
Научная статья

УДК 550.4

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-1

ГРАНИЦА ЮРМАТИНИЯ И КАРАТАВИЯ В СТРАТОТИПЕ РИФЕЯ: СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД АВЗЯНСКОЙ СВИТЫ И БИРЬЯНСКОЙ ПОДСВИТЫ ЗИЛЬМЕРДАКСКОЙ СВИТЫ

А. В. Маслов

*Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,
450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, amas2004@mail.ru*

Проанализированы результаты сопоставления различных индикаторных отношений редких и рассеянных элементов-показателей состава пород палеоводосборов для глинистых пород авзянской свиты среднего рифея и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал), разделенных перерывом, максимальная длительность которого может достигать 250 млн лет. В основу исследования положены сведения о содержании редких и рассеянных элементов в 28 и 16 образцах глинистых/тонкозернистых обломочных пород соответственно авзянской свиты и бирьянской подсвиты из коллекций Э.З. Гареева и автора, полученные методом ИСП-МС в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Распределение индивидуальных и средних фигуративных точек глинистых пород названных объектов на диаграммах La/Sc — Th/Co, Sc — Th/Sc, Eu/Eu* — Th/Sc, Ni — V — 10*Th, Th — La — Sc, Y/Ni — Cr/V, Cr/Th — Th/Sc и Hf — La/Th в существенной степени сопоставимо. Сопоставимы также нормированные по хондриту спектры распределения редкоземельных элементов. Только на диаграмме Th — Th/U распределение фигуративных точек имеет несколько отличающийся вид. Это, либо указывает на неизменность состава палеоводосборов на протяжении почти четверти миллиарда лет, либо дает основание предполагать, что длительность предверхнерифейского перерыва была не столь велика, либо «хромает» авторская аналитика, либо есть иные причины.

Ключевые слова: Южный Урал, Башкирский мегантиклинорий, граница среднего и верхнего рифея, состав источников сноса, тонкозернистые обломочные породы, геохимия

Благодарности: Автор искренне признателен Э.З. Гарееву за возможность использования его коллекции образцов глинистых пород рифея.

Для цитирования: А. В. Маслов. Граница юрматиния и каратавия в стратотипе рифея: сопоставление геохимических особенностей глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты // Геологический вестник. 2023. №3. С. 3–12. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-1

For citation: A. V. Maslov (2023) Yurmatinian/Karatavian boundary in the Riphean stratotype: comparison of the geochemical features of clay rocks of Avzyan Formation and Biryany Subformation of Zilmerdak Formation. *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 3. P. 3–12. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-1

© А. В. Маслов, 2023

Original article

YURMATINIAN/KARATAVIAN BOUNDARY IN THE RIPHEAN STRATOTYPE: COMPARISON OF THE GEOCHEMICAL FEATURES OF CLAY ROCKS OF AVZYAN FORMATION AND BIRYAN SUBFORMATION OF ZILMERDAK FORMATION

A. V. Maslov

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, amas2004@mail.ru

The results of a comparison of various indicator ratios of trace elements-indicators of the composition of provenances for clay rocks of the Middle Riphean Avzyan Formation and the Upper Riphean Biryán Subformation of the Zilmerdak Formation (Bashkirian meganticlinorium, Southern Urals) are analyzed. The formation of these two objects is separated by a hiatus, the maximum duration of which can reach 250 Ma. The study is based on data on the content of trace elements in 28 and 16 samples of clay/fine-grained clastic rocks, respectively, of the Avzyan Formation and the Biryán Subformation from the collections of E. Z. Gareev and the author, obtained by the ICP-MS method at the IGG Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg). Distribution of individual and average data points of clay rocks of named objects on diagrams La/Sc — Th/Co, Sc — Th/Sc, Eu/Eu* — Th/Sc, Ni — V — 10*Th, Th — La — Sc, Y/Ni — Cr/V, Cr/Th — Th/Sc, and Hf — La/Th are largely comparable. The spectra of rare earth elements normalized to chondrite are also comparable. Only on the Th — Th/U diagram the distribution of the data points has a slightly different form. This either indicates the invariance of the composition of the provenances for almost 250 Ma, or suggests that the duration of the pre-Upper Riphean hiatus was not so long, or the author's analytics is "lame", or there are other reasons.

