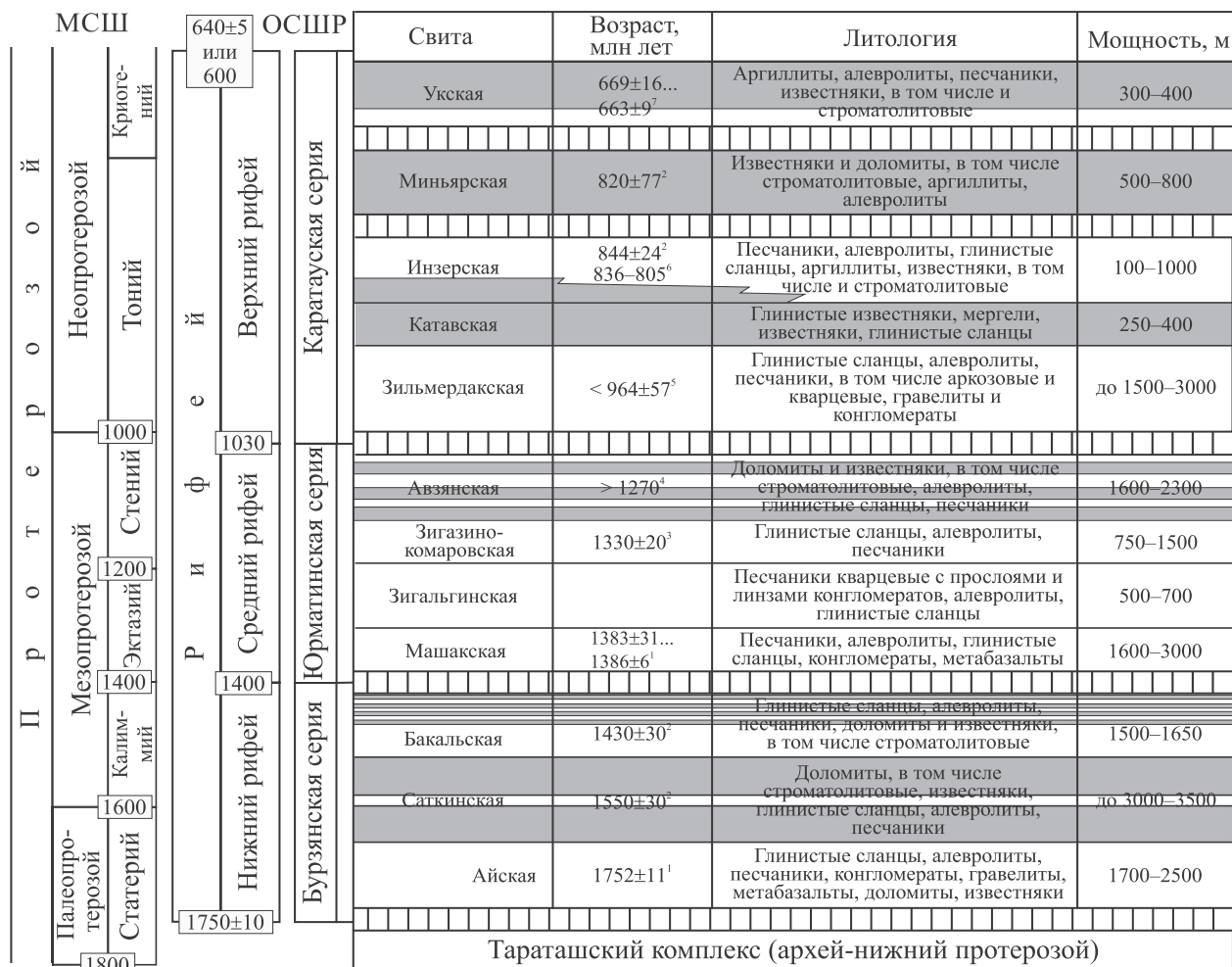


Рис. 2. Стратотипический разрез рифея (Маслов и др., 2022 с изменениями, а также ссылки в этой работе).

Серый фон – интервалы развития карбонатных пород, вертикальная штриховка – перерывы без указания длительности. 1 – U-Th-Pb (SIMS) датировки циркона магматических пород; 2 – Pb-Pb возраст карбонатных пород; 3 – Pb-Pb возраст диагенетических фосфатных конкреций; 4 – оценочные данные Sr-хемостратиграфии; 5 – минимальный U-Th-Pb возраст обломочного циркона; 6 – Rb-Sr возраст 1M иллита; 7 – Rb-Sr возраст глауконита.

МСШ – Международная стратиграфическая шкала (версия v2020/03, www.stratigraphy.org); ОСШР – Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала России (по состоянию на 2019 г., http://www.vsegei.com/ru/info/stratigraphy/stratigraphic_scale/); возраст нижних границ нижнего и среднего рифея показан в соответствии с представлениями (Краснобаев и др., 2013а, 2013б; Семихатов и др., 2015).

Fig. 2. Riphean stratotype section (Maslov et al., 2022 with modifications, and references there).

Gray background – intervals of development of carbonate rocks, vertical shading – hiatuses without indication of duration.

1 – U-Th-Pb (SIMS) dating of zircon from igneous rocks; 2 – Pb-Pb age of carbonate rocks; 3 – Pb-Pb age of diagenetic phosphate nodules; 4 – estimated data of Sr-chemostratigraphy; 5 – minimum U-Th-Pb age of detrital zircon; 6 – Rb-Sr age of 1M illite; 7 – Rb-Sr age of glauconite.

МСШ – International Chronostratigraphic Chart (version v2020/03, www.stratigraphy.org); ОСШР – General stratigraphic (geochronological) scale of Russia (as of 2019, http://www.vsegei.com/ru/info/stratigraphy/stratigraphic_scale/); the age of the lower boundaries of the Lower and Middle Riphean is shown in accordance with the concepts (Krasnobayev et al., 2013a, 2013b; Semikhatov et al., 2015).

разования юрматинской серии. В центральной части Башкирского мегантиклинория эта серия объединяет машакскую, зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. В Бакало-Саткинском районе машакская свита отсутствует и юрма-

тинская серия представлена зигальгинско-авзянской последовательностью. Машакская свита залегает с угловым несогласием на породах юшинской свиты нижнего рифея. Она сложена в основном песчаниками и конгломератами, чередую-

щимися с метабазами и метариолитами. Для циркона из последних получен U-Th-Pb возраст 1383 ± 3 , 1386 ± 5 и 1386 ± 6 млн лет (Краснобаев и др., 2013б; Семихатов и др., 2015). Начальные этапы “машакского магматического события” датированы Sm-Nd методом в 1409 ± 89 млн лет (Ковалев и др., 2019). Зигальгинская свита объединяет преимущественно кварцевые песчаники. Зигазино-комаровская свита представлена пакетами и пачками переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Pb-Pb изотопный возраст раннедиагенетических фосфоритовых конкреций из основания свиты составляет 1330 ± 20 млн лет (Овчинникова и др., 2013). Авзянская свита включает несколько карбонатных и алюмосиликокластических толщ. На основании С-хемостратиграфических данных (Bartley et al., 2007) считается, что формирование отложений этого уровня стратотипа происходило не позже ≈ 1270 млн лет назад. Переходы между входящими в состав юрматинской серии свитами также постепенные, через переслаивание (Стратотип..., 1983).

Каратауская серия объединяет в типовых разрезах, т. е. в западной и центральной частях Башкирского мегантиклинория, зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты. На породах юрматинской серии она залегает с перерывом, длительность которого могла достигать 250 млн лет. Зильмердакская свита включает аркозовые песчаники (бирьянская подсвита), пачки переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев (нугушская и бедерышинская подсвиты), а также толщу кварцевых песчаников (лемезинская подсвита). U-Th-Pb изотопный возраст самого молодого зерна обломочного циркона из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты составляет 964 ± 57 млн лет (Маслов и др., 2018). Катавская свита сложена преимущественно глинистыми известняками и мергелями. Инзерская свита представлена пачками переслаивания глауконито-кварцевых песчаников, алевролитов и аргиллитов. В основании западной части Башкирского мегантиклинория присутствует толща сероцветных известняков (подинзерские слои, мощность до 200 м). Время раннего диагенеза этих известняков определено как 836 ± 25 млн лет (Овчинникова и др., 1998). Rb-Sr изотопный возраст раннедиагенетического иллита из глинистых сланцев инзерской свиты составляет 805–835 млн лет (Горохов и др., 2019). Зильмердакская, катавская и инзерская свиты связаны постепенными переходами. Миньярская свита сложена преимущественно доломитами, Pb-Pb изотопный возраст которых равен 780 ± 85 млн лет (Овчинникова и др., 2000). В публикации (Kuznetsov et al., 2017) приведены несколько иные данные – Pb-Pb изотопный возраст карбонатных пород инзерской и миньярской свит составляет 844 ± 24 и 820 ± 77 млн лет со-

ответственно. В основании миньярской свиты, по данным М.Е. Раабен (1975), присутствует небольшой перерыв; длительность его составляла, вероятно, первые миллионы лет. По мнению авторов работы (Кузнецов и др., 2003), перерывы в основании и средней части миньярской свиты были кратковременными и обусловлены ограниченными по площади эпизодами субаэральной экспозиции осадков. Укская свита в нижней части представлена терригенными и карбонатными породами, а в верхней – известняками. K-Ar и Rb-Sr изохронный возраст глауконита из песчаников нижнеукской подсвиты равен 669 ± 16 и 663 ± 9 млн лет (Зайцева и др., 2008). По мнению ряда авторов, возраст укской свиты может быть древнее: ≈ 720 млн лет (Маслов и др., 2019). В основании свиты установлен перерыв, длительность которого оценивается по-разному – от 20–30 до 80–100 млн лет (Беккер, 1988; Маслов, Крупенин, 1991; Подковыров и др., 1998; Маслов и др., 2002). Al-глауконит из песчаников бакеевской свиты, перекрывающей с разрывом породы укской свиты, имеет Rb-Sr изохронный возраст 638 ± 13 млн лет (Зайцева и др., 2013) или 642 ± 9 млн лет (Зайцева и др., 2019).

