

$\alpha^{Al}E$ индексы глинистых пород рифея Южного Урала и особенности выветривания (первая попытка анализа)

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 30.01.2024 г., принята к печати 21.03.2024 г.

Объект исследований – глинистые породы (глинистые алевролиты, глинистые сланцы и аргиллиты) нижнего, среднего и верхнего рифея Башкирского мегаантиклинория Южного Урала (стратотип рифея). *Метод исследований*. По валовому химическому составу (основные породообразующие оксиды и некоторые редкие и рассеянные элементы) для глинистых пород рассчитаны величины $\alpha^{Al}E$, позволяющие судить об интенсивности выветривания материнских пород на водосборах. Выполнено сопоставление значений $\alpha^{Al}E$, характерных для илов и взвеси современных рек Южной Африки, Северной Евразии и Северной Америки, а также глинистых пород ряда свит рифея Южного Урала. *Результаты*. Установлено, что кривые $\alpha^{Al}E$ для глинистых пород различных свит рифея Южного Урала в существенной степени похожи друг на друга. Для них характерны умеренные величины $\alpha^{Al}Na$, достаточно высокие $\alpha^{Al}Ca$ и $\alpha^{Al}Sr$ и преимущественно низкие значения ряда других $\alpha^{Al}E$. Для глинистых пород большинства стратиграфических уровней стратотипа рифея $\alpha^{Al}Na_{cp}$ близки или сопоставимы с теми, что свойственны взвеси рек умеренного климата. Средние величины $\alpha^{Al}K$ в глинистых сланцах также сопоставимы с величинами данного параметра, рассчитанными нами для взвеси рек умеренного климата, например Лены или Гудзона. Илы рек Южной Африки обладают, напротив, несколько более высокими $\alpha^{Al}K$. В то же время глинистые сланцы стратотипа рифея обладают несколько более высокими $\alpha^{Al}Ba_{cp}$, нежели илы рек Южной Африки или взвесь рек умеренного климатического пояса Северной Евразии или Северной Америки. *Выводы*. “Прямое” сопоставление рядов подвижности $\alpha^{Al}E$ для глинистых пород стратотипа рифея и таковых для илов и взвеси ряда рек Южной Африки, Северной Евразии и Северной Америки позволяет высказать предположение, что для эпох накопления терригенных отложений рифея Южного Урала был характерен климат, напоминавший современный умеренный климат северного полушария.

Ключевые слова: рифей, Южный Урал, глинистые породы, $\alpha^{Al}E$ индексы выветривания

Источник финансирования

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

$\alpha^{Al}E$ indices of Riphean clay rocks of the Southern Urals and weathering features (first attempt at analysis)

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 30.01.2024, accepted 21.03.2024

Research subject. The clay rocks (fine-grained clayey siltstones, shales and mudstones) of the Lower, Middle and Upper Riphean of the Bashkir megaanticlinorium of the Southern Urals (Riphean stratotype). *Materials and Methods*. The $\alpha^{Al}E$ values are calculated for clay rocks based on the bulk chemical composition (major rock-forming oxides and some trace elements), which makes it possible to judge the intensity of weathering of source rocks in catchments. A comparison was made of the $\alpha^{Al}E$ values characteristic of silts and particulate suspended matter of a number of modern rivers in South Africa, Northern Eurasia and North America, as well as clay rocks of a number of the Riphean formations of the Southern Urals. *Results*. The $\alpha^{Al}E$ curves for clay rocks of the various Riphean formations of the Southern Urals are significantly similar to each other. They are characterized by moderate values of $\alpha^{Al}Na$, fairly high values of $\alpha^{Al}Ca$ and $\alpha^{Al}Sr$, and predominantly low values of a number of other $\alpha^{Al}Es$. For clay rocks of most stratigraphic levels of the Riphean stratotype, $\alpha^{Al}Na_{average}$ are close or comparable to those characteristic of suspensions in the rivers of temperate climate.

Для цитирования: Маслов А.В. (2025) $\alpha^{Al}E$ индексы глинистых пород рифея Южного Урала и особенности выветривания (первая попытка анализа). *Литосфера*, **25**(1), 96–113. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-1-96-113>. EDN: BTEY TJ

For citation: Maslov A.V. (2025) $\alpha^{Al}E$ indices of Riphean clay rocks of the Southern Urals and weathering features (first attempt at analysis). *Lithosphere (Russia)*, **25**(1), 96–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-1-96-113>. EDN: BTEY TJ

The average $\alpha^{Al}K$ values in shales are also comparable to those calculated for particulate suspended matter in the rivers of temperate climate, for example, the Lena or the Hudson. The silts of the rivers of South Africa, on the contrary, have slightly higher $\alpha^{Al}K$. At the same time, the shales of the Riphean stratotype have slightly higher $\alpha^{Al}B_{average}$ than the silts of the rivers of South Africa or the particulate suspended matter of the rivers of the temperate climatic zone of Northern Eurasia or North America. *Conclusions.* Based on “direct” comparison of $\alpha^{Al}E$ for clayey rocks of the Riphean stratotype and those for silts and particulate suspended matter of a number of rivers in South Africa, Northern Eurasia and North America, we can conclude that the eras of accumulation of terrigenous deposits of the Riphean of the Southern Urals were characterized by a climate reminiscent of the modern temperate climate of the northern hemispheres.

Keywords: *Riphean, Southern Urals, clay rocks, $\alpha^{Al}E$ indices, weathering*

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

In preparing this work, analytical data kindly provided by E.Z. Gareev, M.T. Krupenin, V.M. Gorozhanin and S.G. Kovalev were used. Analytical materials obtained from some of the clay rock samples selected by these colleagues were also involved. Illustrations for the article were made by N.S. Glushkova. The author is sincerely grateful to all of the listed colleagues, as well as to the anonymous reviewers who took the trouble to familiarize themselves with the text.

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция климатических обстановок докембрия, как и во многих случаях фанерозоя, опирается не только на собственно литологические приемы, но и, особенно в последние годы, на разнообразные литогеохимические подходы. Обзор последних на русском языке можно найти в публикации (Маслов, Подковыров, 2023а). Некоторые из них ранее уже были применены к рассмотрению палеоклиматических характеристик рифея Южного Урала (Маслов и др., 2003, 2016; Маслов, Подковыров, 2023б и ссылки в этих работах). Но, как это часто бывает, в указанный обзор вошли не все широко используемые индикаторы палеоклимата, тогда как, напротив, имеющие уже больше историческое значение оказались в той или иной мере освящены.

В настоящей публикации этот недостаток исправлен в отношении широко используемых для расшифровки особенностей современного выветривания (и, соответственно, в той или иной мере – климата) на палеоводосборах так называемых альфа-индексов – α values (αE) (Gaillardet et al., 1999) и $\alpha^{Al}E$ (Garzanti et al., 2013). В качестве модельного объекта выбраны хорошо исследованные осадочные последовательности стратотипа рифея Башкирского мегантиклинория Южного Урала – бурзянская, юрматинская и каратауская серии.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ СТРАТОТИПА РИФЕЯ

Стратотипический разрез рифея, расположенный в пределах западной и центральной зон Башкирского мегантиклинория на западном склоне Южного Урала, сложен терригенными и карбонатно-терригенными осадочными последовательностями, среди которых на некоторых уровнях встречаются и вулканиты (Стратотип..., 1983; Маслов и др., 2001, 2002). Он объединяет три крупные седиментационные серии: бурзянскую, юрматинскую и каратаускую (рис. 1). Исходя из современного официального определения возраста нижней границы венда (600 млн лет (Стратиграфический..., 2019)), можно предполагать, что рифейский возраст имеет и бакеевская свита ашинской серии, несогласно залегающая на породах каратауской серии, но так ли это действительно – покажет время. Так как подробная характеристика названных серий дана в работах (Козлов, 1982; Стратотип..., 1983; Маслов, 1988; Маслов и др., 2001, 2002; Нижний..., 1989; Пучков, 2010; Семихатов и др., 2015; и др.), то далее мы остановимся лишь на самых общих моментах. Вещественный состав глинистых пород стратотипа рифея рассмотрен нами ранее в монографии (Маслов и др., 1999). Все анализируемые нами тонкозернистые обломочные породы мы считаем, как и ранее, механогенными.

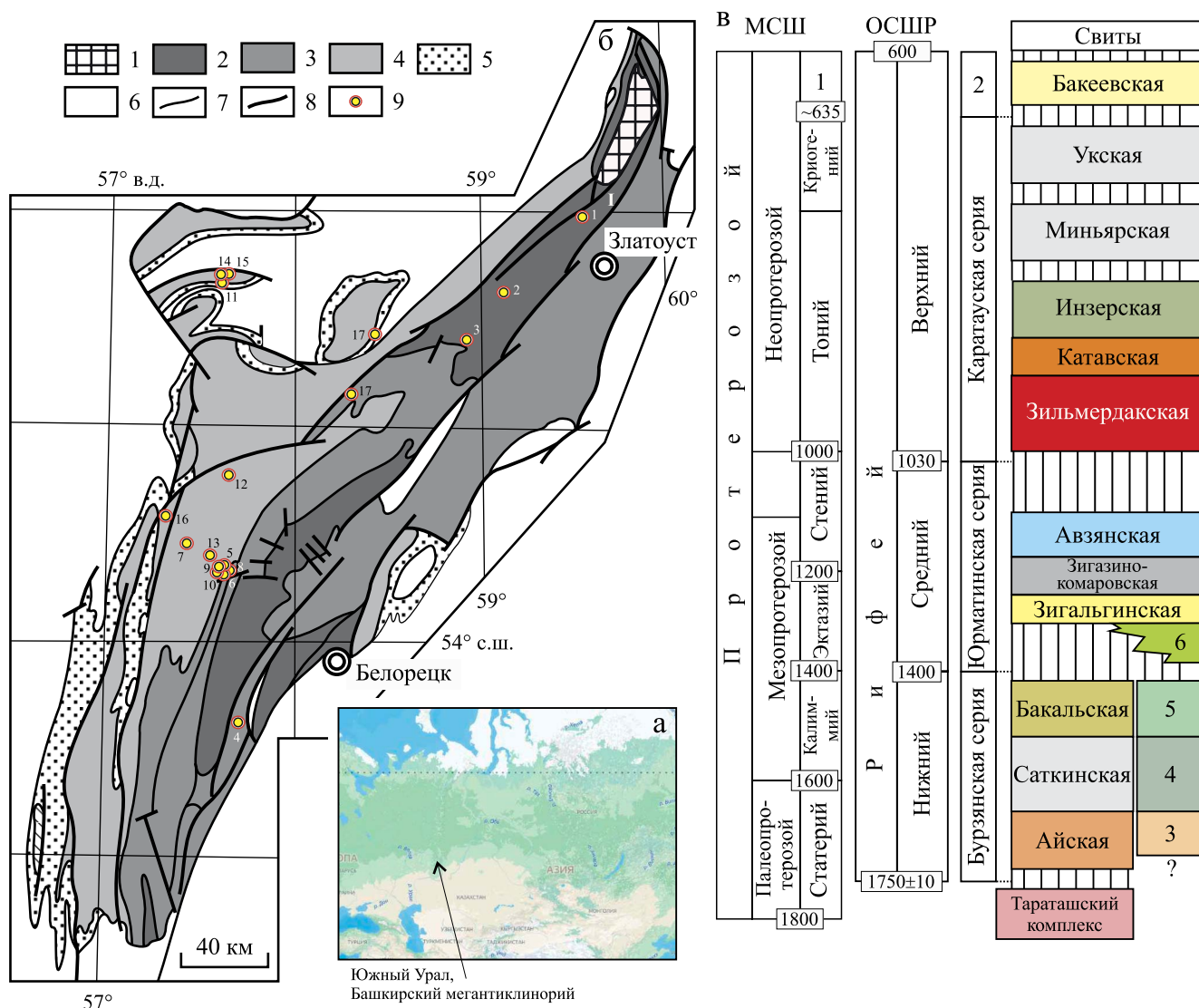


Рис. 1. Обзорная схема (а), схематическая геологическая карта Башкирского мегантиклинория (Маслов и др., 2022) с изменениями (б) и сводная стратиграфическая колонка стратотипа рифея с положением районов отбора образцов на исследование валового химического состава глинистых пород (в).