Keywords: Southern Urals, Bashkirian meganticlinorium, Middle and Upper Riphean boundary, provenances, fine-grained clastic rocks, geochemistry

Acknowledgements: The author is sincerely grateful to E. Z. Gareev for the opportunity to use his collection of Riphean clay rocks for geochemical studies.

Введение

Как показано в публикации [Маслов и др., 2022] на основе анализа РЗЭ и Sm-Nd-систематики глинистых пород стратотипа рифея, формирование осадочных последовательностей бурзянской и юрматинской серий стратотипа рифея шло преимущественно за счет продуктов размыва зрелой континентальной коры Восточно-Европейской платформы. Предпозднерифейский перерыв, длительность которого могла составлять, по максимальной оценке, около 250 млн лет, привел, по-видимому, к существенному изменению состава питающих провинций. Рост $\epsilon_{Nd}(t)$ среднее до -6.5 и снижение $t_{Nd}(DM)$ среднее до 2.1 млрд лет в глинистых породах бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея по сравнению с подстилающими их отложениями авзянского уровня среднего рифея (здесь $\epsilon_{Nd}(t)$ варьирует от -12.3 до -9.3 , а средняя величина равна -10.4 ; $t_{Nd}(DM)$ среднее = 2.5 млрд лет, разброс значений 2.7–2.4 млрд лет) (рис. 1) предполагают появление в это время в области размыва

пород ювенильной коры. Вместе с тем глинистые породы более молодого — нугушского уровня зильмердакской свиты — обладают величинами $t_{Nd}(DM)$ от 2.4 до 2.3 млрд лет. Для глинистых пород бедерышинской подсвиты этой же свиты данный параметр варьирует примерно в тех же пределах: от 2.4 до 2.2 млрд лет. Значения $\epsilon_{Nd}(t)$ для тонкозернистых обломочных образований нугушской ($-10.9... -9.5$) и бедерышинской ($-12.9... -8.0$) подсвит сопоставимы с величиной данного параметра для глинистых сланцев авзянской свиты [Маслов и др., 2022]. Приведенные в указанной работе средние величины $(La/Yb)_N$ для глинистых сланцев авзянской свиты и бирьянской подсвиты в достаточной степени сопоставимы (8.4 ± 3.9 , $2.9...15.2$ и 6.5 ± 2.2 , $2.0...11.0$).

Фактический материал

В настоящей публикации выполнено сравнение значений ряда индикаторных отношений редких и рассеянных элементов и анализ рас-

пределения нормированных на хондрит [Taylor, McLennan, 1985] содержаний редкоземельных элементов (все — индикаторы состава пород в областях размыва [Маслов и др., 2020]) в глинистых сланцах авзянской свиты среднего рифея и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея. Цель такого исследования — сопоставление состава пород на палеоводосборах до и после предпозднерифейского перерыва. Сделано это на основе данных о содержании редких и рассеянных элементов, полученных соответственно для 28 и 16 образцов глинистых/тонкозернистых обломочных пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты (коллекции Э.З. Гареева и автора), методом ИСП-МС в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург). Сведения о среднем, минимальном и максимальном содержании ряда редких и рассеянных элементов и значениях их индикаторных отношений для глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты приведены в табл. 1. Геологические соотношения авзянской

и зильмердакской свит на территории Башкирского мегантиклинория подробно рассмотрены в монографии [Маслов, Анфимов, 2000] и здесь на них мы не останавливаемся.

Обсуждение фактического материала

На диаграмме Zr/Sc — Th/Sc [McLennan et al., 1993], позволяющей судить о том, каким (петрогенным или литогенным) материалом сложены тонкозернистые обломочные породы, точки индивидуальных образцов глинистых сланцев авзянской свиты и бирьянской подсвиты расположены в основном в области тренда, определяемого составом пород в областях размыва (рис. 2 а); некоторая часть точек тяготеет к тренду рециклинга. Средние точки глинистых пород обоих объектов локализованы у тренда, свойственного глинистым породам первого седиментационного цикла (см. рис. 2 б). Таким образом, можно считать, что рассматриваемая нами совокупность образцов имеет петрогенную природу и отражает состав пород-источников тонкой алюмосиликокластики. Перекрытие между областями точек состава и индивидуальных образцов и средними точками глинистых пород обоих рассматриваемых нами объектов с учетом величин стандартных отклонений ($\pm 1s$) на данной диаграмме существенное.