В раннем и среднем рифее в пределах современного Башкирского мегантиклинория и прилежащих к нему районах Восточно-Европейской платформы существовали, по всей видимости, относительно небольшие эпикратонные/надрифтовые бассейны, в которых накапливались как континентальные, так и прибрежно- и мелководно-морские отложения. Для позднего рифея вырисовывается латеральный ряд осадочных ассоциаций, напоминающий последовательность отложений пассивных континентальных окраин, – бирьянская подсвита зильмердакской свиты сложена преимущественно аллювиально-дельтовыми отложениями, а все более молодые литостратиграфические единицы каратауской серии представлены как мелководно-морскими, так и, по-видимому, образованиями открытого / относительно глубоководного шельфа (Маслов, 1988; Маслов и др., 2002, 2010; Пучков, 2010).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Общая характеристика состава глинистых пород рифея Южного Урала рассмотрена по данным более 240 валовых химических анализов (коллекции образцов Э.З. Гареева, М.Т. Крупенина и автора), выполненных в разные годы в лабораториях ПГО “Башкиргеология” и Института геологии УНЦ РАН (г. Уфа), а также Института геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) методами мокрой химии, рентгенофлуоресцентного анализа и ИСП-МС, при этом не вся в целом коллекция исследована каждым из указанных методов. Образцы для аналитических работ готовились

стандартным образом: использованы только свежие фрагменты пород, отобранные из естественных обнажений. Они были растерты до состояния пудры. Какой-либо селекции образцов ни до аналитических исследований, ни после них не производилось. Данные о содержании основных породообразующих оксидов, а также ряда редких и рассеянных элементов в изучаемой коллекции частично приведены в работе (Маслов и др., 2022, дополнительные материалы, табл. 1, 2). Привлечены также данные Sm-Nd систематики глинистых пород, проанализированные в публикации (Маслов и др., 2022). Эти сведения получены для 37 образцов глинистых сланцев и аргиллитов из нашей коллекции. Изучение Sm-Nd системы в валовых образцах глинистых пород проведено в ИГГД РАН (Санкт-Петербург) методом изотопного разбавления. Лабораторное загрязнение, по данным холостых опытов, составляло 0.05 нг для Sm и 0.2 нг для Nd. Точность определения отношения $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ составила $\pm 0.5\%$, а отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - \pm 0.005\%$. Величины $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ и $t_{\text{Nd}}(\text{DM})$ рассчитаны на основании значений для CHUR: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1967$ (Jacobsen, Wasserburg, 1984); DM: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513151$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.2136$.

Входящие в проанализированную коллекцию образцы отобраны из типовых и опорных разрезов рифея в Бакало-Саткинской районе, в окрестностях пос. Верх Авзян и Инзер, а также в бассейнах рек Юрюзань, Катав, Лемеза, Зилим, Бол. Нугуш и др. (см. рис. 1). Послойные описания этих разрезов можно найти в монографиях (Маслов, Крупенин, 1991; Маслов и др., 2001).

Рассматриваемые далее средние арифметические значения тех или иных индикаторных отношений, величины стандартных отклонений по выборкам, а также значения коэффициентов корреляции между двумя множествами данных рассчитаны рутинным образом с помощью программы Excel 97–2003. Используемые нами далее индикаторные отношения $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Th/Sc , La/Co и $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ выбраны потому, что имеют существенный разброс значений в магматических породах различного состава – возможных источниках тонкой алюмосиликокластики (McLennan et al., 1979; Condie, 1993; Маслов и др., 2020; см. также ссылки в этой работе).

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

На классификационной диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (Юдович, Кетрис, 2000) фигуративные точки глинистых сланцев и аргиллитов рифея демонстрируют существенную дисперсию по горизонтальной оси (Маслов и др., 2008) (рис. 3а). Их подавляющее большинство расположено в полях V и VI, что указывает на доминирование в типовом разрезе рифея “стандарт-

ных” трехкомпонентных (хлорит, смектит, иллит) глинистых пород с примесью тонкорастертых полевых шпатов. Точки состава глинистых сланцев бакальской свиты тяготеют к полям II и V; в поле II (породы с преобладанием смектита при подчиненной роли каолинита и иллита) локализованы также точки состава тонкозернистых обломочных пород машакской свиты. Фигуративные точки глинистых сланцев бирьянской и бедерышинской подсвит зильмердакской свиты расположены преимущественно в поле VI.

На диаграмме $\text{K}/\text{Al} - \text{Mg}/\text{Al}$ (Turgeon, Brumsack, 2006) фигуративные точки глинистых пород бурзянской и юрматинской серий в основном локализованы у референтных точек иллита и среднего постархейского австралийского глинистого сланца (PAAS (Taylor, McLennan, 1985)) (рис. 3б). Точки состава глинистых пород каратауской серии сдвинуты от точки иллита в сторону больших значений K/Al .

Приведенные данные хорошо соотносятся со сведениями о вещественном составе глинистых пород стратотипа рифея, суммированными в монографии (Маслов и др., 1999).

Тонкозернистые обломочные породы нижнего рифея обладают значениями $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ от 0.025 до 0.054. Глинистые сланцы и мелкозернистые глинистые алевролиты среднего рифея имеют несколько больший разброс данного отношения – от 0.032 до 0.093. Максимальный разброс минимального и максимального значений $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ характерен глинистым породам каратауской серии (0.016–0.101). По данным (Condie, 1993), средние значения $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ для гранитоидов архея – протерозоя составляют 0.017–0.021, а для известково-щелочных базальтов того же возраста – 0.065–0.098.

Величина отношения Th/Sc в глинистых породах нижнего рифея варьирует от 0.14 до 2.12. Глинистые породы среднего рифея обладают значениями данного параметра, изменяющимися в пределах от 0.04 до 1.49. Глинистые сланцы и аргиллиты верхнего рифея имеют в целом несколько больше, как минимальные, так и максимальные величины Th/Sc (0.38–3.30). Для гранитоидов архея – протерозоя средние значения Th/Sc отвечают интервалу 3.60–3.75; известково-щелочные базальты этого же возраста характеризуются величинами данного индикаторного отношения от 0.03 до 0.08 (Condie, 1993).

Глинистые сланцы бурзянской серии характеризуются значениями La/Co от 0.42 до 15.90. Тонкозернистые обломочные породы среднего рифея обладают примерно таким же разбросом величин рассматриваемого индикаторного отношения (0.43–14.87), тогда как глинистые породы каратауской серии имеют заметно больший разброс минимального и максимального значений La/Co (0.36–22.11). Кислые изверженные породы архея – протерозоя обладают

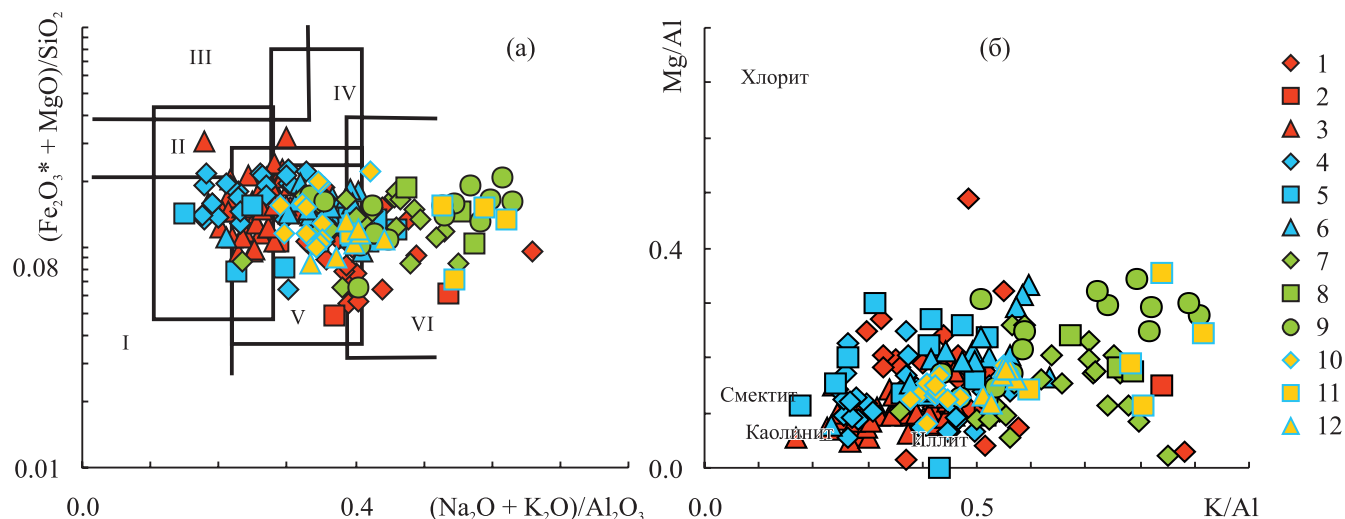


Рис. 3. Распределение фигуративных точек индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея на диаграммах $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (а) и K/Al – Mg/Al (б).

Свиты: 1 – айская; 2 – саткинская; 3 – бакальская; 4 – машакская; 5 – зигазино-комаровская; 6 – авзянская; 7 – бирьянская подсвита зильмердакской свиты; 8 – нугушская подсвита той же свиты; 9 – бедерышинская подсвита той же свиты; 10 – инзерская; 11 – миньярская; 12 – укская.

Поля: I – преимущественно каолиновых глин; II – преимущественно смектитовых с примесью каолинита и иллита глин; III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-иллита глин; IV – хлорит-иллитовых глин; V – хлорит-смектит-иллитовых глин; VI – иллитовых глин со значительной примесью дисперсных полевых шпатов.

Fig. 3. Distribution of individual data points of the Riphean clayey rocks on the $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (a) and K/Al – Mg/Al (b) diagrams.

Formations: 1 – Ai; 2 – Satka; 3 – Bakal; 4 – Mashak; 5 – Zigaza-Komarovo; 6 – Avzyan; 7 – Biryana Subformation of the Zilmardak Formation; 8 – Nugush Subformation of the same formation; 9 – Bederysh Subformation of the same formation; 10 – Inzer; 11 – Minyar; 12 – Uk.

Fields: I – of predominantly kaolinite clays; II – of predominantly smectite clays with an admixture of kaolinite and illite; III – of predominantly chlorite clays with an admixture of Fe-illite; IV – of chlorite-illite clays; V – of chlorite-smectite-illite clays; VI – of illite clays with a significant admixture of dispersed feldspars.

средними значениями La/Co в интервале 8.73–14.29; базальты архея – протерозоя имеют значения названного индикаторного отношения от 0.13 до 0.31 (Condé, 1993).

Глинистые породы нижнего рифея характеризуются средними величинами $(\text{La}/\text{Yb})_N$ от 9.87 ± 4.18 (айская свита) до 15.00 ± 4.07 (бакальская свита). Разброс значений $(\text{La}/\text{Yb})_N$ составляет здесь 2.84–24.04. Мелкозернистые алевролиты и глинистые сланцы машакского уровня имеют среднее значение $(\text{La}/\text{Yb})_N$, равное 10.65 ± 3.82 . Тонкозернистые обломочные породы зигазино-комаровской и авзянской свит обладают весьма близкими величинами $(\text{La}/\text{Yb})_{Ncp}$ (9.08 ± 5.15 и 8.40 ± 3.98) (Маслов и др., 2022). Разброс минимального и максимального значений $(\text{La}/\text{Yb})_N$ для данного уровня стратотипа рифея составляет 2.90–24.32. Глинистые породы верхнего рифея обладают значениями $(\text{La}/\text{Yb})_{Ncp}$, варьирующими от 6.05 ± 0.94 (миньярская свита) до 8.45 ± 1.69 (бедерышинская подсвита зильмердакской свиты) и 8.45 ± 0.95 (укская свита). Минимальная величина $(\text{La}/\text{Yb})_N$ в глинистых породах

каратауской серии равна 2.02, максимальная достигает 11.33.