а: Географическая основа заимствована с сайта <https://yandex.ru/maps/?ll=48.507137%2C56.097075&z=3.16>.

б: 1 – архей–нижний протерозой; 2 – нижний рифей; 3 – средний рифей; 4 – верхний рифей; 5 – венд; 6 – палеозой; 7 – геологические границы; 8 – разрывные нарушения; 9 – районы отбора образцов глинистых пород (1 – разрезы айской свиты по р. Ай выше г. Кусы; 2 – разрезы саткинской свиты в окрестностях г. Сатка; 3 – бакальская свита, естественные разрезы и разрезы в карьерах Бакальского рудного поля; 4 – обнажения машакской свиты на хр. Бол. Шатак; 5 – обнажения зигазино-комаровской свиты в районе хут. Катаскин; 6 – обнажения авзянской свиты там же; 7 – разрез бирьянской подсвиты зильмердакской свиты на восточном склоне хр. Зильмердак западнее пос. Инзер; 8 – разрез бирьянской подсвиты на левом борту долины р. Мал. Инзер против д. Реветь; 9 – разрез нугушской подсвиты зильмердакской свиты там же; 10 – разрез бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты там же; 11 – обнажения той же подсвиты на южной окраине г. Миньяр; 12 – разрез той же подсвиты по правому борту долины р. Лемеза выше устья руч. Шаркраук; 13 – фрагменты разрезов и обнажения инзерской свиты в окрестностях пос. Инзер; 14 – фрагмент разрезов инзерской свиты у ж.д. ст. Бьянка; 15 – разрез миньярской свиты в щебеночном карьере выше ж.д. ст. Бьянка; 16 – разрез нижней подсвиты укской свиты в окрестностях хут. Кулмас; 17 – разрез бакеевской свиты на восточной окраине г. Усть-Катав). Подробную информацию о строении этих разрезов можно найти в (Маслов и др., 2001)). I – Тараташский антиклинорий.

в: 1 – эдиакарий; 2 – ашинская серия; 3 – большеинзерская свита; 4 – суранская свита; 5 – юшинская свита; 6 – машакская свита. Вертикальная штриховка – перерывы без указания длительности. 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 венда, среднего и нижнего рифея показан в соответствии с представлениями (Краснобаев и др., 2013а, 2013б; Семихатов и др., 2015).

Fig. 1. Overview diagram (a), schematic geological map of the Bashkir meganticlinorium (Maslov et al., 2022) with modifications (б) and a summary stratigraphic column of the Riphean stratotype with the position of sampling areas to study the bulk chemical composition of clay rocks (в).

a: Geographical basis taken from the site <https://yandex.ru/maps/?ll=48.507137%2C56.097075&z=3.16>

б: 1 – Archean–Lower Proterozoic; 2 – Lower Riphean; 3 – Middle Riphean; 4 – Upper Riphean; 5 – Vendian; 6 – Paleozoic; 7 – geological boundaries; 8 – discontinuities; 9 – areas of sampling of clayey rocks (1 – cross-sections of the Ai Formation along the Ai River above the Kusa town; 2 – cross-sections of the Satka Formation in the vicinity of the Satka town; 3 – Bakal Formation, natural cross-sections and cross-sections in the quarries of the Bakal ore field; 4 – outcrops of the Mashak Formation on the Bolshoi Shatak Ridge; 5 – outcrops of the Zigaza-Komarovo Formation in the area of Kataskin village; 6 – outcrops of the Avzyan Formation in the same place; 7 – cross-section of the Biryán Subformation of the Zilmerdak Formation on the eastern slope of the Zilmerdak ridge, west of the Inzer village; 8 – cross-section of the Biryán subformation on the left side of the Malyi Inzer river near Revet village; 9 – cross-section of the Nugush Subformation of the Zilmerdak Formation in the same place; 10 – cross-section of the Bederyshin Subformation of the Zilmerdak Formation in the same place; 11 – outcrops of the same subformation on the southern outskirts of the Minyar town; 12 – cross-section of the same subformation on the right side of the Lemeza river valley, above the mouth of the Sharkrauk stream; 13 – fragments of cross-sections and outcrops of the Inzer Formation in the vicinity of the Inzer village; 14 – fragment of the Inzer Formation cross-section near the Bianca railway station; 15 – cross-section of the Minyar Formation in the crushed stone quarry above the Bianca railway station; 16 – cross-section of the lower subformation of the Uk Formation in the vicinity of Kulmas village; 17 – cross-section of the Bakeevo Formation on the eastern outskirts of Ust-Katav town). Detailed information about all these cross-sections can be found in (Maslov et al., 2001)). 1 – Taratash anticlinorium. в: 1 – Ediacaran; 2 – Asha Group; 3 – Bolshoi Inzer Formation; 4 – Suran Formation; 5 – Yusha Formation; 6 – Mashak Formation. Vertical shading – breaks without indicating duration. MCIII – International Stratigraphic Chart (version v2020/03, www.stratigraphy.org). OCШП – 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 Vendian, Middle and Lower Riphean is shown in accordance with the ideas (Krasnobaev et al., 2013a, 2013b; Semikhatov et al., 2015).

Бурзянская серия (мощность 4000–7000 м) залегает несогласно на метаморфических породах архея–раннего протерозоя и объединяет на северо-востоке Башкирского мегантиклинория (Тараташский антиклинорий) айскую, саткинскую и бакальскую свиты. Айская свита представлена преимущественно терригенными породами; в ее нижней части присутствуют вулканиты с возрастом циркона 1752 ± 11 млн лет (Краснобаев и др., 2013б). Саткинская свита сложена в основном доломитами; глинистые сланцы характерны только для ее третьей/средней (половинкинской) подсвиты. Возраст раннего диагенеза известняков, залегающих у кровли свиты, равен 1550 ± 30 млн лет (Кузнецов и др., 2008). Бакальская свита представлена в нижней части низкоуглеродистыми глинистыми сланцами, а в верхней – несколькими толщами терригенных и карбонатных пород. Возраст раннего диагенеза известняков этого уровня бурзяния оценивается в 1430 ± 30 млн лет (Кузнецов и др., 2003). В центральной части Башкирского мегантиклинория с названными стратонами параллелизуются соответственно большеинзерская, суранская и юшинская свиты (Стратотип..., 1983).

На бурзянской серии с перерывом и угловым несогласием залегают терригенные и терригенно-карбонатные образования юмартинской серии (мощность 4500–6000 м), объединяющей машакскую, зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. Машакская свита, развитая в осевой части Башкирского мегантиклинория, сложена терригенными породами, чередующимися с метабазами и метариолитами. Для циркона из метариолитов получены U-Th-Pb возрасты 1383 ± 3 , 1386 ± 5 и 1386 ± 6 млн лет (Краснобаев

и др., 2013а). Начальные этапы “машакского магматического события” имели место 1409 ± 89 млн лет назад (Sm-Nd метод (Ковалев и др., 2019)). В Тараташском антиклинории машакская свита отсутствует и бакальская свита нижнего рифея перекрыта кварцевыми песчаниками зигальгинской свиты. Глинистых сланцев в составе зигальгинской свиты нет. Зигазино-комаровская свита состоит из пачек переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Pb-Pb изотопный возраст раннедиагенетических фосфоритов из основания свиты составляет 1330 ± 20 млн лет (Овчинникова и др., 2013). Авзянская свита включает несколько карбонатных и терригенных толщ. На основании С-хемостратиграфических данных считается, что формирование отложений этого уровня стратотипа рифея происходило не позже ~1270 млн лет назад (Bartley et al., 2007).

Каратауская серия (тип верхнего рифея) объединяет зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты. Мощность серии составляет от 3500 до 6000 м. 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 ряде разрезов в ее

основании присутствует толща сероцветных известняков (подинзерские слои). Rb-Sr изотопный возраст раннедиагенетического иллита из глинистых сланцев составляет 805–835 млн лет (Горохов и др., 2019). Ранний диагенез известняков подинзерских слоев имел место 836 ± 25 млн лет (Овчинникова и др., 1998). Миньярская свита сложена преимущественно доломитами, Pb-Pb изотопный возраст которых равен 780 ± 85 млн лет (Овчинникова и др., 2000). Укская свита в нижней части представлена терригенными и карбонатными породами, а в верхней – известняками. Al-разности глауконита из нижней подсвиты укской свиты имеют возраст 660–690 млн лет (Зайцева и др., 2008). На западном крыле Башкирского мегантиклинория (бассейн р. Зилим в районе д. Толпарово) на глинистых известняках катавской свиты залегают конгломераты и терригенные породы толпаровской и суировской свит ашинской серии, выполняющие глубокую врезанную долину в отложениях каратауской серии (Келлер и др., 1984). Аналогами их в других районах Башкирского мегантиклинория считаются терригенные отложения бакеевской свиты. Rb-Sr возраст глауконита бакеевской свиты оценивается в 638 ± 13 (Kuznetsov et al., 2017) или 642 ± 9 млн лет (Зайцева и др., 2019).

Степень постседиментационных изменений пород рифея Башкирского мегантиклинория варьирует от метагенеза (для отложений бурзянской серии) до начального катагенеза (венд и верхи верхнего рифея) (Анфимов, 1997; и др.). Подавляющее большинство глинистых пород рифея, за исключением бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, характеризуется значениями $K_2O/Na_2O < 20$, что, в соответствии с представлениями (Bolnar et al., 2005), дает основание предполагать незатронутость их процессами К-метасоматоза. Тонкозернистые обломочные породы бирьянской подсвиты ассоциируют с аркозовыми и субаркозовыми песчаниками, и свойственные им высокие величины K_2O/Na_2O связаны, очевидно, с присутствием в их составе тонко-растертого калиевого полевого шпата.