На графике La/Sc — Th/Co [Cullers, 2002] подавляющее большинство индивидуальных точек глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты расположено в области значений, характерных для продуктов размыва кислых магматических пород (см. рис. 2 в). Только весьма небольшая часть точек состава глинистых сланцев авзянской свиты имеет относительно небольшие значения Th/Co, что смещает их в сторону области продуктов размыва основных магматических пород. В целом, перекрытие полей индивидуальных фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород обоих свит весьма существенное. Средние точки глинистых пород обоих объектов локализованы в области продуктов размыва кислых магматических пород и с учетом величин стандартных отклонений достаточно близки друг другу (см. рис. 2 г).

То, что и в авзянское и в бирьянское время размыв на палеоводосборах затрагивал преимущественно кислые породы, следует и из распределения фигуративных точек индивидуальных образцов глинистых сланцев обоих объектов на диаграммах Ni — V — Th [Braccialli et al., 2007] (рис. 3 а)

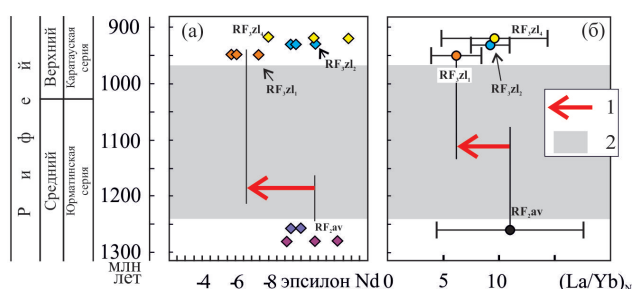


Рис. 1. Вариации величин $\epsilon_{Nd}(t)$ (а) и $(La/Yb)_{Naverage}$ (б) в глинистых породах авзянской свиты юрматинской серии среднего рифея и зильмердакской свиты каратавской серии верхнего рифея, по [Маслов и др., 2022] с изменениями

Условные обозначения: 1 — направление резкого изменения параметров; 2 — предполагаемая максимальная длительность перерыва на границе среднего и верхнего рифея.

RF_{2av} — авзянская свита; RF_{3zl1} — бирьянская подсвита зильмердакской свиты; RF_{3zl2} — нугушская подсвита той же свиты; RF_{3zl4} — бедерышинская подсвита той же свиты.

Fig. 1. Variations of the $\epsilon_{Nd}(t)$ (a) and $(La/Yb)_{Naverage}$ (b) in clay rocks of the Middle Riphean Avzyan Formation (Yurmatau Group) and the Upper Riphean Zilmerdak Formation (Karatau Group), after [Maslov et al., 2022] with modifications

Legend: 1 — the direction of a sharp change in parameters; 2 — the estimated maximum duration of the hiatus at the boundary of the Middle and Upper Riphean.

RF_{2av} — Avzyan Formation; RF_{3zl1} — Biryann Subformation of the Zilmerdak Formation; RF_{3zl2} — Nugush Subformation of the same formation; RF_{3zl4} — the Bederysh Subformation of the same formation.

и Th — La — Sc [Cullers, Podkovyrov, 2002] (см. рис. 3 б).

На диаграмме Sc — Th/Sc [Taylor, McLennan, 1985 и ссылки там] перекрытие полей индивидуальных точек глинистых сланцев обоих объектов также существенное (см. рис. 2 д). Средние составы глинистых пород и авзянской свиты, и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты с учетом величин $\pm 1s$ можно считать в существенной степени сопоставимыми (см. рис. 2 е). Источниками тонкозернистой алюмосиликокластики для глинистых пород обоих объектов, исходя из распределения

точек состава на данном графике, являлись пород, сходные по своему составу с породами архейских тоналит-гранодит-гранитных ассоциаций и средним постархейским австралийским глинистым сланцем (PAAS [Taylor, McLennan, 1985]).