Большинство глинистых пород нижнего и среднего рифея характеризуется значениями $t_{Nd}(\text{DM}) > 2.4$ млрд лет; тонкозернистые обломочные породы верхнего рифея обладают величинами данного параметра от 2.4 до 2.0 млрд лет. Глинистые породы бурзянской серии имеют значения $\epsilon_{Nd}(t)$ от –10.3 до –5.1. Величина $\epsilon_{Nd}(1380)$ для глинистых пород машакской свиты варьирует от –8.3 до –6.2. Глинистые сланцы зигазино-комаровской и авзянской свит характеризуются значениями $\epsilon_{Nd}(t)$ –7.7...–7.1 и –12.3...–9.3. Пределы вариаций $\epsilon_{Nd}(t)$ для глинистых пород верхнего рифея составляют –12.9...–5.9 (Маслов и др., 2022).

Величина коэффициента корреляции между значениями Th/Sc и $\epsilon_{Nd}(t)$ составляет 0.17. Для пары La/Co и $\epsilon_{Nd}(t)$ его величина несколько выше – 0.29. Индикаторное отношение $(\text{La}/\text{Yb})_N$ и параметр $\epsilon_{Nd}(t)$ имеют коэффициент корреляции для всей выборки ($n = 38$), равный 0.20. При удалении из выборки одного образца глинистых сланцев бакаль-

ской свиты, для которого $(La/Yb)_N = 20.21$, тогда как основная масса глинистых пород этого стратиграфического уровня обладает средней величиной $(La/Yb)_N 13.1 \pm 4.4$, коэффициент корреляции возрастает до 0.28. Для того чтобы читатель мог самостоятельно оценить приведенные соотношения, напомним, что критические значения коэффициентов корреляции r_{xy} для 10-, 5- и 1%-го уровней значимости для числа степеней свободы $f = n - 2$ составляют 0.275, 0.325 и 0.418 соответственно (Соловов, Матвеев, 1985).

ОБСУЖДЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И ВЫВОДЫ

Обратимся теперь к рассмотрению особенностей распределения свойственных глинистым породам различных свит рифея Южного Урала средних величин ряда литогеохимических параметров (TiO_2/Al_2O_3 , Th/Sc , La/Co , $(Yb/La)_N$), а также $t_{Nd}(DM)$ и $\varepsilon_{Nd}(t)$.

Подавляющее большинство индивидуальных фигуративных точек глинистых пород стратотипа рифея на диаграмме $Al_2O_3-TiO_2$ тяготеет к линиям, отвечающим соотношению “3 гранит + 1 базальт” и “6 гранит + 1 базальт” (рис. 4а). У линий “базальт” и “гранит” расположены единичные точки глинистых сланцев и аргиллитов машакской и миньярской свит и айской, инзерской и зильмердакской (бирьянская подсвита) свит соответственно. Средние точки глинистых пород бурзянской и каратауской серий также сосредоточены у указанных линий промежуточных составов (рис. 4б, г). Напротив, средние точки глинистых сланцев юрматинской серии локализованы у линии “3 гранит + 1 базальт” (рис. 4в).

Вариации отношения TiO_2/Al_2O_3 в глинистых сланцах стратотипа рифея снизу вверх по разрезу имеют следующий вид. Породы айской и саткинской свит характеризуются сопоставимыми значениями данного параметра (0.041 ± 0.008 и 0.034 ± 0.002) (рис. 5а). Породы бакальской свиты обладают статистически несколько более высокой средней величиной TiO_2/Al_2O_3 (0.041 ± 0.004), чем породы саткинского уровня, однако она сопоставима с учетом погрешностей с TiO_2/Al_2O_3 для глинистых сланцев айской свиты.

Средняя величина TiO_2/Al_2O_3 для тонкозернистых обломочных пород машакской свиты несколько выше (0.049 ± 0.014), чем ее значение в глинистых породах бакальской свиты (с ней, напомним, непосредственных взаимоотношений у машакской свиты нет). Глинистые сланцы юшинской свиты, перекрытой с угловым несогласием породами машакской свиты, характеризуются средней величиной $TiO_2/Al_2O_3 0.038$ (Гареев, 1997), что статистически не отличается от значений данного параметра в тонкозернистых обломочных породах ма-

шакского уровня. Глинистые породы среднего рифея (машакская, зигазино-комаровская и авзянская свиты) обладают сопоставимыми средними величинами TiO_2/Al_2O_3 (0.049 ± 0.014 , 0.051 ± 0.007 и 0.050 ± 0.006).

Средняя величина TiO_2/Al_2O_3 в тонкозернистых обломочных породах бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, залегающих с перерывом и угловым несогласием на породах авзянской свиты, заметно меньше (0.037 ± 0.009), хотя с учетом погрешностей представляется сопоставимой. Глинистые породы двух других подсвит зильмердакской свиты имеют несколько более высокие средние величины TiO_2/Al_2O_3 (нугушская подсвита – 0.044 ± 0.004 , бедерышинская – 0.050 ± 0.008). С ними сопоставимо и значение TiO_2/Al_2O_{3cp} для глинистых сланцев инзерского уровня (0.048 ± 0.011). Глинистые породы миньярской свиты, отделенной от инзерской свиты небольшим перерывом, обладают статистически сопоставимой с подстилающими глинистыми сланцами средней величиной TiO_2/Al_2O_3 (0.064 ± 0.022). Это же характерно и для аргиллитов укского уровня. Значение TiO_2/Al_2O_{3cp} для них равно 0.056 ± 0.003 , что статистически сопоставимо с величиной в миньярских аргиллитах.

Таким образом, преукский перерыв, как и все другие, не оказал, по всей видимости, какого-либо отчетливо выраженного влияния на состав тонкозернистых обломочных пород, определяемый индикаторным отношением TiO_2/Al_2O_3 . Свойственные глинистым породам его значения, как уже отмечалось, позволяют считать, что на всем протяжении рифея в области размыва присутствовали как кислые магматические породы, так и основные.

Несмотря на некоторое снижение средних значений Th/Sc в глинистых породах снизу вверх по разрезу бурзянской серии (айская свита – 1.23 ± 0.50 , саткинская – 0.89 ± 0.25 , бакальская – 0.81 ± 0.31), их можно рассматривать как статистически сопоставимые (см. рис. 5б). Параметр Th/Sc_{cp} для глинистых пород юшинской свиты, на которой в центральной части Башкирского мегантиклинория несогласно залегает машакская свита, составляет 0.73 ± 0.10 . Таким образом, он с учетом погрешностей принципиально не отличается от Th/Sc_{cp} для глинистых пород бакальского уровня.

Тонкозернистые обломочные породы машакской свиты обладают величиной $Th/Sc_{cp} 0.63 \pm 0.12$. Сопоставление данных для юшинской и машакской свит показывает, что предмашакский перерыв не привел к кардинальному изменению величины Th/Sc в поступающей в область седиментации тонкой алюмосиликокластике и, соответственно, состава пород на палеоводосборах. Глинистые породы юрматинской серии, несмотря на вариации свойственных им средних величин рассматриваемого индикаторного отношения, характеризуются сопоставимыми его значениями (зи-

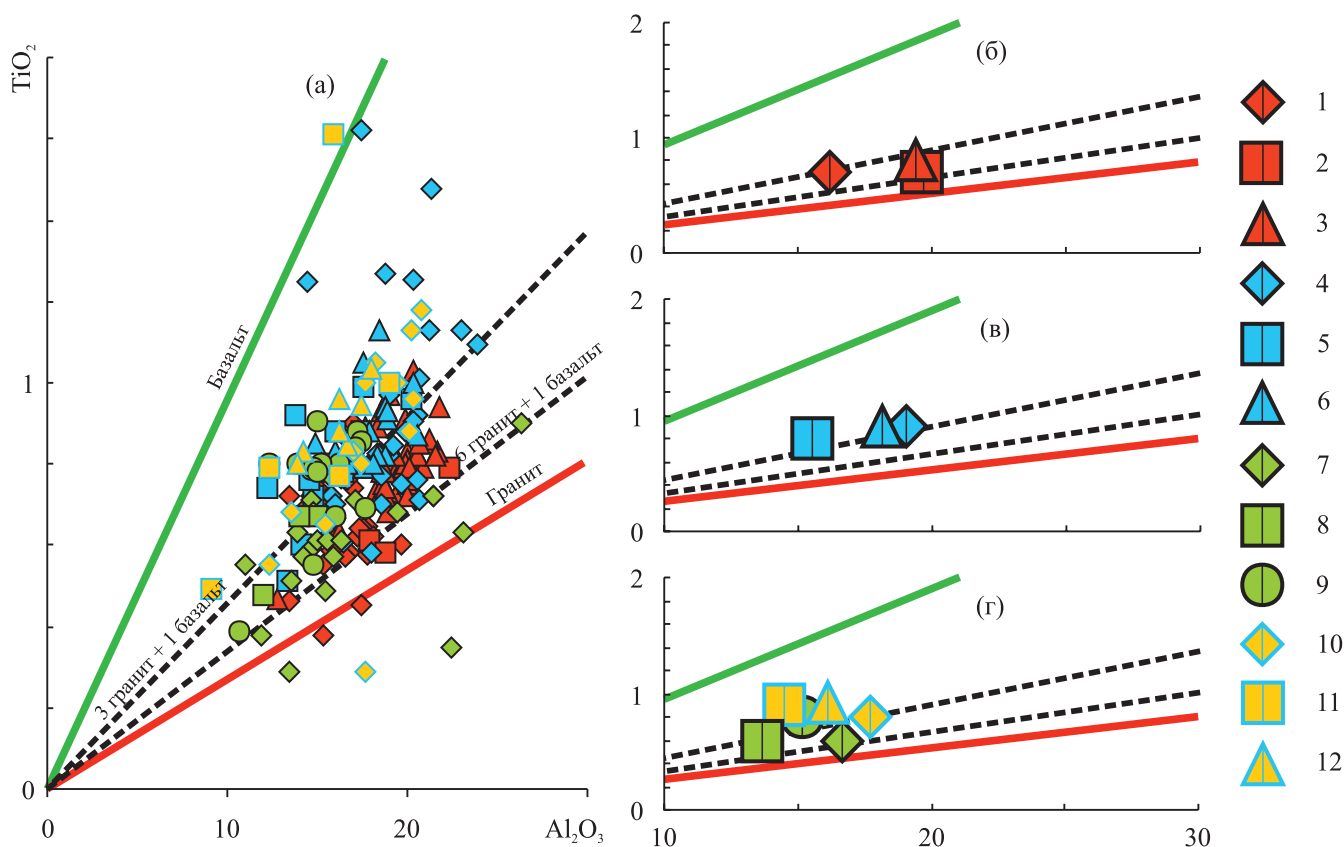


Рис. 4. Распределение индивидуальных (а) и усредненных точек состава глинистых пород различных литостратиграфических подразделений (б–г) стратотипа рифея на диаграмме Al_2O_3 – TiO_2 .