В раннем и среднем рифее в пределах современного Башкирского мегантиклинория и прилегающих к нему с запада районах Восточно-Европейской платформы существовали, по всей видимости, относительно небольшие эпикратонные/надрифтовые бассейны (Формирование..., 1986; и др.), а для позднего рифея может быть реконструирован латеральный ряд формаций, напоминающий последовательность отложений пассивной континентальной окраины (Пучков, 2005). Накопление осадочных толщ айской и машакской свит происходило на фоне плюмовых событий (Пучков, 2018). Источником основной массы кластики в рифее являлись кристаллические породы цоколя Восточно-Европейской платформы (Акимова, 1967; Карта...,

1983; Стратотип..., 1983; Маслов, 1988; Маслов и др., 2001, 2018; Зайцева и др., 2022).

Содержание редких и рассеянных элементов в глинистых породах стратотипа рифея сопоставимо с содержанием в среднем постархейском австралийском глинистом сланце (PAAS (Taylor, McLennan, 1985)). Присущие им значения индикаторных отношений (Th/Sc, Zr/Sc и др.) позволяют считать, что в рифее в областях сноса преобладали кислые магматические/метаморфические образования (Маслов и др., 2016, 2022). Этот вывод не исключает того, что продукты размыва иных по составу комплексов пород из-за особенностей транспортировки кластики (далекий перенос, выветривание и т. п.) просто не достигали приемных бассейнов.

Геохимические характеристики глинистых пород рифея Южного Урала и “открывающегося” в сторону него с запада Камско-Бельского авлакогена указывают на формирование их под влиянием либо крупных речных систем (реки категории 1 по классификации (Bayon et al., 2015)), на водосборах которых присутствовали разные, в том числе осадочные, породные ассоциации, либо рек категории 2, дренировавших водосборы, сложенные преимущественно осадочными образованиями (Маслов, 2019, 2020). Это дает основание считать, что располагавшиеся в рифее к западу от стратотипической местности палеоводосборы охватывали существенные территории.

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СТРАТОТИПА РИФЕЯ (ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ)

Как следует из приведенной краткой характеристики типового разреза рифея, в нем в большинстве случаев отсутствуют яркие литоклиматические индикаторы, однозначно указывающие на определенные климатические обстановки. Это заставляет исследователей использовать для реконструкции палеоклимата тонкие особенности состава пород, а также их разнообразные литогеохимические характеристики. Так, присутствие в составе глинистых сланцев верхней части айской свиты палыгорскита (Сульман, Демчук, 1978) позволило ряду авторов считать климат начала рифея близким к аридному. На это же как будто указывают присутствие аркозовых песчаников в основании айской свиты и мощные толщи доломитов в разрезах саткинской свиты. Напротив, преобладание в глинистых сланцах бакальской свиты Fe-и Fe-Mg-хлоритов предполагает существование гумидного климата на палеоводосборах (Сульман и др., 1974; Карпова, Тимофеева, 1975). Об этом же свидетельствуют, вероятно, широко распространенные в разрезах бурзянской серии низкоуглеро-

дистые глинистые сланцы. В то же время В.П. Парначев (1987), основываясь на повышенных содержаниях фтора и хлора в породах саткинской и бакальской свит, считал, что накопление осадочных последовательностей середины и конца бурзяния происходило в эвапоритовых водоемах аридной зоны.

Существенно кварцевый состав псаммитов машакской и зигальгинской свит, а также лемезинской подсвиты зильмердакской свиты указывает в традиционной парадигме на формирование исходных осадков в обстановках глубокого химического выветривания кислого субстрата при преобладании гумидного/тропического влажного климата. Присутствие в доломитах, залегающих среди пестроцветных глинисто-алевролитов-карбонатных отложений авзянской свиты, включений гипса, а в красноцветных алевролитах там же Мг-хлоритов (Крупенин и др., 2002) также может указывать на эвапоритовый характер бассейна осадконакопления/обстановки аридного климата. Об эвапоритовой природе отложений так называемого кужинского комплекса (средний/верхний рифей?) свидетельствуют высокие концентрации фтора и хлора в карбонатных и терригенных породах, пестроцветная окраска пород, включения гипса в доломитах и барит-сфалерит-галенитовая минерализация (Парначева, 1987). В пользу сказанного говорит и тяжелый изотопный состав серы в сульфидах Кужинского барит-полиметаллического месторождения (Широбокова, 1992). По данным В.Н. Подковырова и Э.З. Гареева (1995), основанным на анализе литохимических особенностей глинистых сланцев юрматинской серии, климат первой половины юрматиния был ближе к семиаридному, а позднее почти аридным.

Аркозовые песчаники бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, как и аркозы базальных уровней бурзяния, традиционно рассматриваются как индикаторы аридного/семиаридного климата. На это же указывает присутствие в пачках переслаивания алевролитов и аргиллитов названной свиты псевдоморфоз по галиту и многочисленных трещин усыхания и литохимические характеристики аргиллитов (Гареев, 1987; Маслов, 1988; Маслов и др., 2013). Накопление красноцветных известняков и мергелей катавской свиты происходило также, вероятно, в условиях, приближавшихся к аридным (Карта..., 1983; Маслов, 1988; Маслов, Гареев, 1988; Парначев, 1988). Напротив, инзерский и нижняя часть укского уровней представлены глауконито-кварцевыми песчаниками и алевролитами, что предполагает формирование исходных осадков в обстановках теплого гумидного климата, а преобладание доломитов в разрезах миньярской свиты указывает, по всей видимости, на возврат аридных обстановок. Сглаженно-упорядоченный тип распределения средних содержаний ред-

ких и рассеянных элементов в ряду “песчаники-карбонаты” на инзерском уровне также указывает на существование в середине позднего рифея в областях размыва климата, близкого к гумидному (Гареев, 1988). О накоплении в гумидного климатических обстановках осадочных последовательностей авзянского и зильмердакского уровней свидетельствуют повышенные против кларка содержания Мп в обломочных породах (Гареев, 1989).

Исследование химического состава глинистых пород стратотипа рифея с использованием диаграммы Ронова-Хлебниковой и анализ вариаций гидролизатного, алюмокремниевое и натриевого модулей (Юдович, Кетрис, 2000), а также химического индекса изменения (CIA (Nesbitt, Young, 1982)) позволили наметить общую картину палеоклиматических обстановок накопления осадочных толщ (Маслов, Гареев, 1999; Маслов и др., 1999). Так, в течение раннего рифея на водосборах происходило постепенное вызревание поступавшего в область седиментации пелитового материала. Максимально зрелыми в литохимическом отношении в составе бурзянской серии являются глинистые сланцы бакальского уровня. Средний рифей характеризовался поступлением вначале алюмосиликокластики варьирующей степени зрелости; к концу юрматиния она стала выше, что, вероятно, отражает нарастание гумидности в областях размыва. Для каратавия показан переход от умеренно зрелого материала ко все более зрелой тонкой алюмосиликокластике. Средние значения CIA варьируют в глинистых породах рифея от менее 60 до ≈ 75 (Маслов и др., 2016), что предполагает в целом невысокую и умеренную интенсивность процессов выветривания на палеоводосборах. Сказанное подтверждается и другими литогеохимическими особенностями тонкозернистых обломочных пород (более высоким, чем в UCC, значением K/Cs_{cp} ; величинами K_2O/Al_2O_3 и Ga/Rb , характерными для иллитсодержащих глин/продуктов преимущественно холодного, аридного или семиаридного климата и др.).

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Для настоящего исследования использована актуализированная база данных о валовом химическом составе аргиллитов, глинистых сланцев и глинистых алевролитов, опубликованная в виде дополнительных материалов к статье (Маслов, Подковыров, 2023б). Она включает сведения о содержании основных породообразующих оксидов и ряда редких и рассеянных элементов для 76 образцов, отобранных из хорошо известных естественных разрезов рифея и некоторых скважин (см. рис. 1б). Определение содержания указанных компонентов проведено в разные годы в ПГО “Башкиргеология” (Уфа), ИГГ УрО РАН (Екатерин-

бург) и ИГ УФИЦ РАН (Уфа) методами “мокрой химии”, рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Точность исследований методом РФА составляла 1–5% для элементов с содержанием выше 1–5 мас. % и до 12–15% для элементов с концентрацией ниже 0.5 мас. %. Пределы обнаружения для SiO_2 и Al_2O_3 составляли 0.22 и 0.16 мас. %, для MgO и MnO – 0.37 и 0.02 мас. %, суммарного железа (Fe_2O_3^*) – 0.06, K_2O и Na_2O – 0.04 и 0.15, P_2O_5 – 0.03 мас. %. Пределы обнаружения редких, редкоземельных и высокозарядных элементов варьировали от 0.005 до 0.1 мкг/г. Относительные стандартные отклонения результатов измерений не превышали 30%. Качество контролировалось использованием стандартных образцов OU-10 и MGT-1.

Содержание SiO_2 в глинистых породах рассматриваемой нами в данной работе выборки варьирует от ≈ 46.62 до ≈ 67.07 мас. % (среднее – 60.23 ± 3.91 мас. %). Среднее содержание TiO_2 составляет 0.82 ± 0.20 мас. %. Величина $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{cp}}$ равна 17.70 ± 2.48 мас. % (минимум – 7.45, максимум – 22.30 мас. %). Минимальное количество Fe_2O_3^* равно 1.83, максимальное достигает 10.58 мас. % ($\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{cp}}^* = 6.38 \pm 1.99$ мас. %). Среднее содержание оксидов магния и кальция составляет соответственно 2.40 ± 1.00 и 0.90 ± 1.72 мас. % (пределы вариации – 0.40–6.07 и 0.07–11.20 мас. %). Величина $\text{Na}_2\text{O}_{\text{cp}}$ равна 0.94 ± 0.58 , а $\text{K}_2\text{O}_{\text{cp}}$ – 5.77 ± 2.14 мас. %. Потери при прокаливании варьируют от 2.08 до 14.65 мас. %. Среднее содержание в глинистых породах всей выборки Sr и Ba составляет 40.67 ± 25.27 и 433.33 ± 203.73 мкг/г. Величина Rb_{cp} равна 118.01 ± 57.14 мкг/г. Среднее содержание Y, Nb и Th составляет соответственно 21.17 ± 15.52 , 15.38 ± 5.11 и 11.15 ± 5.08 мкг/г. Величины Be_{cp} , Cs_{cp} и U_{cp} равны 3.12 ± 1.92 , 5.66 ± 2.73 и 2.78 ± 1.45 мкг/г. Содержание легких редкоземельных элементов (ЛРЗЭ) варьирует от 4.54 до 419.76 мкг/г (среднее – 139.11 ± 85.08 мкг/г), тяжелых – от 0.83 до 50.25 мкг/г (среднее – 15.17 ± 8.80 мкг/г). Для свит, представленных более чем тремя образцами глинистых пород средние, минимальные и максимальные содержания перечисленных компонентов приведены в табл. 1. В этой же таблице указаны используемые нами при расчетах содержания названных компонентов в верхней континентальной коры (UCC (Rudnick, Gao, 2014)).