Такой же вывод можно сделать из анализа распределения фигуративных точек на диаграмме Eu/Eu* — Th/Sc [Cullers, Podkovyrov, 2002] (см. 2 ж, з). На данном графике поля, образуемые индивидуальными точками состава обоих объектов, как и на других диаграммах, обладают существенным перекрытием.

Таблица 1. Среднее содержание (и величины стандартных отклонений) ряда редких и рассеянных элементов и значения индикаторных отношений для тонкозернистых обломочных пород авзянской свиты среднего рифея и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея Башкирского мегантиклинория
Table 1. Average content (and standard deviations) of trace elements and values of indicator ratios for fine-grained clastic rocks of the Avzyan Formation of the Middle Riphean and the Biryán subformation of the Zilmerdak Formation of the Upper Riphean (Bashkirian meganticlinorium)

Компонент, мкг/г	Авзянская свита	Бирьянская подсвита зильмердакской свиты	Компонент, мкг/г, индикаторное отношение	Авзянская свита	Бирьянская подсвита зильмердакской свиты
Sc	$\frac{11.24 \pm 6.84}{1.99-30.67}$	$\frac{12.72 \pm 6.49}{0.78-24.59}$	Er	$\frac{1.43 \pm 0.82}{0.36-3.09}$	$\frac{3.47 \pm 1.75}{0.14-7.74}$
V	$\frac{68.46 \pm 32.22}{13.73-159.89}$	$\frac{108.39 \pm 34.71}{68.25-197.35}$	Yb	$\frac{1.48 \pm 0.81}{0.39-3.25}$	$\frac{3.43 \pm 1.63}{0.19-7.07}$
Cr	$\frac{83.61 \pm 42.57}{24.89-195.03}$	$\frac{118.27 \pm 69.06}{70.61-355.17}$	Hf	$\frac{5.06 \pm 1.72}{0.48-8.38}$	$\frac{6.19 \pm 1.58}{4.11-9.64}$
Co	$\frac{7.99 \pm 4.27}{2.07-19.56}$	$\frac{9.81 \pm 3.85}{1.10-18.77}$	Th	$\frac{7.05 \pm 4.39}{0.93-16.69}$	$\frac{12.91 \pm 5.16}{0.66-19.74}$
Ni	$\frac{27.93 \pm 13.46}{13.51-57.30}$	$\frac{46.48 \pm 29.72}{14.62-143.48}$	U	$\frac{1.62 \pm 0.62}{0.23-2.84}$	$\frac{4.82 \pm 1.80}{0.71-7.91}$
Y	$\frac{9.72 \pm 10.79}{1.03-33.03}$	$\frac{31.84 \pm 21.24}{0.53-88.13}$	Zr/Sc	$\frac{17.24 \pm 13.72}{1.03-55.53}$	$\frac{18.28 \pm 9.35}{9.91-41.39}$
Zr	$\frac{133.36 \pm 57.33}{23.51-270.62}$	$\frac{212.94 \pm 68.59}{95.66-387.56}$	Th/Sc	$\frac{0.69 \pm 0.27}{0.04-1.24}$	$\frac{1.07 \pm 0.23}{0.73-1.58}$
La	$\frac{18.78 \pm 13.41}{2.97-44.84}$	$\frac{36.37 \pm 23.75}{0.55-87.11}$	Cr/Th	$\frac{15.02 \pm 8.79}{4.95-48.35}$	$\frac{8.99 \pm 4.09}{4.85-19.83}$
Ce	$\frac{41.23 \pm 27.6}{7.02-94.31}$	$\frac{79.75 \pm 48.87}{2.13-201.09}$	Th/U	$\frac{4.65 \pm 2.66}{0.76-9.46}$	$\frac{2.72 \pm 0.94}{0.94-4.33}$
Pr	$\frac{5.11 \pm 3.06}{0.96-10.98}$	$\frac{9.50 \pm 5.90}{0.25-23.84}$	Y/Ni	$\frac{0.29 \pm 0.24}{0.03-1.04}$	$\frac{0.72 \pm 0.47}{0.04-2.05}$
Nd	$\frac{19.95 \pm 11.38}{3.81-40.30}$	$\frac{37.17 \pm 21.79}{1.23-90.41}$	Cr/V	$\frac{1.25 \pm 0.32}{0.79-2.12}$	$\frac{1.16 \pm 0.73}{0.49-3.52}$
Sm	$\frac{3.67 \pm 2.08}{0.63-7.41}$	$\frac{7.39 \pm 3.88}{0.32-15.14}$	La/Th	$\frac{2.73 \pm 1.37}{0.99-8.11}$	$\frac{2.58 \pm 0.91}{0.84-4.54}$
Eu	$\frac{0.74 \pm 0.42}{0.14-1.49}$	$\frac{1.40 \pm 0.74}{0.05-3.03}$	La/Sc	$\frac{1.85 \pm 1.13}{0.30-5.85}$	$\frac{2.74 \pm 1.04}{0.71-5.60}$
Gd	$\frac{2.85 \pm 1.72}{0.42-6.67}$	$\frac{6.27 \pm 3.46}{0.20-14.40}$	Th/Co	$\frac{0.98 \pm 0.53}{0.10-2.43}$	$\frac{1.38 \pm 0.62}{0.60-3.03}$
Dy	$\frac{2.37 \pm 1.44}{0.55-5.40}$	$\frac{5.94 \pm 3.11}{0.18-13.73}$	Eu/Eu*	$\frac{0.71 \pm 0.07}{0.57-0.83}$	$\frac{0.63 \pm 0.04}{0.57-0.72}$