Свиты (усредненные точки): 1 – айская; 2 – саткинская; 3 – бакальская; 4 – машакская; 5 – зигазино-комаровская; 6 – авзянская; 7 – бирьянская подсвита зильмердакской свиты; 8 – нугушская подсвита той же свиты; 9 – бедерышинская подсвита той же свиты; 10 – инзерская; 11 – миньярская; 12 – укская. Остальные условные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 4. Distribution of individual (a) and averaged data points of the clay rocks of different lithostratigraphic units (b–г) of the Riphean stratotype on the Al_2O_3 – TiO_2 diagram.

Suites (averaged data points): 1 – Ai; 2 – Satka; 3 – Bakal; 4 – Mashak; 5 – Zigaza-Komarovo; 6 – Avzyan; 7 – Biryas Subformation of the Zilmerdak Formation; 8 – Nugush Subformation of the same formation; 9 – Bederysh Subformation of the same formation; 10 – Inzer; 11 – Mynyar; 12 – Uk. Other symbols – see Fig. 3.

гальгинская свита – 1.08 ± 0.59 , зигазино-комаровская – 0.71 ± 0.23 , авзянская – 0.67 ± 0.29).

Средняя величина Th/Sc для тонкозернистых обломочных пород бирьянской подсвиты (1.20 ± 0.57) зильмердакской свиты почти в 2 раза больше, чем для глинистых сланцев авзянской свиты, но с учетом большого стандартного отклонения два этих числа можно считать статистически сопоставимыми. Значения $\text{Th}/\text{Sc}_{\text{ср}}$ для глинистых сланцев остальных подсвит зильмердакской свиты (нугушская подсвита – 0.91 ± 0.21 , бедерышинская – 0.85 ± 0.11) и аргиллитов инзерской свиты (0.83 ± 0.18) с учетом погрешностей принципиально не различаются. Аргиллиты миньярской свиты, отделенной от инзерской, как считается, непро-

должительным перерывом, обладают на первый взгляд заметно большей средней величиной Th/Sc (1.26), но, принимая во внимание существенную величину стандартного отношения (0.50), можно считать, что названный перерыв, как и предмашакский, а также предзильмердакский, не привел к принципиальному изменению состава размывавшихся на палеоводосборах пород. Это же характерно и для преддукского перерыва: аргиллиты укской свиты обладают величиной $\text{Th}/\text{Sc}_{\text{ср}}$, равной 0.90 ± 0.31 , что статистически не отличается от среднего значения данного параметра, свойственного глинистым породам миньярского уровня.

Суммируя сказанное, можно сделать вывод, что на всем протяжении рифея в области размыва при-

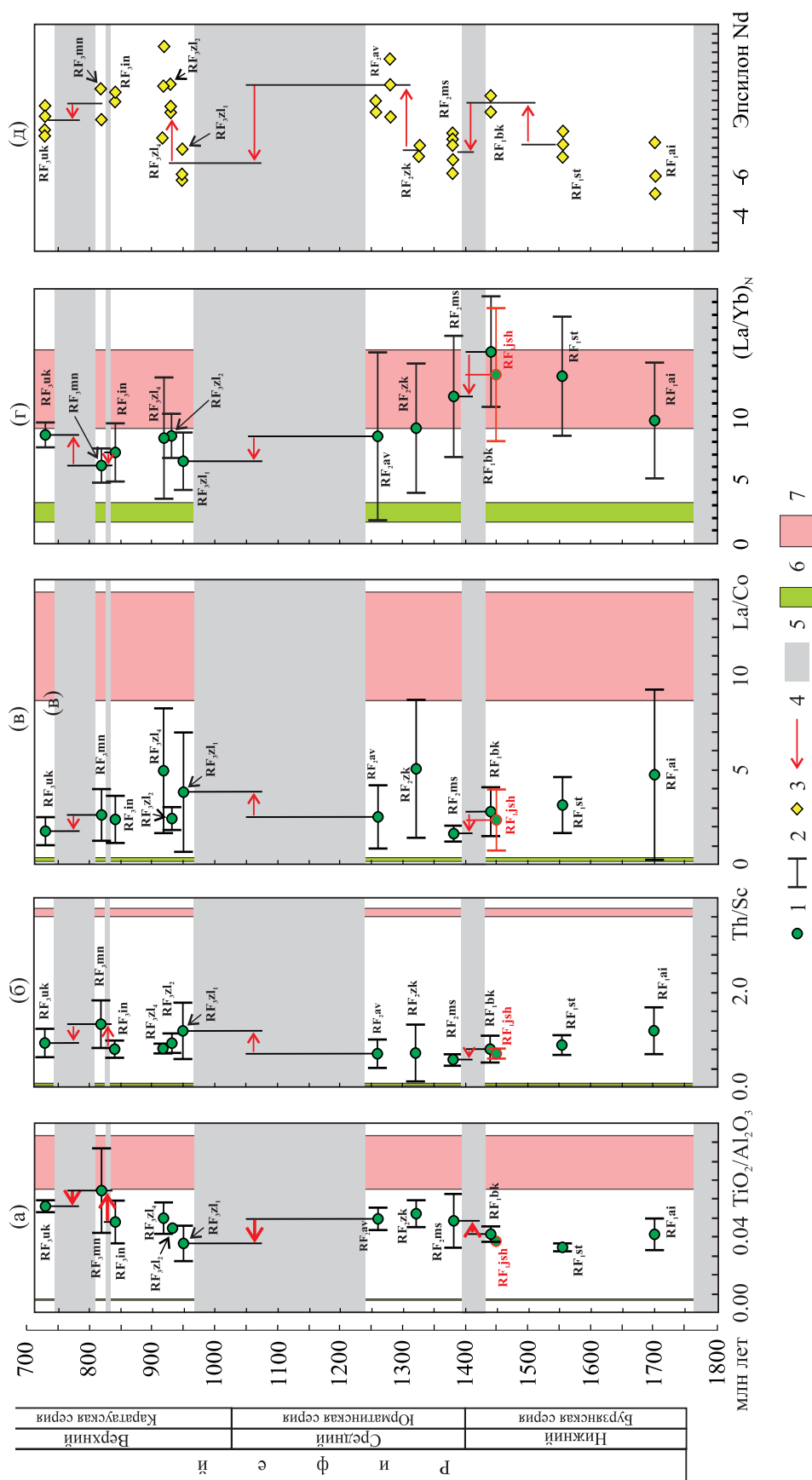


Рис. 5. Вариации усредненных для глинистых пород разных свит стратотипа рифея значений $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (а), Th/Sc (б), La/Co (в), La/Yb_N (г) и $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ (д). 1 – средние значения индикаторных отношений оксидов титана и алюминия и ряда редких и рассеянных элементов; 2 – величины стандартных отклонений ($\pm 1\sigma$); 3 – значения $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ для индивидуальных образцов; 4 – изменение рассматриваемых параметров во время перерывов различной длительности; 5 – перерывы; 6 – значения рассматриваемых параметров для базальтов архея-протерозоя; 7 – то же для гранитоидов архея-протерозоя (Condie, 1993).

Свиты, подевиты: RF_{1ai} – айская; RF_{1st} – саткинская; RF_{1jsh} – юшинская; RF_{2ms} – мажакская; RF_{2zk} – бакальская; RF_{3in} – инзерская; RF_{3mn} – миньярская; RF_{3uk} – укская; RF_{3zl1} – бирьянская; RF_{3zl2} – нугушская; RF_{3zl4} – бедершинская; RF_{3in} – инзерская; RF_{3mn} – миньярская; RF_{3uk} – укская.

Fig. 5. Variations in averaged $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (a), Th/Sc (б), La/Co (в), La/Yb_N (г), and $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ (д) values for clay rocks of different formations of the Riphean stratotype.

1 – average values of indicator ratios of titanium and aluminum oxides and a number of trace elements; 2 – standard deviations ($\pm 1\sigma$); 3 – $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values for individual samples; 4 – change of the parameters under consideration during hiatuses of various durations; 5 – hiatuses; 6 – values of the considered parameters for Archean–Proterozoic basalts; 7 – the same for Archean–Proterozoic granitoids (Condie, 1993).

Formations, subformations: RF_{1ai} – Ai; RF_{1st} – Satka; RF_{1jsh} – Bakal; RF_{2ms} – Mashak; RF_{2zk} – Zigaza-Komarovo; RF_{3in} – Avzyan; RF_{3mn} – Biryany; RF_{3zl1} – Biryany; RF_{3zl2} – Nugush; RF_{3zl4} – Bederysh; RF_{3in} – Inzer; RF_{3mn} – Mynyar; RF_{3uk} – Uk.

существовали как кислые, так и основные магматические породы, соотношение между которыми / их роль в питании бассейна (-ов) тонкой алюмосиликокластикой со временем принципиально не менялись.

Средние значения индикаторного отношения La/Co для глинистых пород бурзянской серии снизу вверх снижаются от 4.77 (айская свита) до 2.91 (бакальская свита), но с учетом значительной величины стандартного отклонения для глинистых сланцев айской свиты (4.46) можно полагать, что существенного изменения состава пород на палеоводосборах на протяжении раннего рифея не было (см. рис. 5в). Средняя величина La/Co для глинистых сланцев юшинской свиты (2.20 ± 1.61) сопоставима со значением данного параметра для глинистых пород бакальской свиты (2.91 ± 1.31).

Предмашакский перерыв не оказал заметного влияния на состав пород на палеоводосборах; среднее значение La/Co для тонкозернистых обломочных пород машакской свиты составляет 1.66 ± 0.47 , что статистически не отличается ни от значения La/Co_{cp} для глинистых пород бакальской свиты, ни от такого же параметра для глинистых сланцев юшинского уровня. Средние величины La/Co для глинистых пород трех других свит юрматинской серии статистически не отличаются от значения данного показателя для тонкозернистых обломочных пород машакской свиты.