По соотношению $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ в соответствии с представлениями авторов монографии (Юдович, Кетрис, 2000), глинистые породы стратотипа рифея могут считаться исходно принадлежавшими каолинитовым, смектитовым с примесью каолинита и иллита, хлорит-смектит-иллитовым и иллитовым глинам со значительной примесью дисперсных полевых шпатов (Маслов, Подковыров, 2023б).

ОБСУЖДЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Известно, что интенсивность выветривания можно рассчитать для каждого химического элемента, вовлеченного в инконгруэнтное выветривание силикатных минералов (Garzanti et al., 2014 и ссылки там). Первоначально для этого использовалось сравнение концентрации данного элемента с концентрацией элемента немобильного (это могли быть и редкоземельные элементы, и Sc, и Ti, и Th, и др.) в образцах и в верхней континентальной коре (α values/ αE (Gaillardet et al., 1999)). Однако, так как РЗЭ, Th и Ti содержатся преимущественно в плотных акцессорных минералах и, таким образом, их концентрация в осадке сильно зависит от гидравлической сортировки, было предложено (Garzanti et al., 2013) рассчитывать значения α для любого элемента E по отношению к немобильному Al. В связи с тем что Al нехарактерен для плотных акцессориев, значения α^{AlE} могут быть использованы и для оценки выветривания в образцах, где концентрация акцессориев достаточно велика. Для расчета α^{AlE} применяется формула $[\text{Al}/\text{E}]_{\text{обр}}/[\text{Al}/\text{E}]_{\text{UCC}}$ (Garzanti et al., 2013, 2014; Dinis et al., 2020). Величина $\alpha^{\text{AlE}} \approx 1$ означает, что концентрация элемента E по отношению к неподвижному Al сравнима с концентрацией элемента в UCC. Значения $\alpha^{\text{AlE}} \gg 1$ указывают на деплетирование в породе данного элемента, которое можно объяснить выветриванием. Соответственно, $\alpha^{\text{AlE}} \ll 1$ предполагают обогащение. Величины α^{AlE} для большинства подвижных элементов выше во фракции <2 мкм, где концентрируются глинистые минералы, богатые Al. Малоподвижные элементы (такие как Sc, Y, РЗЭ, Ti, Nb), демонстрирующие во время выветривания тенденцию к относительному обогащению, часто характеризуются значениями $\alpha^{\text{AlE}} < 1$. Во фракции <32 мкм оксид титана, ТРЗЭ, Y и Nb также обладают величинами $\alpha^{\text{AlE}} < 1$.

Хотя значения α^{Al} и минимизируют эффекты гидравлической сортировки, они подвержены влиянию других, более тонких эффектов, например суспензионной сортировке. Так, во взвеси Амазонки и Ганга-Брахмапутры содержание Na увеличивается с глубиной воды быстрее, чем Sr и Ca, тогда как Nd, Sm и Th имеют тенденцию к небольшому уменьшению, а Cs, Rb, K, Be и Ba уменьшаются более медленными темпами, чем Mg, Ti и Al. В результате значения αE и α^{AlE} в толще воды меняются по-разному, однако расхождения между ними невелики (Garzanti et al., 2013).

Как показано в публикации (Garzanti et al., 2014 и ссылки в этой работе), речные илы тропической части Южной Африки демонстрируют умеренное обеднение щелочными и щелочноземельными металлами по сравнению с ее экваториальными областями. Так, средние значения CIA и индекса выветривания Паркера (WIP (Parker, 1970)) для

Таблица 1. Среднее, минимальное и максимальное содержание породообразующих оксидов и ряда редких и рассеянных элементов в глинистых породах рифея Южного Урала

Table 1. Average, minimum and maximum contents of rock-forming oxides and a number of rare and trace elements in the Riphean clay rocks of the Southern Urals

Компонент	Свита, подсвита								УСС
	Айская	Бакальская	Машакская	Зигазино-комаровская	Бирьянская	Бедерышинская	Инзерская	Укекая	
SiO ₂ , мас. %	65.15 ± 0.78 64.72–66.53	60.80 ± 2.49 56.15–63.43	59.67 ± 3.20 54.96–66.20	64.49 ± 2.27 60.71–66.56	59.18 ± 4.35 52.21–66.46	57.80 ± 1.86 55.31–59.81	59.59 ± 1.32 58.19–62.14	60.15 ± 2.45 56.15–62.51	66.62
TiO ₂	0.60 ± 0.09 0.46–0.70	0.76 ± 0.04 0.72–0.82	0.95 ± 0.34 0.61–1.62	0.84 ± 0.08 0.76–0.96	0.72 ± 0.13 0.60–1.12	0.82 ± 0.12 0.66–1.02	0.91 ± 0.15 0.72–1.18	0.91 ± 0.07 0.85–1.03	0.64
Al ₂ O ₃	15.94 ± 1.60 13.46–17.74	19.34 ± 0.53 18.71–20.00	18.69 ± 1.75 15.98–21.30	16.71 ± 1.94 14.56–20.20	18.18 ± 2.41 15.16–22.26	14.41 ± 3.33 7.45–17.42	19.04 ± 1.59 16.21–20.81	16.99 ± 0.70 16.17–17.95	15.40
Fe ₂ O ₃ *	4.89 ± 1.26 3.07–5.99	7.44 ± 1.69 5.54–10.58	9.10 ± 0.86 7.90–10.32	5.87 ± 1.16 4.01–7.38	6.60 ± 1.30 4.76–8.78	5.97 ± 2.06 3.20–8.88	6.51 ± 1.86 3.55–9.18	4.52 ± 0.43 3.88–5.09	5.04
MgO	2.60 ± 2.01 0.40–5.80	1.43 ± 0.36 1.00–2.00	2.11 ± 0.76 1.13–3.35	2.84 ± 0.76 1.87–3.67	2.21 ± 0.54 1.44–3.34	4.24 ± 0.93 3.37–6.07	2.10 ± 0.34 1.73–2.65	2.61 ± 0.26 2.18–2.90	2.48
CaO	0.57 ± 0.44 0.27–1.27	0.80 ± 1.24 0.07–4.04	0.18 ± 0.13 0.09–0.52	0.38 ± 0.13 0.20–0.56	0.20 ± 0.14 0.07–0.62	2.41 ± 2.46 0.27–7.43	0.85 ± 0.89 0.19–2.50	2.10 ± 1.83 0.30–4.95	3.59
K ₂ O	5.41 ± 1.98 4.10–8.85	3.43 ± 0.92 2.13–5.26	3.91 ± 0.99 2.70–6.08	3.84 ± 1.26 2.28–5.76	8.49 ± 0.96 6.88–10.11	6.47 ± 1.86 3.03–9.10	4.99 ± 0.96 3.28–6.14	5.99 ± 0.29 5.68–6.29	2.80
Na ₂ O	1.69 ± 0.67 0.69–2.33	1.05 ± 0.51 0.20–2.16	0.58 ± 0.24 0.29–0.96	1.81 ± 0.64 0.76–2.40	0.41 ± 0.25 0.08–1.08	1.10 ± 0.13 0.86–1.24	1.27 ± 0.10 1.14–1.42	0.88 ± 0.22 0.65–1.29	3.27
P ₂ O ₅	0.23 ± 0.08 0.13–0.31	0.10 ± 0.08 0.06–0.30	0.13 ± 0.05 0.08–0.26	0.09 ± 0.04 0.02–0.13	0.15 ± 0.06 0.08–0.35	0.18 ± 0.03 0.14–0.22	0.12 ± 0.05 0.09–0.23	0.10 ± 0.01 0.08–0.11	0.15
П.п.п.	2.78 ± 0.46 2.08–3.30	5.14 ± 0.78 4.35–6.95	4.23 ± 1.07 2.25–5.32	3.81 ± 0.88 3.00–5.34	3.92 ± 1.08 2.40–5.75	6.68 ± 2.61 3.70–11.56	4.59 ± 1.33 2.23–6.90	5.69 ± 1.63 3.63–8.20	
Be, мкг/г	1.19 ± 0.38 0.56–1.50	2.75 ± 0.55 2.19–3.71	2.06 ± 0.72 0.91–3.14	1.22 ± 0.72 0.34–2.44	5.57 ± 2.52 2.31–11.26	3.11 ± 0.69 2.32–4.22	2.97 ± 0.92 1.41–4.38	2.80 ± 0.39 2.34–3.53	2.1
Rb	84.47 ± 34.25 34.42–121.66	119.57 ± 29.62 56.07–150.01	69.72 ± 47.55 14.04–140.80	76.08 ± 43.56 25.63–134.48	173.21 ± 65.69 44.91–320.17	148.42 ± 18.94 123.12–178.64	101.47 ± 49.27 26.87–165.15	127.72 ± 43.42 60.82–174.29	84