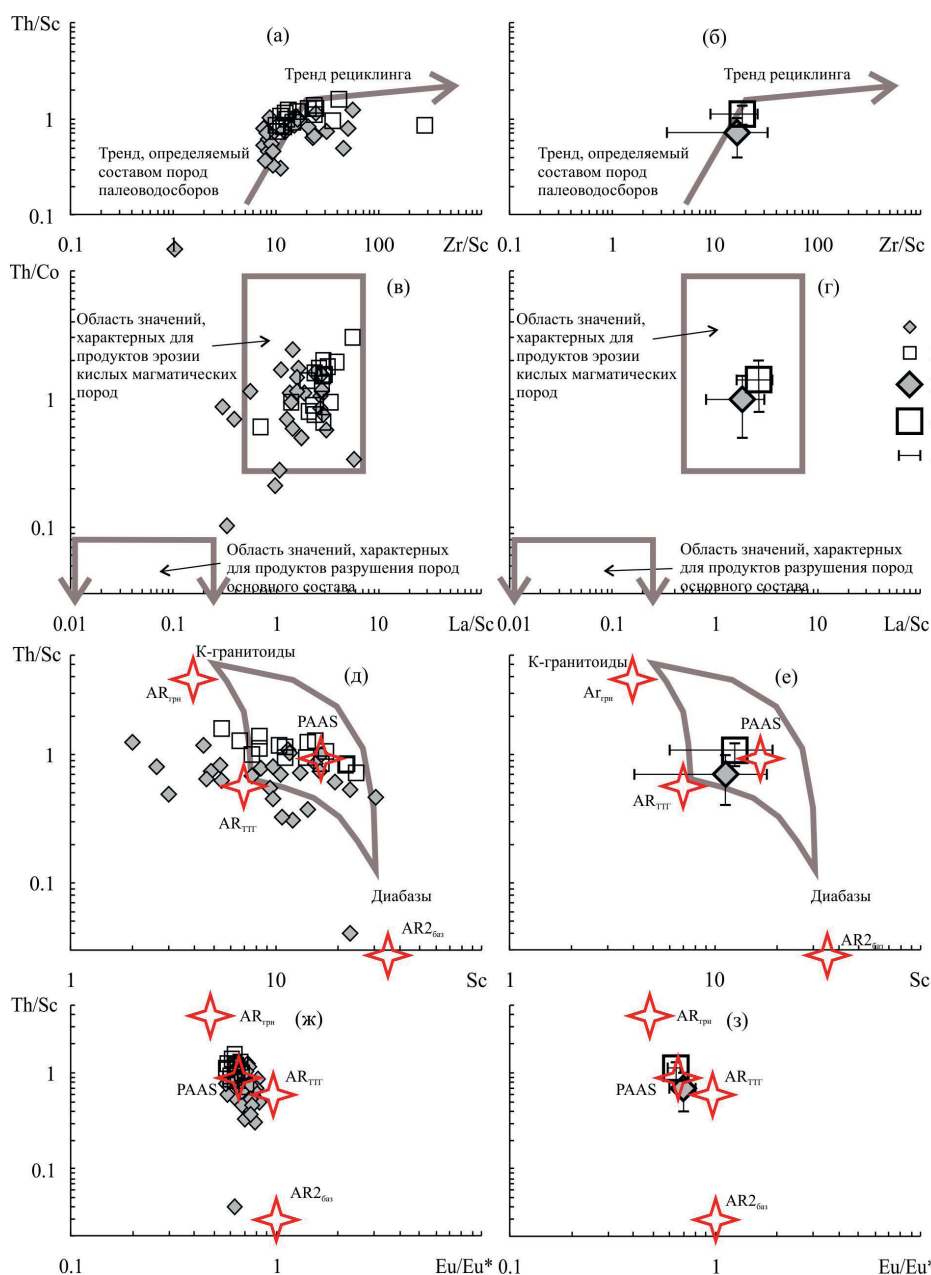


Рис. 2. Положение индивидуальных (а, в, д, ж) и средних (б, г, е, з) точек глинистых пород авзынской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты на диаграммах Zr/Sc — Th/Sc, La/Sc — Th/Co, Sc — Th/Sc и Eu/Eu* — Th/Sc

Условные обозначения: 1 — глинистые сланцы авзынской свиты, индивидуальные образцы; 2 — то же, бирьянская подсвита; 3 — среднее значение параметра для анализируемой в данной работе выборки образцов глинистых пород авзынской свиты; 4 — то же для тонкозернистых обломочных пород бирьянской подсвиты; 5 — величина стандартного отклонения ($\pm 1\sigma$). Средние точки референтных составов магматических пород и PAAS (красные звездочки), по [Condie, 1993]: AR_{баз} — позднеархейские базальты, AR_{ТТТ} — архейские тоналит-тронджемит-гранитовые ассоциации, AR_{грн} — архейские гранитоиды.

Fig. 2. Position of individual (а, в, д, ж) and average (б, г, е, з) points of clay rocks of the Avzyan Formation and the Biryann Subformation of the Zilmerdak Formation on the diagrams Zr/Sc — Th/Sc, La/Sc — Th/Co, Sc — Th/Sc and Eu/Eu* — Th/Sc

Legend: 1 — shales of the Avzyan Formation, individual samples; 2 — the same, Biryann Subformation; 3 — average value of the parameter for the sample of clay rocks of the Avzyan Formation analyzed in this work; 4 — the same for fine-grained clastic rocks of the Biryann Subformation; 5 — standard deviation ($\pm 1\sigma$).