Параметр La/Co_{cp} для тонкозернистых обломочных пород бирьянской подсвиты зильмердакской свиты примерно в 1,5 раза больше, чем для глинистых пород авзянского уровня (3.86 против 2.47), но с учетом величин стандартных отклонений (± 3.11 и ± 1.56) оба значения представляются статистически сопоставимыми. Это же можно сказать и о глинистых породах нугушской и бедершинской подсвит зильмердакской свиты, а также инзерской свиты ($La/Co_{cp} = 2.28 \pm 0.61$, 2.93 ± 1.11 и 2.31 ± 1.23 соответственно). Аргиллиты миньярской свиты, отделенной от инзерской непродолжительным перерывом, также характеризуются сопоставимой с ними величиной La/Co_{cp} (2.53 ± 1.44). Сказанное свойственно и аргиллитам укской свиты (1.84 ± 0.69), также отделенной от миньярской свиты перерывом.

Следовательно, фиксируемые в стратотипическом разрезе рифея различной длительности перерывы не оказали, по имеющимся в нашем распоряжении данным, какого-либо существенного влияния на величину индикаторного отношения La/Co в поступавшей в области осадконакопления тонкой алюмосиликокластике.

Средние значения индикаторного отношения $(La/Yb)_N$ в тонкозернистых обломочных породах айско-машакского интервала находятся в области величин, характерных для гранитоидов архея – протерозоя (см. рис. 5г). Для глинистых по-

род авзянско-укской последовательности параметры $(La/Yb)_{Ncp}$ несколько ниже, но с учетом величин стандартных отклонений значения $(La/Yb)_N$ для глинистых пород всего стратотипического разреза рифея можно считать сопоставимыми.

Ни предмашакский, ни предзильмердакский, ни предминьярский перерывы не привели к сколько-нибудь значимому изменению величин $(La/Yb)_N$ в поступавшей в области седиментации тонкой алюмосиликокластике, что может свидетельствовать о неизменности состава слагавших палеоводосборы комплексов пород на протяжении почти всего рифея.

Несколько иначе обстоит ситуация с предукским перерывом: аргиллиты миньярской свиты обладают, по нашим данным, значениями $(La/Yb)_{Ncp} = 6.05 \pm 0.94$, а аргиллиты укской свиты характеризуются величиной данного параметра 8.45 ± 0.95 . Формально указанные числа статистически различны. В то же время разброс минимального и максимального значений $(La/Yb)_N$ для глинистых пород миньярской свиты отвечает интервалу 4.56–7.57, а для аргиллитов укской свиты – 6.30–9.47. Однако и в этом случае мы имеем дело с похожим по РЗЭ-систематике материалом.

По данным, приведенным в публикации (Маслов и др., 2022), значения $\epsilon_{Nd}(t)$ в глинистых породах бурзянской серии снизу вверх по разрезу снижаются от $-5.1 \dots -7.8$ в глинистых сланцах айской свиты до $-10.3 \dots -9.4$ в породах бакальского уровня (см. рис. 4д). Начиная после непродолжительного перерыва разрез юрматинской серии тонкозернистые обломочные породы машакской свиты обладают значениями $\epsilon_{Nd}(t)$, варьирующими от -8.3 до -6.2 , т. е. предмашакский перерыв все же тем или иным образом повлиял на состав пород на палеоводосборах; на последних появились источники, в составе которых заметную роль играл ювенильный мантийный материал (Маслов и др., 2022). Для глинистых сланцев зигазино-комаровской свиты характерны величины $\epsilon_{Nd}(t)$ -7.7 и -7.1 (возможно, это также следствие изменения Sm-Nd изотопно-геохимической систематики размывавшихся на палеоводосборах в среднем рифее комплексов пород). Глинистые породы авзянской свиты имеют существенно большие значения рассматриваемого параметра – от -12.3 до -9.3 .

Накапливавшиеся после предзильмердакского перерыва тонкозернистые обломочные породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты обладают существенно иными, чем глинистые сланцы авзянского уровня, величинами $\epsilon_{Nd}(t)$ ($-7.5 \dots -5.9$). Как и в случае машакской свиты, это дает основание предполагать, что особенности Sm-Nd систематики тонкозернистых обломочных пород основания каратауской серии отражают существенное изменение состава пород питающей провинции и появление в ней источников ювенильного мантий-

ного материала. Значения данного параметра в более молодых породах сопоставимы с теми, что мы видим для глинистых сланцев авзянского уровня (нугушская подсвита зильмердакской свиты –10.9...–9.5, бедерышинская подсвита той же свиты –12.9...–8.0, инзерская свита –10.3...–9.9). Не меняются, по всей видимости, значения $\epsilon_{Nd}(t)$ принципиально и после предминьярского (–10.6...–9.0), и после преддукского (–9.9...–8.1) перерывов, хотя ранее (Маслов и др., 2022) нам представлялось, что преддукский перерыв привел к появлению на палеоводосборах некоторой доли ювенильных мантийных пород.

* * *

Считается, что в рассматриваемый нами период геологической истории, начало которого относится примерно к 2 млрд лет назад, развитие Земли уже определялось процессами глобальной тектоники (тектоники литосферных плит + тектоники мантийных плюмов) (Якубчук, 2019; Кузьмин, Ярмолюк, 2021; Кузьмин и др., 2021; и др.). Примерно 1.8 млрд лет назад образовался суперконтинент Нуна/Коламбия, а около 1.3 (1.1?) млрд лет назад сформировалась Родиния (Богданова и др., 2009; Meert, 2012; Zhang et al., 2012; и др.). Интересно, что в ряде реконструкций Нуны (см., например: Evans, Mitchell, 2011) южные и восточные окраины Сибири сопоставляются непосредственно с арктической окраиной Лаврентии и уральской окраиной Балтики. Тем самым в какой-то мере верифицируются наши представления о существовании в раннем и среднем рифее (1.75...1.0 млрд лет назад) на уральской “окраине” Балтики относительно небольших эпиконтинентальных бассейнов, сменившихся в позднем рифее бассейном, сходным с теми, что типичны для пассивных континентальных окраин (Маслов и др., 2002, 2010, 2016; см. также ссылки в этих работах). Примерно таких же взглядов на формирование осадочных последовательностей стратотипа рифея придерживается и В.Н. Пучков (2010; и др.).

Распад каждого суперконтинента был длительным, финальные стадии распада одного шли на фоне роста другого (Huang et al., 2019; и др.). С периодом существования Родинии совпадают два ярко выраженных мантийно-плюмовых события – Маккензи (1270–1250 млн лет назад) и Кивини (≈1100 млн лет назад). По мнению Т.Н. Херасковой с соавторами (2010), примерно до 750–700 млн лет назад Родиния характеризовалась асимметричным строением: восточные ее окраины преимущественно имели активный характер, западные являлись пассивными. В то же время в публикации (Ernst et al., 2016) показано, что Южная Сибирь и Лаврентия сочленялись / “были, вероятно, соседями” на протяжении почти 1200 млн лет (от ≈1900

до 720 млн лет назад), и, соответственно, представления об асимметрии Родинии требуют определенной коррекции. Начало распада Родинии, предположительно связанное с мантийным суперплюмом¹, пришлось, по разным оценкам, на период 850(830?)–700(650–550?) млн лет назад (Богданова и др., 2009; см. также ссылки в этой работе). Его результатом стало образование различных океанических бассейнов, континентов и микроконтинентов. На фоне распада Родинии планета испытывала серию субглобальных оледенений (Стерт, Марино, Гаскье).

Все сказанное в столь тезисной форме может показаться сумбурным, но хорошо иллюстрирует, на наш взгляд, простой вывод. В тектоническом отношении конец раннего докембрия и практически весь поздний докембрий отнюдь не являлись в чем-то похожими на “скупный миллиард или полтора миллиарда лет” – термин, активно используемый при анализе эволюции органического мира на Земле на протяжении значительной части протерозоя (Knoll et al., 2006; Roberts, 2013; Sawood, Hawkesworth, 2014; см. также ссылки в этой работе; Mukherjee et al., 2018). Напротив, это было время, когда, по мнению авторов монографии (Кузьмин и др., 2021; см. также ссылки в этой работе), пожалуй, впервые масштабные перемещения литосферных плит шли параллельно со спредингом и субдукцией, ярко проявилась суперконтинентальная цикличность.

Приведенные в настоящей статье данные показывают, однако, что на восточной (в современных координатах) окраине (?) Балтики на протяжении всего рифея, вне зависимости от перерывов в осадконакоплении, связанных с теми или иными перестройками в областях питания и осадконакопления, ряд литогеохимических характеристик тонкозернистых обломочных пород бурзянской, юрматинской и каратауской серий, такие как TiO_2/Al_2O_3 , Th/Sc , La/Co и в существенной степени – $(La/Yb)_N$, практически не испытывали значимых изменений.

¹ В последние годы роль плюмов в формировании крупных магматических провинций и вклад их в процессы рифтогенеза подвергаются существенной переоценке (Niu, 2021, 2022; Lustrino et al., 2022; и др.). Так, например, предполагается, что степень плавления мантии, глубины формирования расплавов и составы базальтов определяются в первую очередь мощностью литосферы. Последняя контролирует состав расплава мантии во всех тектонических обстановках. Мощность литосферы определяет также способность “мантийных плюмов” выйти на поверхность, а крупные магматические провинции указывают на существование тонкой или утонченной литосферы во время их внедрения (Niu, 2021). Но, очевидно, что это не влияет на приведенные оценки времени начала распада Родинии, хотя и они могут подвергнуться в будущем той или иной коррекции.

Это дает повод думать, что принципиальных изменений в составе комплексов пород – источников тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей рифея на протяжении более 1 млрд лет как будто бы не происходило и противоречит сценарию тектонических процессов конца раннего докембрия и всего позднего докембрия, очерченному нами предельно кратко.

В то же время данные о значениях $t_{Nd}(DM)$ и $\epsilon_{Nd}(t)$ в глинистых породах стратотипа рифея (Маслов и др., 2022), по всей видимости, отражают смену состава пород питающих провинций и так или иначе вписываются в общую канву субглобальных событий (формирование крупных магматических провинций, сборка и распад суперконтинентов, процессы рифтогенеза), т. е. не противоречат установленным традиционными геологическими методами событиям рифея в его стратотипической местности. В соответствии с ними в айское и машакское время накопление осадков шло на фоне плюмовых/рифтогенных событий, что отразилось на увеличении доли ювенильного материала, особенно в тонкозернистых породах машакской свиты. К появлению среди пород питающей провинции заметной доли основных магматических пород привел и предзильмердакский перерыв (глинистые породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты имеют более низкие величины $(La/Yb)_N$, чем свойственно глинистым сланцам авзянского уровня). Возрастание параметра $\epsilon_{Nd}(t)$ в глинистых породах бирьянской подсвиты до -5.9 по сравнению с подстилающими их отложениями ($-12.3...-9.3$) также предполагает появление на палеоводосборах продуктов ювенильной коры.

Почему эти выводы не согласуются с полученными в рамках рутинных литогеохимических исследований (анализ соотношений основных породообразующих оксидов и ряда редких и рассеянных элементов) – сказать сейчас сложно. По видимому, это задача ближайшего будущего.