Таблица 1. Окончание
Table 1. Ending

Компонент	Свита, подсвита								UCC
	Айская	Бакальская	Машакская	Зигазино-комаровская	Бирьянская	Бедерышинская	Инзерская	Укская	
Y	$\frac{8.67 \pm 5.77}{3.75-15.81}$	$\frac{18.93 \pm 8.81}{2.60-32.78}$	$\frac{19.91 \pm 15.94}{1.51-48.27}$	$\frac{8.55 \pm 4.80}{3.64-16.52}$	$\frac{32.37 \pm 21.42}{0.53-88.13}$	$\frac{32.57 \pm 7.85}{22.45-44.98}$	$\frac{20.20 \pm 11.96}{1.89-32.56}$	$\frac{17.50 \pm 7.41}{2.76-22.47}$	21
Nb	$\frac{9.29 \pm 2.83}{4.92-12.50}$	$\frac{15.47 \pm 2.86}{12.61-19.94}$	$\frac{14.26 \pm 3.64}{10.42-19.82}$	$\frac{9.02 \pm 2.63}{4.67-11.61}$	$\frac{18.54 \pm 4.25}{11.67-24.05}$	$\frac{17.98 \pm 5.63}{13.12-29.70}$	$\frac{15.02 \pm 2.75}{11.59-19.67}$	$\frac{19.56 \pm 4.27}{15.78-26.96}$	12
Cs	$\frac{3.37 \pm 1.98}{0.61-5.30}$	$\frac{4.54 \pm 1.64}{3.29-8.68}$	$\frac{2.50 \pm 1.27}{1.00-4.39}$	$\frac{4.42 \pm 2.42}{0.92-7.43}$	$\frac{7.00 \pm 2.65}{2.78-11.67}$	$\frac{7.13 \pm 2.38}{4.68-11.62}$	$\frac{5.60 \pm 1.02}{4.36-7.51}$	$\frac{8.76 \pm 1.01}{7.69-10.00}$	4.9
Ba	$\frac{681.18 \pm 145.41}{441.59-830.25}$	$\frac{516.00 \pm 97.71}{317.84-634.26}$	$\frac{283.99 \pm 97.82}{148.45-400.20}$	$\frac{520.31 \pm 260.35}{132.15-818.91}$	$\frac{486.80 \pm 212.16}{19.23-893.35}$	$\frac{537.78 \pm 214.41}{332.94-951.60}$	$\frac{283.07 \pm 99.15}{91.00-455.31}$	$\frac{343.43 \pm 146.27}{78.94-460.12}$	624
Th	$\frac{9.02 \pm 3.17}{4.92-12.80}$	$\frac{14.75 \pm 3.35}{6.37-17.65}$	$\frac{8.44 \pm 4.60}{2.63-14.89}$	$\frac{6.32 \pm 2.88}{2.14-10.53}$	$\frac{14.12 \pm 5.99}{0.66-25.55}$	$\frac{12.60 \pm 1.17}{11.04-14.26}$	$\frac{10.97 \pm 5.18}{3.05-16.29}$	$\frac{9.28 \pm 4.03}{1.21-11.91}$	10.5
U	$\frac{2.35 \pm 0.81}{0.95-2.95}$	$\frac{2.13 \pm 0.18}{1.89-2.51}$	$\frac{2.13 \pm 0.45}{1.50-2.85}$	$\frac{1.78 \pm 0.38}{1.34-2.26}$	$\frac{4.76 \pm 1.64}{0.71-7.91}$	$\frac{3.33 \pm 0.72}{2.27-4.19}$	$\frac{2.22 \pm 0.46}{1.76-3.22}$	$\frac{2.12 \pm 0.42}{1.62-2.68}$	2.7
ЛРЗЭ	$\frac{93.11 \pm 46.08}{53.92-150.68}$	$\frac{196.32 \pm 62.33}{33.06-230.27}$	$\frac{125.73 \pm 120.83}{14.44-407.63}$	$\frac{80.35 \pm 41.83}{40.63-152.00}$	$\frac{175.73 \pm 105.97}{4.54-419.76}$	$\frac{168.43 \pm 27.90}{131.38-210.02}$	$\frac{139.28 \pm 69.17}{33.89-225.20}$	$\frac{99.84 \pm 41.35}{17.56-128.85}$	137.8
ТРЗЭ	$\frac{10.40 \pm 6.19}{4.84-17.98}$	$\frac{13.36 \pm 4.32}{3.61-19.00}$	$\frac{13.71 \pm 9.10}{2.77-31.82}$	$\frac{9.44 \pm 3.48}{6.33-15.56}$	$\frac{22.44 \pm 11.88}{0.83-50.25}$	$\frac{21.62 \pm 3.10}{18.64-27.51}$	$\frac{14.65 \pm 5.97}{4.87-22.24}$	$\frac{11.46 \pm 4.51}{2.33-14.01}$	14.34
n	5	9	10	6	16	7	8	6	

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное содержание. П.п.п. – потери при прокаливании. n – количество проанализированных образцов.

Note. The numerator contains the arithmetic average and standard deviation, the denominator contains the minimum and maximum content. П.п.п. – loss on ignition. n – number of analyzed samples.

илов рек засушливой Намибии составляют соответственно 53 ± 9 и 58 ± 8 . Для более влажных районов их величины выше. Так, илы Лимпопо имеют $ClA_{cp} \approx 60$, а в некоторых притоках, дренирующих породы кристаллического фундамента, ClA поднимается до 70. Илы Окаванго и Верхней Замбези, сформированные во влажных районах Анголы и Замбии, обладают значениями $ClA_{cp} \approx 80$. Значения $\alpha^{Al}Na$ составляют от 2 до 5 для рек засушливой Намибии. В илах Лимпопо и большей части Замбези они несколько выше (3–10), а в Верхней Замбези и Окаванго достигают величин 13–28 (для Окаванго средняя величина $\alpha^{Al}Na$, рассчитанная нами по данным (Garzanti et al., 2014), равна 19 (рис. 2а)). Величина $\alpha^{Al}Sr$ составляет около 3 в Намибии, поднимается примерно до 5 в бассейне Лимпопо, а в илах Верхней Замбези равна 6. Менее выражено деплетирование Ba, Mg и Rb; значения $\alpha^{Al}Ba$, $\alpha^{Al}Mg$ и $\alpha^{Al}Rb$ в илах рек Южной Африки в основном составляют менее 2. Таким образом, наблюдается следующая последовательность подвижности элементов (по данным валовой геохимии осадков): $\alpha^{Al}Na \gg \alpha^{Al}Sr > \alpha^{Al}K > \alpha^{Al}Ca > \alpha^{Al}Ba > \alpha^{Al}Mg \geq \alpha^{Al}Rb \geq \alpha^{Al}Cs$ (Garzanti et al., 2014). Конечно, в указанном ряду возможны те или иные вариации, обусловленные преимущественно различным составом эродированного субстрата, но если они и меняют общую картину, то незначительно.

Приведенный ряд подвижности элементов наблюдается и для других объектов (Gaillardet et al., 2003; Bouchez et al., 2011). Связано это с тем, что небольшие катионы, такие как Na или Sr, удаляются из кор выветривания, тогда как более крупные сохраняются в них за счет в том числе адсорбции на вторичных минералах (Nesbitt et al., 1980). Ba и Rb удерживаются сильнее относительно K, а Cs (в достаточной степени растворимый), настолько прочно удерживается на поверхности глинистых минералов, что может даже накапливаться в почвах (Kronberg et al., 1987; Garzanti et al., 2013).

Во влажных экваториальных областях, прежде всего в высокогорьях Восточно-Африканской рифтовой зоны, подвижность Na, Ca, Sr, Mg, K, Ba и Rb оказывается значительно выше – в 40, 30, 15, 5, 4, 3 и 2 раза соответственно. Экстремальное обеднение Na, Ca и в меньшей степени Sr в илах, сформированных из продуктов выветривания гранитно-гнейсовых пород кристаллического фундамента может быть следствием интенсивного выветривания плагиоклаза, тогда как в детрите, рециклированном из осадочных или метаосадочных источников, это отражает, скорее всего, дефицит плагиоклаза в материнских породах (Garzanti et al., 2013 и ссылки в этой работе).

Если рассчитать по данным, приведенным в монографии (Савенко, 2006), величины $\alpha^{Al}E$ для взвеси рек умеренного климата, таких как Северная Двина, Лена (полностью течет по вечной мерзло-

те), Святого Лаврентия и Гудзон, то мы увидим, что они значительно ниже, чем те, что характерны для названных африканских рек (см. рис. 2б). Так, для взвеси Северной Двины значения $\alpha^{Al}Mg$, $\alpha^{Al}Ba$, $\alpha^{Al}Na$, $\alpha^{Al}Ca$ и $\alpha^{Al}Sr$ составляют 1.26, 1.07, 1.98, 1.07 и 1.12, а величины $\alpha^{Al}K$ равна 0.62. Для взвеси Лены значения $\alpha^{Al}Mg$, $\alpha^{Al}K$, $\alpha^{Al}Ba$ равны 1.00, 0.90 и 0.77; величины $\alpha^{Al}Na$ и $\alpha^{Al}Sr$ несколько выше 1 (1.37 и 1.48 соответственно) а $\alpha^{Al}Ca$ – 2.07. Взвесь Святого Лаврентия характеризуется значениями большинства рассматриваемых параметров менее 1.60, и только величина $\alpha^{Al}Sr$ для нее составляет 2.46. Для взвеси Гудзона $\alpha^{Al}Mg \approx 0.60$, значения $\alpha^{Al}K$ и $\alpha^{Al}Ba$ находятся в интервале между 1.10 и 1.13, а индексы $\alpha^{Al}Ca$, $\alpha^{Al}Sr$ и $\alpha^{Al}Na$ имеют значения соответственно 2.20, 2.63 и 3.87.

Таким образом, ряды подвижности элементов для илов рек тропических и субтропических областей Африки и взвесей рек умеренных областей Северной Евразии и Северной Америки заметно различаются (табл. 2). Для первых прежде всего характерны заметно более высокие средние величины $\alpha^{Al}Na$ и $\alpha^{Al}K$, также в ряде случаев – $\alpha^{Al}Sr$. Значения $\alpha^{Al}Ca$, как и большинства других альфа-индексов, в обеих выборках, напротив, сопоставимы и, как правило, в основном составляют менее 2. Все сказанное может быть, на наш взгляд, в той или иной степени использовано для расшифровки процессов выветривания геологического прошлого. Естественно, мы отдаем себе отчет в том, что в рассматриваемом примере с осадочными последовательностями рифея Южного Урала тонкозернистая алюмосиликокластика (гранулометрический аналог тонкой, < 32 мкм, речной взвеси) хотя и транспортировалась в конечные бассейны стока крупными реками, но слагает в основном прибрежно- и мелководно-морские толщи, состав которых в той или иной мере отличается от состава речных илов и сегодня (Garzanti et al., 2019; Dinis et al., 2020). Кроме того, свой вклад в трансформацию исходного состава этого материала могли внести разнообразные вторичные процессы, из которых K-метасоматоз далеко не единственный. Тем не менее даже грубая оценка корректности выводов, получаемых с помощью рассматриваемого подхода, представляется интересной.