Average data points of reference compositions of igneous rocks and PAAS (red asterisks), according to [Condie, 1993]: AR_{баз} — Late Archean basalts; AR_{ТТТ} — Archean tonalite — trondjemite — granite associations; AR_{грн} — Archean granitoids.

Перекрытие между полями индивидуальных точек состава глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты имеет существенную величину и на графике $Y/Ni - Cr/V$ [McLennan et al., 1993 и ссылки там] (рис. 4 а, б). Относительно небольшие значения параметра Cr/V предполагают отсутствие среди пород-источников тонкой алюмосиликокластики компонентов офиолитовой ассоциации.

Соотношение в глинистых сланцах таких индикаторных отношений, как Cr/Th и Th/Sc , позволяет считать, что доля продуктов разрушения основных пород в породах авзянской свиты варьирует от 10 до 60%, а в породах бирьянской подсвиты — от 0–5 до 50% (см. рис. 4 в). На несколько большую долю продуктов эрозии пород основного состава в глинистых сланцах авзянского уровня указывает и положение на диаграмме $Cr/Th - Th/Sc$ средних точек тонкозернистых обломочных пород рассматриваемых нами уровней стратотипа рифея (см. рис. 4 г).

На размыв на палеоводосборах и в авзянское, и в бирьянское время преимущественно пород

кислого состава указывает и размещение индивидуальных и средних фигуративных точек глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты на диаграмме $Hf - La/Th$ [Floyd, Leveridge, 1987] (см. рис. 4 д, е).