Общая канва событий, на фоне которых шло формирование осадочных последовательностей стратотипа рифея, может быть представлена следующим образом. Начало рифея (≈ 1750 млн лет назад) – накопление грубообломочных преимущественно континентальных терригенных толщ и вулканитов нижней части айской свиты в обстановке рассеянного рифтогенеза (захватывавшего и территорию много западнее от современного Башкирского мегантиклинория) в условиях недостаточно мягкого климата. Основная масса кластики в это время поступала с Восточно-Европейской платформы. Со второй половины айского времени и до конца раннего рифея на территории современного Башкирского мегантиклинория существовал относительно крупный надрифтовый/интракратонный осадочный бассейн, в котором в саткинское и во второй половине бакальского времени формировались

карбонатные платформы различных размеров (саткинская платформа была крупной, позднебакальские – небольшими). Климат айско-саткинского времени не способствовал существенному преобразованию пород палеоводосборов процессами химического выветривания; климат бакальского времени был заметно более теплым. Источником кластики на всем протяжении указанного интервала времени продолжали являться восточные районы Восточно-Европейской платформы. В начале среднего рифея (≈ 1380 млн лет назад) вновь следует импульс рифтогенеза и магматизма (Машакское магматическое событие, близкое по времени проявления к событию Zig-Zag Dal – Midsommerso в северной Гренландии и ряду других), приведший к накоплению мощных толщ песчаников, конгломератов, а также кислых и основных магматических пород машакской свиты. Указанный импульс можно связать, вероятно, с процессами распада суперконтинента Коламбия/Нуна. Состав обломков конгломератов машакской свиты значительно отличается от состава обломков в конгломератах нижней части айской свиты, тем не менее это не сказывается на литогеохимических характеристиках тонкозернистых обломочных пород, залегающих ниже предмашакского перерыва и выше него. Зигальгинско-авзянский интервал среднего рифея – время формирования относительно крупного надрифтового бассейна, на заключительных этапах которого, как и в бакальское время, имело место формирование небольших карбонатных платформ. Климат зигальгинского, зигазино-комаровского и авзянского времени может быть охарактеризован как в той или иной степени похожий на аридный или нивальный. Климат машакского времени был, напротив, близким к климату конца раннего рифея, т. е. теплым. Главным источником кластики в среднем рифее продолжала оставаться, как это следует из имеющихся данных о возрасте обломочного циркона в песчаниках и Sm-Nd изотопной систематики глинистых пород, по всей видимости, Восточно-Европейская платформа. Формирование базальных толщ верхнего рифея (аллювиально-дельтовые аркозовые и сходные с ними по составу песчаники бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, $\approx ???$ млн лет назад) связано также с процессами рифтогенеза и началом формирования пассивной окраины, протягивавшейся (в современных координатах) от Южного Урала до севера Норвегии². Предверхнерифейский перерыв, длительность которого оценить в настоящее время более или менее точно не представляется возможным, также не привел к какому-либо ощутимому изменению состава пород на

² То, что это действительно могло быть так, подтверждают недавно полученные данные о возрастах обломочного циркона в песчаниках Тимана (Андреичев и др., 2014; Соболева и др., 2019; Брусницына и др., 2021; и др.).

водосборах и, соответственно, трансформации литогеохимических характеристик глинистых пород ниже и выше него. Однако Sm-Nd систематика глинистых пород авзянской свиты (последняя залегает непосредственно ниже предверхнерифейского перерыва) и тонкозернистых обломочных пород бирьянской подсвиты зильмердакской свиты (залегает выше указанного перерыва) заметно различается, что и позволяет предполагать появление в областях питания новых порций ювенильного материала. Возможно, это своеобразный отблеск гренвилльских событий. Накопление осадочных последовательностей верхней части зильмердакской, катавской, инзерской, миньярской и укской свит шло преимущественно в мелководно-морских обстановках в условиях относительно слабо выраженных процессов химического выветривания на палеоводосборах. Источниками основного объема кластики для них продолжала выступать Восточно-Европейская платформа, хотя в ряде случаев прослой терригенных пород устанавливаются и в карбонатных толщах восточных районов Башкирского мегантиклинория. Несколько фиксируемых в верхнерифейской осадочной последовательности Южного Урала перерывов разной длительности (за исключением преддукского), которые, по-видимому, можно так или иначе рассматривать как отражение процессов распада Родинии, также принципиальным образом не влияли на состав поступающей в область седиментации тонкой алюмосиликокластики.

Благодарности

Автор признателен анонимным рецензентам и редактору раздела за полезное обсуждение поднятых в статье вопросов, замечания и рекомендации, большинство из которых было так или иначе учтено. Иллюстрации к работе выполнены Н.С. Глушковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж. (2014) U-Pb возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **22**, 32-45.
- Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Наука, 288 с.
- Богданова С.В., Писаревский С.А., Ли Ч.Х. (2009) Образование и распад Родинии (по результатам МПГК 440). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **17**(3), 29-45.
- Брусницына Е.А., Ершова В.Б., Худолей А.К., Андерсон Т., Маслов А.В. (2021) Возраст и источники сноса пород четлаской серии (рифей) Среднего Тимана по результатам U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **29**(2), 3-23.
- Гареев Э.З. (1997) Петрохимические и геохимические особенности и эволюция состава осадочных пород стратотипического разреза рифея на Южном Урале. *Рифей Северной Евразии. Геология. Общие проблемы стратиграфии*. (Под ред. В.А. Коротеева). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 171-182.
- Горохов И.М., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Аракелянц М.М., Ковач В.П., Константинова Г.В., Турченко Т.Л., Васильева И.М. (2019) Изотопная систематика и возраст аутигенных минералов в аргиллитах инзерской свиты Южного Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **27**(2), 3-30.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Мельников Н.Н., Аракелянц М.М., Яковлева О.В. (2008) Мессбауэровские характеристики, минералогия и изотопный возраст (Rb-Sr, K-Ar) верхнерифейских глауконитов укской свиты Южного Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **16**(3), 3-25.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Константинова Г.В. (2019) Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **27**(5), 82-96.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Сергеева Н.Д., Адамская Е.В., Плоткина Ю.В. (2022) U-Th-Pb возраст детритового циркона из оолитовых известняков укской свиты: следы гренвилльских источников сноса в позднем рифее Южного Урала. *Докл. РАН. Науки о Земле*, **503**(2), 90-96.
- Ковалев С.Г., Маслов А.В., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. (2019) Sm-Nd возраст пикритов Лысогорского комплекса (Южный Урал): свидетельства инициального среднерифейского магматизма. *Докл. АН*, **488**(1), 595-598. <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488158-61>
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. (2013б) Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний-средний рифей (Южный Урал). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **21**(5), 3-20. <https://doi.org/10.7868/S0869592X13050050>
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н. (2013а) Цирконология навыхских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале. *Докл. АН*, **448**(4), 437-442. <https://doi.org/10.7868/S086956521304021X>
- Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Маслов А.В. (2003) Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст известняков бакальской свиты (типовой разрез нижнего рифея, Южный Урал). *Докл. АН*, **391**(6), 794-798.
- Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Васильева И.М., Гороховский Б.М., Маслов А.В. (2008) Sr изотопная характеристика и Pb-Pb возраст карбонатных пород саткинской свиты, нижнерифейская бурзянская серия Южного Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **16**(2), 16-34.
- Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. (2021) Геологическая история Земли – от зарождения до наших дней. *Науки о Земле и недропользование*, **44**(4), 496-503.
- Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Гладкочуб Д.П., Горячев Н.А., Деревянко А.П., Диденко А.Н., Донская Т.В., Кравчинский В.А., Оганов А.Р., Писаревский С.А. (2021) Геологическая эволюция Земли: от космической пыли до обители человечества. Новосибирск: ГЕО, 325 с.
- Маслов А.В. (1988) Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 133 с.

- Маслов А.В. (2020а) Башкирский мегантиклинорий: позднерифейско-вендские перерывы и возможные трансформации систем питания бассейна. *Литосфера*, **20**(4), 455-470. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-4-455-470>
- Маслов А.В. (2020б) Разрез верхнего докембрия Южного Урала и перерывы в нем. *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 167, 38-42.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Демчук И.Г. (1999) Тонкая алюмосиликокластика в верхнедокембрийском разрезе Башкирского мегантиклинория (к реконструкции условий формирования). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 324 с.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н. (2010) Песчаники верхнего рифея и венда Башкирского мегантиклинория. *Литология и полез. ископаемые*, (3), 320-338.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Дуб С.А., Мельник Д.С., Парфенова Т.М., Колесников А.В., Чередниченко Н.В., Киселева Д.В. (2019) Укская свита верхнего рифея Южного Урала: седиментология и геохимия (первые результаты исследований). *Литосфера*, **19**(5), 659-686. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-5-659-686>
- Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. (2018) Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал). *Докл. АН*, **482**(5), 558-561.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т. (1991) Разрезы рифея Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала). Свердловск: УрО АН СССР, 172 с.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов 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.; Т. II, 134 с.; Т. III, 130 с.; Т. IV, 103 с.
- Маслов А.В., Кузнецов А.Б., Крамчанинов А.Ю., Шпакович Л.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н., Ковалев С.Г. (2022) Источники сноса верхнедокембрийских глинистых пород Южного Урала: результаты геохимических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **30**(1), 33-54.
- Маслов А.В., Мельничук О.Ю., Мизенс Г.А., Титов Ю.В., Червяковская М.В. (2020) Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 2. Лито- и изотопно-геохимические подходы и методы. *Литосфера*, **20**(1), 40-62. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62>
- Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2008) Тонкозернистые алюмосиликокластические породы рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики. *Геохимия*, (11), 1187-1215.
- Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В. (2002) Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей. *Литосфера*, (2), 54-95.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Котова Л.Н. (2016) Валовый химический состав песчаников и палеогеодинамические реконструкции. *Литосфера*, (6), 33-55.
- Нижний рифей Южного Урала. (1989) (Отв. ред. М.А. Семихатов). М.: Наука, 208 с.
- Овчинникова Г.В., Васильева Г.В., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Гороховский Б.М., Левский Л.К. (1998) U-Pb систематика протерозойских карбонатных пород: инзерская свита уральского стратотипа рифея (Южный Урал). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **6**(4), 20-31.
- Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А. (2000) Возможности Pb-Pb датирования карбонатных пород с открытыми U-Pb системами: миньярская свита стратотипа верхнего рифея, Южный Урал. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **8**(6), 3-19.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Крупенин М.Т., Гороховский Б.М., Маслов А.В. (2013) Pb-Pb возраст и Sr-изотопная характеристика среднерифейских фосфоритовых конкреций: зигазино-комаровская свита Южного Урала. *Докл. АН*, **451**(4), 430-434.
- Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Виноградов Д.П., Козлов В.И., Кислова И.В. (1998) Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **6**(4), 3-19.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Раабен М.Е. (1975) Верхний рифей как единица общей стратиграфической шкалы. М.: Наука, 247 с.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Маслов А.В., Горохов И.М., Овчинникова Г.В. (2009) Стратотип нижнего рифея – бурзянская серия Южного Урала: литостратиграфия, палеонтология, геохронология, Sr- и S-изотопные характеристики карбонатных пород. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **17**(6), 17-45.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. (2015) Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **23**(6), 16-27.
- Соболева А.А., Андрейчев В.Л., Бурцев И.Н., Никулова Н.Ю., Хубанов В.Б., Соболев И.Д. (2019) Детритовые цирконы из верхнедокембрийских пород вымской серии Среднего Тимана: U-Pb возраст и источники сноса. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, **94**(1), 3-16.
- Соловов А.П., Матвеев А.А. (1985) Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: МГУ, 232 с.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
- Хераскова Т.Н., Буш В.А., Диденко А.Н., Самыгин С.Г. (2010) Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана. *Геотектоника*, (1), 5-28.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
- Якубчук А.С. (2019) От Кенорлэнда до современных континентов: тектоника и металлогения. *Геотектоника*, (2), 3-32.

- Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. (2007) Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt. *Chem. Geol.*, **237**, 211-232.
- Cawood P.A., Hawkesworth C.J. (2014) Earth's middle age. *Geology*, **42**(6), 503-506.
- 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.
- Cullers R.L. (1995) The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. *Chem. Geol.*, **123**, 107-131.
- 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.
- Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Hanes J.A., Gladkochub D.P., Okrugin A.V., Kolotilina T., Mekhonoshin A.S., Bleeker W., LeCheminant A.N., Buchan K.L., Chamberlain K.R., Didenko A.N. (2016) Long-lived connection between southern Siberia and northern Laurentia in the Proterozoic. *Nature Geosci.*, **9**, 464-469.
- Evans D.A.D., Mitchell R.N. (2011) Assembly and breakup of the core of Paleoproterozoic–Mesoproterozoic supercontinent Nuna. *Geology*, **39**(5), 443-446.
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. (2003) (Ed. by D.R. Lentz). Ottawa, Geological Association of Canada, GeoText, **4**, 184 p.
- Huang Z., Yuan C., Long X., Zhang Y., Du L. (2019) From breakup of Nuna to assembly of Rodinia: A link between the Chinese Central Tianshan Block and Fennoscandia. *Tectonics*, **38**, 4378-4398. <https://doi.org/10.1029/2018TC005471>
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. (1984) Sm-Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **67**, 137-150.
- Knoll A.H., Javaux E.J., Hewitt D., Cohen P. (2006) Eukaryotic organisms in Proterozoic oceans. *Phil. Trans. Royal Soc.*, **361**, 1023-1038.
- Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Vasilyeva I.M. (2017) Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion. *Precamb. Res.*, **298**, 157-173.
- Lustrino M., Foulger G.R., Hole M., Natland J.H. (2022) Constraints on the formation of basaltic magmas. Comment on “Lithosphere thickness controls the extent of mantle melting, depth of melt extraction and basalt compositions in all tectonic settings on Earth – a review and new perspectives” by Niu Y. (2021). *Earth Sci. Rev.*, **226**, 103942.
- McCulloch M.T., Wasserburg G.J. (1978) Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation. *Science*, **200**, 1003-1011.
- McLennan S.M. (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. (Eds B.R. Lipin, G.A. McKay). *Rev. Mineral.*, **21**, 169-200.
- McLennan S.M., Fryer B.J., Young G.M. (1979) The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements. *Can. J. Earth Sci.*, **16**, 230-239.
- Meert J.G. (2012) What's in a name? The Columbia (Paleopangaea/Nuna) supercontinent. *Gondwana Res.*, **21**, 987-993.
- Michard A., Gurriet P., Soudant M., Albarede F. (1985) Nd isotopes in French Phanerozoic shales: external vs. internal aspects of crust evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, 601-610.
- Mukherjee I., Large R.R., Corkrey R., Danyushevsky L.V. (2018) The Boring Billion, a slingshot for Complex Life on Earth. *Sci. Reports*, **8**, 4432. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22695-x>
- Niu Y. (2021) Lithosphere thickness controls the extent of mantle melting, depth of melt extraction and basalt compositions in all tectonic settings on Earth – A review and new perspectives. *Earth Sci. Rev.*, **217**, 103614.
- Niu Y. (2022) Paradigm shift for controls on basalt magmatism: Discussion with Lustrino et al. on the paper I recently published in Earth Science Reviews. *Earth Sci. Rev.*, **226**, 103943.
- Ray E., Paul D. (2021) Major and Trace Element Characteristics of the Average Indian Post-Archean Shale: Implications for Provenance, Weathering, and Depositional Environment. *ACS Earth Space Chem.*, **5**, 1114-1129.
- Roberts N.M.W. (2013) The boring billion? – Lid tectonics, continental growth and environmental change associated with the Columbia supercontinent. *Geosci. Frontiers*, **4**, 681-691.
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The Continental Crust: Its Composition and Evolution: An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Oxford: Blackwell, 312 p.
- Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy. *Chem. Geol.*, **234**, 321-339.
- Zhang S., Li Z.-X., Evans D.A.D., Wu H., Li H., Dong J. (2012) Pre-Rodinia supercontinent Nuna shaping up: A global synthesis with new paleomagnetic results from North China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **353-354**, 145-155.

REFERENCES

- Andreichev V.L., Soboleva A.A., Gehrels G. (2014) U-Pb dating and provenance of detrital zircons from the Upper Precambrian deposits of North Timan. *Stratigrafiya. Geol. Korrel.*, **22**, 147-159. (In Russ.)
- Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. (2007) Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt. *Chem. Geol.*, **237**, 211-232.
- Becker Yu.R. (1988) Precambrian molasses. Leningrad, Nauka Publ., 288 p. (In Russ.)
- Bogdanova S.V., Pisarevsky S.A., Li Z.X. (2009) Assembly and breakup of Rodinia (some results of IGCP Project 440). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(3), 259-274 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(3), 29-45).
- Brunitsyna E.A., Ershova V.B., Khudoley A.K., Andersen T., Maslov A.V. (2021) Age and provenance of

- the Riphean rocks of the Chetlas group of the Middle Timan: U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons. *Stratigr. Geol. Correl.*, **29**, 607-626 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **29**(2), 3-23).
- Cawood P.A., Hawkesworth C.J. (2014) Earth's middle age. *Geology*, **42**(6), 503-506.
- 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.
- Cullers R.L. (1995) The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. *Chem. Geol.*, **123**, 107-131.
- 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.
- Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Hanes J.A., Gladkochub D.P., Okrugin A.V., Kolotilina T., Mekhonoshin A.S., Bleeker W., LeCheminant A.N., Buchan K.L., Chamberlain K.R., Didenko A.N. (2016) Long-lived connection between southern Siberia and northern Laurentia in the Proterozoic. *Nature Geosci.*, **9**, 464-469.
- Evans D.A.D., Mitchell R.N. (2011) Assembly and breakup of the core of Paleoproterozoic–Mesoproterozoic supercontinent Nuna. *Geology*, **39**(5), 443-446.
- Gareev E.Z. (1997) Petrochemical and geochemical features and compositional evolution of sedimentary rocks of the Riphean stratotype section in the Southern Urals. *Riphean of Northern Eurasia. Geology. General problems of stratigraphy*. (Ed. by V.A. Koroteev). Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 171-182. (In Russ.)
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. (2003) (Ed. by D.R. Lentz). Ottawa, Geological Association of Canada, GeoText, **4**, 184 p.
- Gorokhov I.M., Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Arakelyants M.M., Kovach V.P., Konstantinova G.V., Turchenko T.L., Vasil'eva I.M. (2019) Isotope systematics and age of authigenic minerals in shales of the Upper Riphean Inzer Formation, South Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **27**(2), 133-158 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **27**(2), 3-30).
- Huang Z., Yuan C., Long X., Zhang Y., Du L. (2019) From breakup of Nuna to assembly of Rodinia: A link between the Chinese Central Tianshan Block and Fennoscandia. *Tectonics*, **38**, 4378-4398. <https://doi.org/10.1029/2018TC005471>
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. (1984) Sm-Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **67**, 137-150.
- Kheraskova T.N., Bush V.A., Didenko A.N., Samygin S.G. (2010) Breakup of Rodinia and early stages of evolution of the Paleoasian ocean. *Geotectonics*, **44**(1), 3-24. <https://doi.org/10.1134/S0016852110010024>
- Knoll A.H., Javaux E.J., Hewitt D., Cohen P. (2006) Eukaryotic organisms in Proterozoic oceans. *Phil. Trans. Royal Soc.*, **361**, 1023-1038.
- Kovalev S.G., Maslov A.V., Kovalev S.S., Vysotsky S.I. (2019) Sm-Nd age of picrites of the Lysogorsk complex (Southern Urals): Evidence of initial Middle Riphean magmatism. *Dokl. Earth Sci.*, **488**(1), 1018-1021 (translated from *Dokl. AN*, **41**(2), 143-153). <https://doi.org/10.1134/S1028334X19090034>
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Paderin I.P. (2013b) Zircon geochronology of the Mashak volcanic rocks and the problem of the age of the lower-middle Riphean boundary (Southern Urals). *Stratigr. Geol. Correl.*, **21**(5), 465-481 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **21**(5), 3-20). <https://doi.org/10.1134/S0869593813050055>
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Lepekhina E.N. (2013a) Zirconology of Navysh volcanic rocks of the Ai Suite and the problem of the age of the Lower Riphean boundary in the Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **448**(2), 185-190 (translated from *Dokl. AN*, **448**(4), 437-442). <https://doi.org/10.1134/S1028334X13020050>
- Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V. (2021) Geological history of the Earth – from its origin to the present day. *Nauki o Zemle i Nedropol'zovanie*, **44**(4), 496-503. (In Russ.)
- Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Gladkochub D.P., Goryachev N.A., Derevyanko A.P., Didenko A.N., Donskaya T.V., Kravchinsky V.A., Oganov A.R., Pisarevsky S.A. (2021) Geological evolution of the Earth: From cosmic dust to the abode of mankind. Novosibirsk, GEO Publ., 325 p. (In Russ.)
- Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Vasilyeva I.M. (2017) Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion. *Precamb. Res.*, **298**, 157-173.
- Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Kaurova O.K., Krupenin M.T., Maslov A.V. (2003) Sr isotope signature and Pb–Pb age of the Bakal Limestone (Lower Riphean stratotype, Southern Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **391**(6), 819-822 (translated from *Dokl. AN*, **391**(6), 794-798).
- Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Semikhatov M.A., Gorokhov I.M., Kaurova O.K., Krupenin M.T., Vasil'eva I.M., Gorokhovskii B.M., Maslov A.V. (2008) The Sr isotopic characterization and Pb–Pb age of carbonate rocks from the Satka formation, the Lower Riphean Burzyan Group of the Southern Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **16**(2), 120-137 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **16**(2), 16-34).
- Lower Riphean in the Southern Urals. (1989) (Ed. by M.A. Semikhatov). Moscow, Nauka Publ., 208 p. (In Russ.)
- Lustrino M., Foulger G.R., Hole M., Natland J.H. (2022) Constraints on the formation of basaltic magmas. Comment on “Lithosphere thickness controls the extent of mantle melting, depth of melt extraction and basalt compositions in all tectonic settings on Earth – a review and new perspectives” by Niu Y. (2021). *Earth Sci. Rev.*, **226**, 103942.
- Maslov A.V. (1988) Lithology of the Upper Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium. Moscow, Nauka Publ., 133 p. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2020a) Bashkir meganticlinorium: Late Riphean–Vendian hiatuses and possible transformations of the basin provenance systems. *Lithosphere (Russia)*, **20**(4), 455-470. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-4-455-470>
- Maslov A.V. (2020b) Upper Precambrian Section of the Southern Urals and hiatuses in it. *Tr. IGG UrO RAN*,