Обращаясь к рассмотрению рядов подвижности элементов в глинистых породах рифея Южного Урала, следует иметь в виду еще одно, критически важное, обстоятельство. Хорошо известно, что средний химический состав стратисферы отличается от среднего состава “гранитно-метаморфического слоя” содержанием летучих компонентов, щелочноземельных и щелочных элементов (например, среднее содержание кальция в стратисфере почти втрое выше). Эта особенность, как неоднократно подчеркивал А.Б. Ронов (1993, с. 69), “...до сих пор остается самой загадочной чертой геохи-

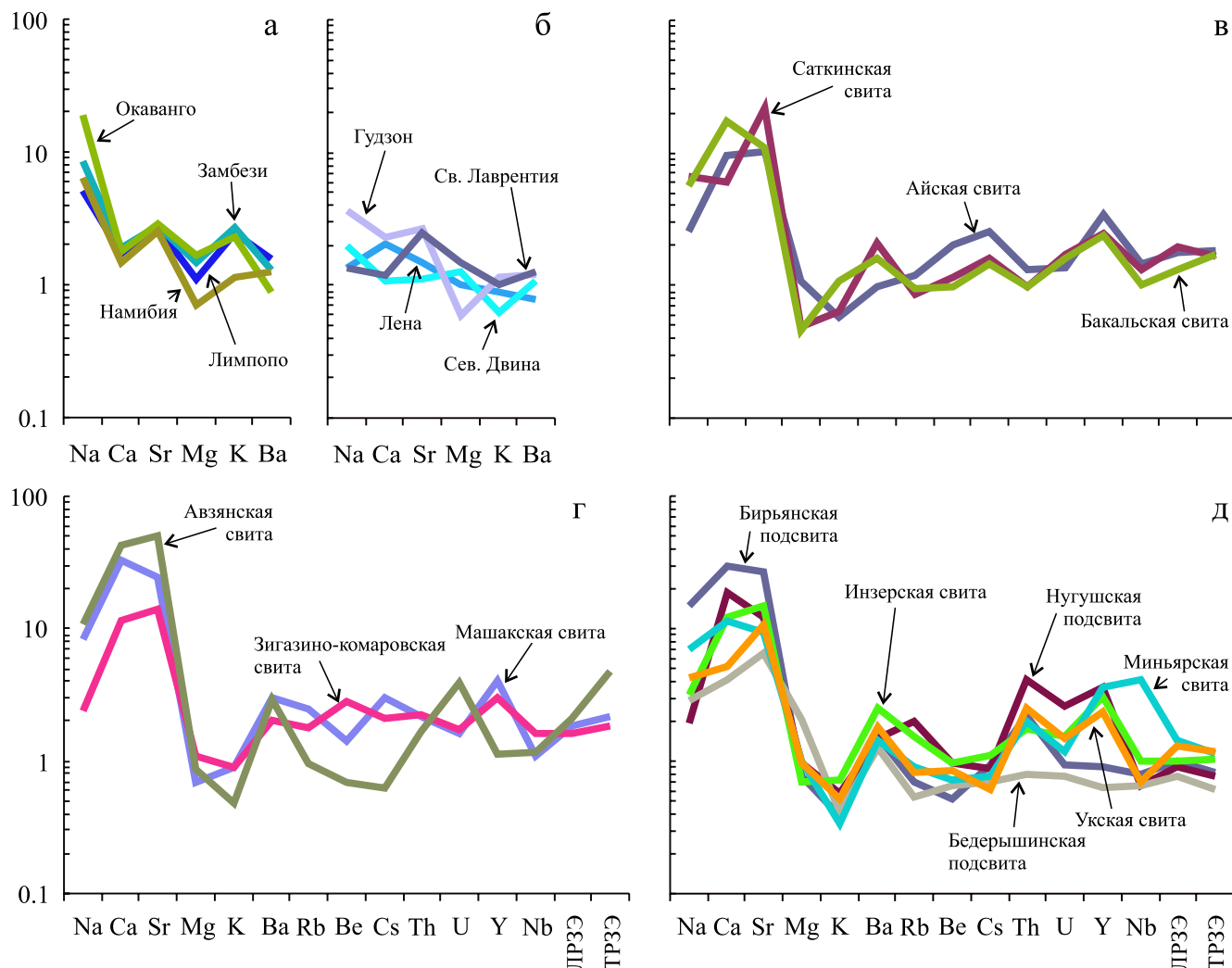


Рис. 2. Вариации средних величин α^{AlE} в илах некоторых рек Южной Африки (а), во взвеси ряда рек Северной Евразии и Северной Америки (б) и глинистых породах рифея Южного Урала (в – нижний рифей, г – средний рифей, д – верхний рифей).

Fig. 2. Variations of average α^{AlE} values in the silts of some rivers of South Africa (а), in the suspension of a number of rivers in Northern Eurasia and North America (б) and in the clayey rocks of the Riphean of the Southern Urals (в – Lower Riphean, г – Middle Riphean, д – Upper Riphean).

мии поверхностных оболочек”. Установлено, что на фоне сокращения с течением времени на палеоводосборах площади выходов основных эффузивов и возрастания площади осадочных пород содержание кальция в породах областей питания постепенно снижается вплоть до раннего протерозоя, а затем начинает увеличиваться. Соответственно со временем менялся и состав терригенных продуктов выветривания и растворов, поступавших в конечные водоемы стока. Все сказанное позволяет исключить из дальнейшего обсуждения данные о содержании в глинистых породах рифея Южного Урала как кальция, так и геохимически тесно связанного с ним стронция. Не будем мы также спе-

циально останавливаться на анализе значений альфа-индексов для Rb, Be, Cs, Th, U, Y, Nb, ЛРЗЭ и ТРЗЭ, средние значения которых в большинстве случаев (за исключением Y) составляют менее 2, т. е. слабо реагируют на климатические обстановки выветривания и транспортировки тонкой алюмосиликокластики.

Кривые значений α^{AlE} для глинистых пород различных свит рифея Южного Урала в целом в существенной степени похожи друг на друга. Для них характерны умеренные величины α^{AlNa} , достаточно высокие значения α^{AlCa} и α^{AlSr} и преимущественно низкие величины остальных α^{AlE} (см. рис. 2в). Средние величины α^{AlNa} для глини-

Таблица 2. Средние значения $\alpha^{Al}E$ для илов некоторых рек Южной Африки, взвеси ряда рек Северной Евразии и Северной Америки и глинистых пород рифея Южного Урала

Table 2. Average $\alpha^{Al}E$ values for silts of some rivers in South Africa, suspended particulate matter from a number of rivers in Northern Eurasia and North America, and Riphean clay rocks of the Southern Urals

$\alpha^{Al}E$	Лимпопо	Замбези	Окаванго	Реки Намибии	Лена	Северная Двина	Гудзон	Святой Лаврентий
$\alpha^{Al}Na$	5.05	8.58	19.23	6.37	1.37	1.98	3.87	1.36
$\alpha^{Al}Ca$	1.71	1.91	1.77	1.46	2.07	1.07	2.20	1.18
$\alpha^{Al}Sr$	2.74	2.75	2.88	2.56	1.48	1.12	2.63	2.46
$\alpha^{Al}Mg$	1.09	1.45	1.65	0.71	1.00	1.26	0.60	1.51
$\alpha^{Al}K$	2.41	2.66	2.30	1.15	0.90	0.62	1.10	1.02
$\alpha^{Al}Ba$	1.55	1.31	0.87	1.26	0.77	1.07	1.13	1.25
	Айская свита	Бакальская свита	Машакская свита	Зигазино- комаровская свита	Бирьянская подсвита	Бедерышинская подсвита	Инзерская свита	Укская свита
$\alpha^{Al}Na$	2.52	5.61	8.28	2.42	14.79	2.84	3.20	4.29
$\alpha^{Al}Ca$	9.69	17.41	32.81	11.50	29.68	4.16	12.27	5.20
$\alpha^{Al}Sr$	10.15	10.99	24.39	14.15	26.71	6.44	14.92	10.73
$\alpha^{Al}Mg$	1.07	0.46	0.70	1.08	0.76	2.08	0.69	0.96
$\alpha^{Al}K$	0.58	1.09	0.91	0.89	0.39	0.41	0.71	0.52
$\alpha^{Al}Ba$	0.99	1.58	3.05	2.01	1.55	1.26	2.53	1.80

стых пород айской, бакальской, зигазино-комаровской, укской и инзерской свит не превышают 5.61. Для тонкозернистых обломочных пород машакской свиты этот индекс выше – 8.28, а для глинистых сланцев бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, ассоциирующих с аркозовыми и субаркозовыми песчаниками, достигает 14.79 (правда, скорее всего, это не результат выветривания, а в определенной мере артефакт, обусловленный доминированием в породах-источниках тонкой алюмосиликоккластики калиевых полевых шпатов, а не плагиоклазов). Таким образом, для глинистых пород большинства стратиграфических уровней рифея Южного Урала средние значения $\alpha^{Al}Na$ близки или сопоставимы с теми, что характерны для взвеси рек умеренного климата. Средние величины $\alpha^{Al}K$ в глинистых сланцах, варьирующие в интервале значений 0.39–1.09, также близки величинам данного параметра, рассчитанным нами для взвеси рек умеренного климата (например, для взвеси Лены $\alpha^{Al}K$ равен 0.90, а для взвеси Гудзона – 1.10). Илы рек Южной Африки обладают, напротив, несколько более высокими в среднем величинами $\alpha^{Al}K$ (см. табл. 2). В то же время глинистые сланцы рифея практически всех перечисленных в табл. 2 стратонов обладают несколько более высокими средними величинами $\alpha^{Al}Ba$, нежели илы рек Южной Африки или взвесь рек умерен-

ного климатического пояса Северной Евразии или Северной Америки.

ВЫВОДЫ

Исследования показали существенное сходство рядов подвижности величин $\alpha^{Al}E$ для глинистых пород различных свит рифея Южного Урала. Для них характерны умеренные значения $\alpha^{Al}Na$, высокие величины $\alpha^{Al}Ca$ и $\alpha^{Al}Sr$ и преимущественно низкие значения остальных $\alpha^{Al}E$. Это довольно удивительно и дает основания думать, что они могут контролироваться не только и не столько климатом, сколько какими-то постседиментационными трансформациями. Если не акцентировать на данном факте внимание, исключить из анализа по ряду причин параметры $\alpha^{Al}Ca$ и $\alpha^{Al}Sr$ и считать возможным прямое сопоставление рядов подвижности для глинистых пород рифея и таковых для илов и взвеси рек Южной Африки, Северной Евразии и Северной Америки, то можно видеть, что свойственные глинистым породам рифея Южного Урала средние значения $\alpha^{Al}Na$ близки к тем, что свойственны взвеси рек умеренного климата. Средние величины $\alpha^{Al}K$ в глинистых сланцах и аргиллитах различных свит рифея также сопоставимы со значениями $\alpha^{Al}K$ для взвеси рек умеренного климата. Это позволяет в первом прибли-

жении считать, что для эпох накопления терригенных отложений стратотипа рифея был характерен климат, напомиавший современный умеренный климат северного полушария, но так ли это на самом деле – сказать трудно из-за слишком большого числа факторов, не поддающихся прямому учету.

Благодарности

При подготовке настоящей работы использован ряд данных, любезно предоставленных Э.З. Гареевым и М.Т. Крупениным. Привлечены также аналитические материалы, полученные по некоторым из образцов глинистых пород рифея Южного Урала, отобранных В.М. Горожаниным и С.Г. Ковалевым. Иллюстрации к статье выполнены Н.С. Глушковой. Всем перечисленным коллегам, как и анонимным рецензентам, взявшим на себя труд ознакомления с текстом, автор искренне признателен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов Г.Н. (1967) Косая слоистость в породах зильмердакской свиты на Южном Урале. *Материалы по стратиграфии и тектонике Урала*. Л.: ВСЕГЕИ, 36-65.
- Анфимов Л.В. (1997) Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 288 с.
- Гареев Э.З. (1988) Геохимические особенности и условия осадконакопления отложений инзерской свиты в стратотипическом разрезе на Южном Урале. *Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты*. Уфа: БФАН СССР, 29-35.
- Гареев Э.З. (1989) Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ГЕОХИ РАН, 24 с.
- Гареев Э.З. (1987) Условия формирования зильмердакских отложений по геохимическим данным на примере стратотипического разреза по р. Малый Инзер (Южный Урал). *Геохимия осадочных формаций Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 29-36.
- 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. <https://doi.org/10.31857/S0869-592X2723-30>
- 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. <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27582-96>
- 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. Наука о Земле*, **503**(2), 90-96. <https://doi.org/10.31857/S2686739722040193>
- Карпова Г.В., Тимофеева З.В. (1975) Литогенез и стадии изменения рифейских отложений Южного Урала. *Литология и полез. ископаемые*, (2), 45-55.
- Карта докембрийских формаций Русской платформы и ее складчатого обрамления (со снятыми фанерозойскими отложениями) (1983) Масштаб 1 : 2 500 000. Объясн. зап. Л.: ВСЕГЕИ, 172 с.
- Келлер Б.М., Вейс А.Ф., Горожанин В.М. (1984) Толпаровский разрез верхнего докембрия (Южный Урал). *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (9), 119-124.
- 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>
- Козлов В.И. (1982) Верхний рифей и венд Южного Урала. М.: Наука, 128 с.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. (2013а) 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. (2013б) Цирконология навашских 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.
- Крупенин М.Т., Ларионов Н.Н., Гуляева Т.Я., Демчук И.Г. (2002) Новые данные об особенностях седиментации в бассейнах авзянского времени среднего рифея. *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 149, 43-49.
- Маслов А.В. (1988) Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 133 с.
- Маслов А.В. (2019) К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала. *Изв. вузов. Геология и разведка*, (5), 28-36. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-5-28-36>
- Маслов А.В. (2020) Типы питающих провинций верхнедокембрийских отложений Волго-Уральской области. *Вестн. Перм. ун-та. Геология*, **19**(2), 101-110. <https://doi.org/10.17072/psu.geol/19.2.101>

- Маслов А.В., Гареев Э.З. (1988) Литолого-геохимические особенности верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория на Южном Урале. *Сов. геология*, (2), 57-66.
- Маслов А.В., Гареев Э.З. (1999) Петрохимические особенности позднедокембрийских осадочных ассоциаций Башкирского мегантиклинория. *Литология и полез. ископаемые*, (1), 78-91.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. (2023а) Индексы химического выветривания и их использование для палеоклиматических реконструкций (на примере разреза венда–нижнего кембрия Подольского Приднестровья). *Литология и полез. ископаемые*, (3), 249-273. <https://doi.org/10.31857/S0024497X22700033>
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. (2023б) Интенсивность химического выветривания в позднем докембрии: новые данные по стратотипу рифея (Южный Урал). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **31**(2), 109-124. <https://doi.org/10.31857/S0869592X23020060>
- 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., Гражданкин Д.В., Гой Ю.Ю. (2013) Прimitивные палеопочвы в разрезах зильмердакской свиты (текстурный и литогеохимический аспекты). *Литосфера*, (2), 45-64.
- 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. <https://doi.org/10.31857/S086956520002995-7>
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. (2003) Литологические, литохимические и геохимические индикаторы палеоклимата (на примере рифея Южного Урала). *Литология и полез. ископаемые*, (5), 427-446.
- 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. <https://doi.org/10.31857/S0869592X22010045>
- 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., Граунов О.В. (2016) Изменения палеоклимата в позднем докембрии (по данным изучения верхнедокембрийского разреза Южного Урала). *Литология и полез. ископаемые*, (2), 129-149. <https://doi.org/10.7868/S0024497X16020051>
- Нижний рифей Южного Урала (1989) (Отв. ред. М.А. Семихатов). М.: Наука, 208 с.
- 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., 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., 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. <https://doi.org/10.7868/S0869565213220209>
- Парначев В.П. (1988) Магматизм и осадконакопление в позднедокембрийской истории Южного Урала. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 33 с.
- Парначев В.П. (1987) Фтор и хлор в позднедокембрийских осадочных породах Башкирского мегантиклинория в связи с вопросами их седиментации. *Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 35-46.
- Подковыров В.Н., Гареев Э.З. (1995) Эволюция составов терригенных пород юрматинской серии рифея Южного Урала. *Геологическое изучение и использование недр*. Научно-техн. информ. сб. Вып. 1. М.: АОЗТ “Геоинформмарк”, 25-36.
- Пучков В.Н. (2005) Эволюция литосферы: от Печорского океана к Тиманскому орогену, от Палеоуральского океана к Уральскому орогену. *Проблемы тектоники Центральной Азии*. М.: ГЕОС, 309-342.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н. (2018) Плюмы – новое слово в геологии Урала. *Литосфера*, **18**(4), 483-499.
- Ронов А.Б. (1993) Стратисфера, или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М.: Наука, 144 с.
- Савенко В.С. (2006) Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 174 с.
- 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. <https://doi.org/10.7868/S0869592X15060083>
- Стратиграфический кодекс России (2019) (Отв. ред. А.И. Жамойда). СПб.: ВСЕГЕИ, 96 с.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
- Сульман А.М., Демчук И.Г. (1978) Глинистые минералы в рифейских осадочных отложениях Башкирского мегантиклинория. *Докембрийские толщи Башкирского мегантиклинория на Урале и их металло-*

- гения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 16-24.
- Сульман А.М., Демчук И.Г., Петрищева В.Г. (1974) Новые данные о минеральном составе глинистых сланцев бакальской свиты на Южном Урале. *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 122, 26-27.
- Формирование земной коры Урала (1986) (Отв. ред. С.Н. Иванов, С.Г. Самыгин). М.: Наука, 248 с.
- Широбокова Т.И. (1992) Стратиформное полиметаллическое и баритовое оруденение Урала. Свердловск: УрО РАН, 137 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.06.018>
- Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. (2015) Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **170**, 17-38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.001>
- Bolnar R., Kamber B.S., Moorbatch S., Whitehouse M.J., Collerson K.D. (2005) Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1555-1573. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.09.023>
- Bouchez J., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L., Dutra-Maia P. (2011) Grain size control of river suspended sediment geochemistry: clues from Amazon River depth profiles. *Geochim. Geophys. Geosyst.*, **12**, Q03008. <https://doi.org/10.1029/2010GC003380>
- Dinis P.A., Garzanti E., Hahn A., Vermeesch P., Cabral-Pinto M. (2020) Weathering indices as climate proxies. A step forward based on Congo and SW African river muds. *Earth-Science Rev.*, **201**, 103039. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103039>
- Gaillardet J., Dupré B., Allègre C.J. (1999) Geochemistry of large river suspended sediments: silicate weathering or recycling tracer? *Geochim. Cosmochim. Acta*, **63**, 4037-4051. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00307-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00307-5)
- Gaillardet J., Viers J., Dupré B. (2003) Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. Vol. 5. (Ed. by H.D. Holland, K.K. Turekian). Oxford: Pergamon, 225-272. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05165-3>
- Garzanti E., Padoan M., Setti M., López-Galindo A., Villa I.M. (2014) Provenance versus weathering control on the composition of tropical river mud (southern Africa). *Chem. Geol.*, **366**, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.12.016>
- Garzanti E., Padoan M., Setti M., Peruta L., Najman Y., Villa I.M. (2013) Weathering geochemistry and Sr-Nd isotope fingerprinting of equatorial upper Nile and Congo muds. *Geochim. Geophys. Geosyst.*, **14**, 292-316. <https://doi.org/10.1002/ggge.20060>
- Garzanti E., Vermeesch P., Vezzoli G., Ando S., Botti E., Limonta M., Dinis P., Hahn A., Baudet D., De Grave J., Yaya N.K. (2019) Congo River sand and the equatorial quartz factory. *Earth-Science Rev.*, **197**, 102918. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102918>
- Kronberg B.I., Nesbitt H.W., Fyfe W.S. (1987) Mobilities of alkalis, alkaline earths and halogens during weathering. *Chem. Geol.*, **60**, 41-49. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90108-2)
- 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. *Precambrian Res.*, **298**, 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.06.011>
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Nesbitt H.W., Markovics G., Price R.C. (1980) Chemical processes affecting alkalis and alkali earths during continental weathering. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 1659-1666. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90218-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90218-5)
- Parker A. (1970) An index of weathering for silicate rocks. *Geol. Mag.*, **107**, 501-504. <https://doi.org/10.1017/S0016756800058581>
- Rudnick R.L., Gao S. (2014) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. Vol. 4. (Ed. by H.D. Holland, K.K. Turekian). Oxford: Elsevier, 1-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>
- 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.

REFERENCES

- Akimova G.N. (1967) Cross-bedding in rocks of the Zilm-erdak Formation in the Southern Urals. *Materials on stratigraphy and tectonics of the Urals*. Leningrad, VSEGEI, 36-65. (In Russ.)
- Anfimov L.V. (1997) Lithogenesis in the Riphean sedimentary strata of the Bashkir meganticlinorium (Southern Urals). Ekaterinburg, UrO RAN, 288 p. (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. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.06.018>
- Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. (2015) Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **170**, 17-38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.001>
- Bolnar R., Kamber B.S., Moorbatch S., Whitehouse M.J., Collerson K.D. (2005) Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1555-1573. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.09.023>
- Bouchez J., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L., Dutra-Maia P. (2011) Grain size control of river suspended