- вып. 167, 38-42. (In Russ.)
- Maslov A.V., Erokhin Yu.V., Gerdes A., Ronkin Yu.L., Ivanov K.S. (2018) First results of U-Pb LA-ICP-MS isotope Dating of detrital zircons from arkose sandstone of the Biryán Subformation of Zilmerdak Formation (Upper Riphean, South Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **482**(2), 1275-1277 (translated from *Dokl. AN*, **482**(5), 558-561).
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Demchuk I.G. (1999) Fine aluminosiliciclastics in the Upper Precambrian section of the Bashkirian meganticlinorium (on the reconstruction of formation conditions). Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 324 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Podkovyrov V.N. (2010) Upper Riphean and Vendian sandstones of the Bashkirian anticlinorium. *Lithol. Miner. Res.*, **45**(3), 285-301 (translated from *Litol. i Polez. Iskop.*, (3), 320-338).
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Dub S.A., Mel'nik D.S., Parfenova T.M., Kolesnikov A.V., Cherednichenko N.V., Kiseleva D.V. (2019) Sedimentology and geochemistry of the Uk Formation, Upper Riphean, the Southern Urals. *Lithosphere (Russia)*, **19**(5), 659-686. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-5-659-686>
- Maslov A.V., Krupenin M.T. (1991) Riphean Sections of the Bashkirian Meganticlinorium on the Western Slope of the Southern Urals. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 172 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) The Riphean on the Western Slope of the Southern Urals: Classic Sections, Sedimentogenesis, Lithogenesis, Mineralogy, and Geological Monuments of Nature. Ekaterinburg, IGG UrO RAN. V. I, 351 p.; V. II, 134 p.; V. III, 130 p.; V. IV, 103 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Kuznetsov A.B., Kramchaninov A.Yu., Shpakovich L.V., Gareev E.Z., Podkovyrov V.N., Kovalev S.G. (2022) Provenances of the Upper Precambrian Clay Rocks in the Southern Urals: Results of Geochemical and Sm-Nd Isotope Geochemical Investigations. *Stratigr. Geol. Correl.*, **30**(1), 30-51 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **30**(1), 33-54).
- Maslov A.V., Mel'nichuk O.Yu., Mizens G.A., Titov Yu.V., Chervyakovskaya M.V. (2020) Provenance reconstructions. Article 2. Litho- and isotope-geochemical approaches and methods, *Lithosphere (Russia)*, **20**(1), 40-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62>
- Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikova E.F., Turkina O.M., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Dmitrieva N.V., Gareev E.Z., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2008) Riphean fine-grained aluminosilicate clastic rocks in the Southern Urals, Uchur-Maya area, and the Yenisei Kryazh: Principal litho-geochemical characteristics. *Geochem. Int.*, **46**(11), 1117-1144 (translated from *Geokhimiya*, (11), 1187-1215).
- Maslov A.V., Olovyanishnikov V.G., Isherskaya M.V. (2002) Riphean deposits of eastern, north-eastern and northern periphery of the Russian Platform and western megazone of the Urals: Lithostratigraphy, formation conditions and types of sedimentary sequences. *Lithosphere (Russia)*, (2), 54-95. (In Russ.)
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Kotova L.N. (2016) Bulk chemical composition of sandstones and paleogeodynamic reconstructions. *Lithosphere (Russia)*, (6), 33-55. (In Russ.)
- McCulloch M.T., Wasserburg G.J. (1978) Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation. *Science*, **200**, 1003-1011.
- McLennan S.M. (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. (Eds B.R. Lipin, G.A. McKay). *Rev. Mineral.*, **21**, 169-200.
- McLennan S.M., Fryer B.J., Young G.M. (1979) The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements. *Can. J. Earth Sci.*, **16**, 230-239.
- Meert J.G. (2012) What's in a name? The Columbia (Paleopangaea/Nuna) supercontinent. *Gondw. Res.*, **21**, 987-993.
- Michard A., Gurriet P., Soudant M., Albarede F. (1985) Nd isotopes in French Phanerozoic shales: External vs. internal aspects of crust evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, 601-610.
- Mukherjee I., Large R.R., Corkrey R., Danyushevsky L.V. (2018) The Boring Billion, a slingshot for Complex Life on Earth. *Sci. Reports*, **8**, 4432. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22695-x>
- Niu Y. (2021) Lithosphere thickness controls the extent of mantle melting, depth of melt extraction and basalt compositions in all tectonic settings on Earth – A review and new perspectives. *Earth Sci. Rev.*, **217**, 103614.
- Niu Y. (2022) Paradigm shift for controls on basalt magmatism: Discussion with Lustrino et al. on the paper I recently published in Earth Science Reviews. *Earth Sci. Rev.*, **226**, 103943.
- Ovchinnikova G.V., Kuznetsov A.B., Vasil'eva I.M., Gorokhov I.M., Krupenin M.T., Gorokhovskii B.M., Maslov A.V. (2013) Pb-Pb age and Sr isotopic characteristic of the Middle Riphean phosphorite concretions: The Zigaza-Komarovo Formation of the South Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **451**(2), 798-802 (translated from *Dokl. AN*, **451**(4), 430-434).
- Ovchinnikova G.V., Vasil'eva G.V., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Gorokhovskii B.M., Levskii L.K. (1998) U-Pb systematics on Proterozoic carbonate rocks: The Inzer Formation of the Upper Riphean stratotype (Southern Urals). *Stratigr. Geol. Correl.*, **6**(4), 336-347 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **6**(4), 20-31).
- Ovchinnikova G.V., Vasil'eva I.M., Semikhatov M.A. (2000) The Pb-Pb trail dating of carbonates with open U-Pb systems: The Min'yar Formation of the Upper Riphean Stratotype, Southern Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **8**(6), 529-543 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **8**(6), 3-19).
- Podkovyrov V.N., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Vinogradov D.P., Kozlov V.I., Kislova I.V. (1998) Carbonate carbon isotopic composition in the Upper Riphean stratotype, the Karatau Group, Southern Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **6**(4), 319-335 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **6**(4), 3-19).
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, DisainPolygrafServis Publ., 280 p. (In Russ.)
- Raaben M.E. (1975) The Upper Riphean as a Unit of the International Stratigraphic Chart. Moscow, Nauka Publ., 247 p. (In Russ.)
- Ray E., Paul D. (2021) Major and Trace Element Characteristics of the Average Indian Post-Archean Shale: Im-

- plications for Provenance, Weathering, and Depositional Environment. *ACS Earth Space Chem.*, **5**, 1114-1129.
- Roberts N.M.W. (2013) The boring billion? – Lid tectonics, continental growth and environmental change associated with the Columbia supercontinent. *Geosci. Frontiers*, **4**, 681-691.
- Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Chumakov N.M. (2015) Isotope age of boundaries between the general stratigraphic subdivisions of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) in Russia: The evolution of opinions and the current estimate. *Stratigr. Geol. Correl.*, **23**(6), 568-579 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **23**(6), 16-27).
- Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Maslov A.V., Gorokhov I.M., Ovchinnikova G.V. (2009) Stratotype of the Lower Riphean, the Burzyan Group of the Southern Urals: Lithostratigraphy, paleontology, geochronology, Sr and C-isotopic characteristics of its carbonate rocks. *Stratigr. Geol. Correl.*, **17**(6), 574-601 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(6), 17-45).
- Soboleva A.A., Andreichev V.L., Burtsev I.N., Nikulova N. Yu., Khubanov V.B., Sobolev I.D. (2019) Detrital zircons from Upper Precambrian rocks of the Vym Group in the Middle Timan: U-Pb age and provenance. *Bull. MOIP. Otd. geol.*, **94**(1), 3-16. (In Russ.)
- Solovov A.P., Matveev A.A. (1985) Geochemical methods of prospecting for ore deposits. Moscow, MGU, 232 p. (In Russ.)
- Stratotype of the Riphean. Stratigraphy. Geochronology. (1983) (Ed. by B.M. Keller, N.M. Chumakov). Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russ.)
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The Continental Crust: Its Composition and Evolution: An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Oxford, Blackwell, 312 p.
- Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy. *Chem. Geol.*, **234**, 321-339.
- Yakubchuk A.S. (2019) From Kenorland to modern continents: Tectonics and metallogeny. *Geotectonics*, **53**(2), 169-192 (translated from *Geotektonika*, (2), 3-32).
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) Fundamentals of lithochemistry. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russ.)
- Zaitseva T.S., Gorokhov I.M., Ivanovskaya T.A., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Mel'nikov N.N., Arakelyants M.M., Yakovleva O.V. (2008), Mossbauer characteristics, mineralogy and isotopic age (Rb-Sr, K-Ar) of Upper Riphean glauconites from the Uk Formation, the Southern Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **16**(3), 227-247 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **16**(3), 3-25).
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Gorozhanin V.M., Gorokhov I.M., Ivanovskaya T.A., Konstantinova G.V. (2019) The lower boundary of the Vendian in the Southern Urals as evidenced by the Rb-Sr age of glauconites of the Bakeevo Formation. *Stratigr. Geol. Correl.*, **27**(5), 573-587 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **16**(3), 82-96).
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Sergeeva N.D., Adamskaya E.V., Plotkina Y.V. (2022) The U-Th-Pb age of detrital zircons from oolitic limestones of the UK Formation: Traces of the grenville provenance areas in the Late Riphean of the Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **503**(2), 143-149 (translated from *Dokl. RAN. Nauki o Zemle*, **503**(2), 90-96).
- Zhang S., Li Z.-X., Evans D.A.D., Wu H., Li H., Dong J. (2012) Pre-Rodinia supercontinent Nuna shaping up: A global synthesis with new paleomagnetic results from North China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **353-354**, 145-155.