- sediment geochemistry: Clues from Amazon River depth profiles. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **12**, Q03008. <https://doi.org/10.1029/2010GC003380>
- Dinis P.A., Garzanti E., Hahn A., Vermeesch P., Cabral-Pinto M. (2020) Weathering indices as climate proxies. A step forward based on Congo and SW African river muds. *Earth-Science Rev.*, **201**, 103039. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103039>
- Formation of the earth's crust of the Urals. (1986) (Ed. by S.N. Ivanov, S.G. Samygin). Moscow, Nauka Publ., 248 p. (In Russ.)
- Gaillardet J., Dupré B., Allègre C.J. (1999) Geochemistry of large river suspended sediments: Silicate weathering or recycling tracer? *Geochim. Cosmochim. Acta*, **63**, 4037-4051. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00307-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00307-5)
- Gaillardet J., Viers J., Dupré B. (2003) Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. Vol. 5. (Ed. by H.D. Holland, K.K. Turekian). Oxford: Pergamon, 225-272. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05165-3>
- Gareev E.Z. (1987) Conditions for the formation of Zilmerdak deposits according to geochemical data using the example of a stratotype section along the river. Maly Inzer (Southern Urals). *Geochemistry of sedimentary formations of the Urals*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 29-36. (In Russ.)
- Gareev E.Z. (1988) Geochemical features and sedimentation conditions of deposits of the Inzer Formation in the stratotype section in the Southern Urals. *Upper Precambrian of the Southern Urals and eastern Russian Plate*. Ufa, BFAN SSSR, 29-35. (In Russ.)
- Gareev E.Z. (1989) Geochemistry of sedimentary rocks of the Riphean stratotype section. Abstr. cand. geol. and min. sci. diss. Moscow, GEOKHI, 24 p. (In Russ.)
- Garzanti E., Padoan M., Setti M., López-Galindo A., Villa I.M. (2014) Provenance versus weathering control on the composition of tropical river mud (southern Africa). *Chem. Geol.*, **366**, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.12.016>
- Garzanti E., Padoan M., Setti M., Peruta L., Najman Y., Villa I.M. (2013a) Weathering geochemistry and Sr-Nd isotope fingerprinting of equatorial upper Nile and Congo muds. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **14**, 292-316. <https://doi.org/10.1002/ggge.20060>
- Garzanti E., Vermeesch P., Vezzoli G., Ando S., Botti E., Limonta M., Dinis P., Hahn A., Baudet D., De Grave J., Yaya N.K. (2019) Congo River sand and the equatorial quartz factory. *Earth-Science Rev.*, **197**, 102918. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102918>
- Gorokhov I.M., Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Kovach V.P., Konstantinova G.V., Turchenko T.L., Vasil'eva I.M., Arakelyants M.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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **27**(2), 3-30). <https://doi.org/10.1134/S0869593819020035>
- Karpova G.V., Timofeeva Z.V. (1975) Lithogenesis and stages of change in Riphean deposits of the Southern Urals. *Litol. Polez. Iskop.*, (2), 45-55. (In Russ.)
- Keller B.M., Weiss A.F., Gorozhanin V.M. (1984) Tolpavsky section of the Upper Precambrian (Southern Urals). *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (9), 119-124. (In Russ.)
- Kovalev S.G., Maslov A.V., Kovalev S.S., Vysotskii S.I. (2019) New data on the Sm-Nd age of picrites in the Lysogorsk complex, Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **488**(1), 1018-1021 (translated from *Dokl. AN*, **488**(1), 595-598). <https://doi.org/10.1134/S1028334X19090034>
- Kozlov V.I. (1982) Upper Riphean and Vendian of the Southern Urals. Moscow, Nauka Publ., 128 p. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Paderin I.P. (20136) 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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **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., Lepekina 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>
- Kronberg B.I., Nesbitt H.W., Fyfe W.S. (1987) Mobilities of alkalis, alkaline earths and halogens during weathering. *Chem. Geol.*, **60**, 41-49. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90108-2)
- Krupenin M.T., Larionov N.N., Gulyaeva T.Ya., Demchuk I.G. (2002) New data on the features of sedimentation in the basins of the Avzyan time of the Middle Riphean. *Tr. IGG URO RAN*, vyp. 149, 43-49. (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. *Precambrian Res.*, **298**, 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.06.011>
- Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Kaurova O.K., Krupenin M.T., Maslov A.V. (2003) Sr isotope characteristics and Pb-Pb age of limestones of the Bakal Formation (type section of the Lower Riphean, Southern Urals). *Dokl. AN*, **391**(6), 794-798. (In Russ.)
- 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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **16**(2), 16-34). <https://doi.org/10.1134/S0869593808020020>
- Lower Riphean of the Southern Urals. (1989) (Ed. by M.A. Semikhatov). Moscow, Nauka Publ., 208 p. (In Russ.)
- Map of Precambrian formations of the Russian Platform and its folded framing (with removed Phanerozoic sediments). (1983) Scale 1 : 2.500.000. Explanatory note. Leningrad, VSEGEI, 172 p. (In Russ.)
- Maslov A.V. (1988) Lithology of the Upper Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium. Moscow, Nauka Publ., 133 p. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2020) Provenance Types of the Upper Precambrian Deposits of Volga-Ural Region. *Vestn. Perm. unta. Geologiya*, **19**(2), 101-110. <https://doi.org/10.17072/psu.geol/19.2.101>. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2019) To reconstruction of the river's categories which formed sedimentary basins of Riphean basins

- in the region of the Eastern European platform and modern South Urals juncture. *Izv. Vuzov. Geologiya i Razvedka*, (5), 28-36. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-5-28-36>. (In Russ.)
- Maslov A.V., Erokhin Y.V., Gerdes A., Ronkin Y.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). <https://doi.org/10.1134/S1028334X18100136>
- Maslov A.V., Gareev E.Z. (1988) Lithological and geochemical features of the Upper Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium in the Southern Urals. *Sov. Geol.*, (2), 57-66. (In Russ.)
- Maslov A.V., Gareev E.Z. (1999) Petrochemical features of Late Precambrian sedimentary associations of the Bashkir meganticlinorium. *Litol. Polez. Iskop.*, (1), 78-91. (In Russ.)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Demchuk I.G. (1999) Thin-grained aluminosiliconclastics in the Upper Precambrian section of the Bashkir meganticlinorium (towards the reconstruction of formation conditions). Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 324 p. (In Russ.)
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Goj Yu.Yu. (2013) Primitive paleosols in South Urals Zilmerdak Formation (structural and lithogeochemical aspects). *Lithosphere (Russia)*, (2), 45-64. (In Russ.)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z. (2003) Lithological, lithochemical and geochemical indicators of paleoclimate (using the example of the Riphean of the Southern Urals). *Litol. Polez. Iskop.*, (5), 427-446. (In Russ.)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimentation and lithogenesis, minerageny, geological natural monuments). 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.Y., 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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **30**(1), 33-54). <https://doi.org/10.1134/S0869593822010038>
- Maslov A.V., Olovyanishnikov V.G., Isherskaya M.V. (2002) Riphean of the eastern, northeastern and northern periphery of the Russian Platform and the 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. (2023a) Chemical Weathering Indexes: Implication for Paleoclimatic Reconstructions, with the Vendian-Lower Cambrian Section of Podolian Transnistria as Example. *Lithol. Miner. Res.*, **58**(3), 213-234 (translated from *Litologiya i Polez. Iskopaemye*, (3), 249-273). <https://doi.org/10.1134/S0024490222700043>
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N. (2023b) Intensity of Chemical Weathering in the Late Precambrian: New Data on the Riphean Stratotype, South Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **31**(1), 1-16 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **31**(2), 3-21). <https://doi.org/10.1134/S0869593823020065>
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Graunov O.V. (2016) Paleoclimate changes in the Late Precambrian: Evidence from the Upper Precambrian section of the South Urals. *Lithol. Miner. Res.*, **51**(2), 117-135 (translated from *Litologiya i Polez. Iskopaemye*, (2), 129-149). <https://doi.org/10.1134/S002449021602005X>
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Nesbitt H.W., Markovics G., Price R.C. (1980) Chemical processes affecting alkalis and alkali earths during continental weathering. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 1659-1666. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90218-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90218-5)
- 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). <https://doi.org/10.1134/S1028334X13080047>
- Ovchinnikova G.V., Vasilyeva I.M., Semikhatov M.A. (2000) Possibilities of Pb-Pb dating of carbonate rocks with open U-Pb systems: Minyar Formation of the Upper Riphean stratotype, Southern Urals. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **8**(6), 3-19. (In Russ.)
- Ovchinnikova G.V., Vasilyeva G.V., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Gorokhovskiy B.M., Levsky L.K. (1998) U-Pb systematics of Proterozoic carbonate rocks: Inzer Formation of the Ural Riphean stratotype (Southern Urals). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **6**(4), 20-31. (In Russ.)
- Parker A. (1970) An index of weathering for silicate rocks. *Geol. Mag.*, **107**, 501-504. <https://doi.org/10.1017/S0016756800058581>
- Parnachev V.P. (1987) Fluorine and chlorine in Late Precambrian sedimentary rocks of the Bashkir meganticlinorium in connection with issues of their sedimentation. *Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 35-46. (In Russ.)
- Parnachev V.P. (1988) Magmatism and sedimentation in the Late Precambrian history of the Southern Urals. Abstr. dokt. geol. and min. sci. diss. Sverdlovsk, IGG UrO RAN, 33 p. (In Russ.)
- Podkovyrov V.N., Gareev E.Z. (1995) Evolution of the composition of terrigenous rocks of the Yurmatinsky series of the Riphean of the Southern Urals. *Geological study and use of subsoil*. Scientific and technical information sat. Vol. 1. Moscow, Geoinformmark Publ., 25-36. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2005) Evolution of the lithosphere: from the Pechora Ocean to the Timan Orogen, from the Paleoural Ocean to the Ural Orogen. *Problems of tectonics of Central Asia*. Moscow, GEOS Publ., 309-342. (In Russ.)
- Puchkov V.N. Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, DesignPoligraphService Publ., 2010. 280 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2018) The Plumes – a new word in Geology of the Urals. *Lithosphere (Russia)*, **18**(4), 483-499. (In Russ.)
- Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology. (1983)

- (Ed. by B.M. Keller, N.M. Chumakov). Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russ.)
- Ronov A.B. (1993) Stratisphere, or sedimentary shell of the Earth (quantitative study). Moscow, Nauka Publ., 144 p. (In Russ.)
- Rudnick R.L., Gao S. (2014) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. Vol. 4. (Ed. by H.D. Holland, K.K. Turekian). Oxford, Elsevier, 1-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>
- Savenko V.S. (2006) Chemical composition of suspended sediments from rivers around the world. Moscow, GEOS Publ., 174 p. (In Russ.)
- Semikhatov M.A., Chumakov N.M., Kuznetsov A.B. (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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **23**(6), 16-27). <https://doi.org/10.1134/S0869593815060088>
- Shirobokova T.I. (1992) Stratiform polymetallic and barite mineralization of the Urals. Sverdlovsk, UrO RAN, 137 p. (In Russ.)
- Stratigraphic Code of Russia. (2019) (Ed. by A.I. Zhamoïda). St.Petersburg, VSEGEI, 96 p. (In Russ.)
- Sul'man A.M., Demchuk I.G. (1978) Clay minerals in Riphean sedimentary deposits of the Bashkir meganticlinorium. *Precambrian strata of the Bashkir meganticlinorium in the Urals and their metallogeny*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 16-24. (In Russ.)
- Sul'man A.M., Demchuk I.G., Petrishcheva V.G. (1974) New data on the mineral composition of clay shales of the Bakal Formation in the Southern Urals. *Tr. IGG UrO RAN*, vyp. 122, 26-27. (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.
- 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) Mössbauer 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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **16**(3), 3-25). <https://doi.org/10.1134/S0869593808030015>
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Adamskaya E.V., Plotkina Y.V., Sergeeva N.D. (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. NAN. Nauki o Zemle*, **503**(2), 90-96). <https://doi.org/10.1134/S1028334X22040195>
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Konstantinova G.V., Gorozhanin V.M., Ivanovskaya T.A. (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 *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **27**(5), 82-96). <https://doi.org/10.1134/S0869593819050083>