Определенное сходство в распределении индивидуальных фигуративных точек глинистых пород обоих объектов есть и на графике $Th - Th/U$ [McLennan et al., 1993 и ссылки там] (см. рис. 4 ж). В то же время все глинистые сланцы бирьянской подсвиты характеризуются значениями $Th/U < 4$, что предполагает близость их состава к составу такого специфического источника, как деплетированная мантия. Среди глинистых сланцев авзянской свиты есть примерно половина образцов с $Th/U < 4$, другая же их половина обладает значениями $Th/U > 4$, что указывает на вклад в их состав и пород верхней континентальной коры (см. рис. 4 з). Таким образом, из всех рассмотренных нами выше диаграмм, только распределение точек состава глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты на данном графике согласуется с предположением о вкладе продуктов размыва

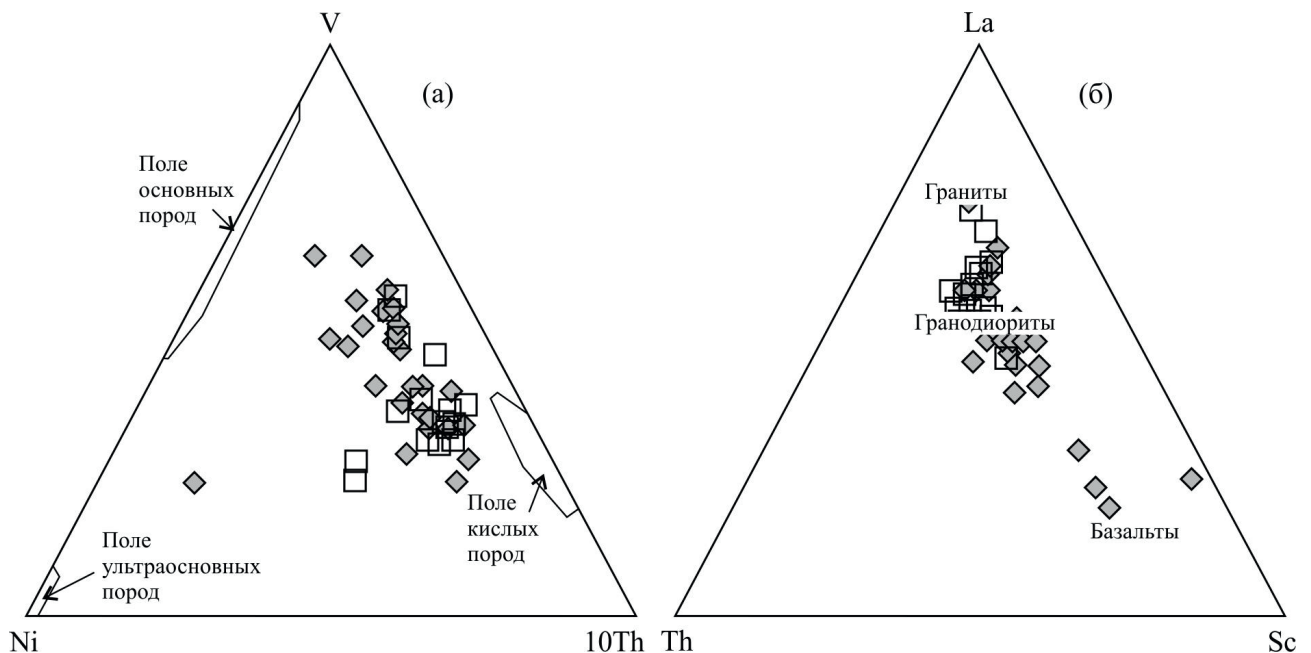


Рис. 3. Распределение точек состава индивидуальных образцов глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты на диаграммах $Ni - V - 10*Th$ (а) и $Th - La - Sc$ (б)

Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 3. Distribution of data points for individual samples of clay rocks of the Avzyan Formation and the Biryan Subformation of the Zilmerdak Formation on the $Ni - V - 10*Th$ (a) and $Th - La - Sc$ (b) diagrams

Legend see fig. 2.

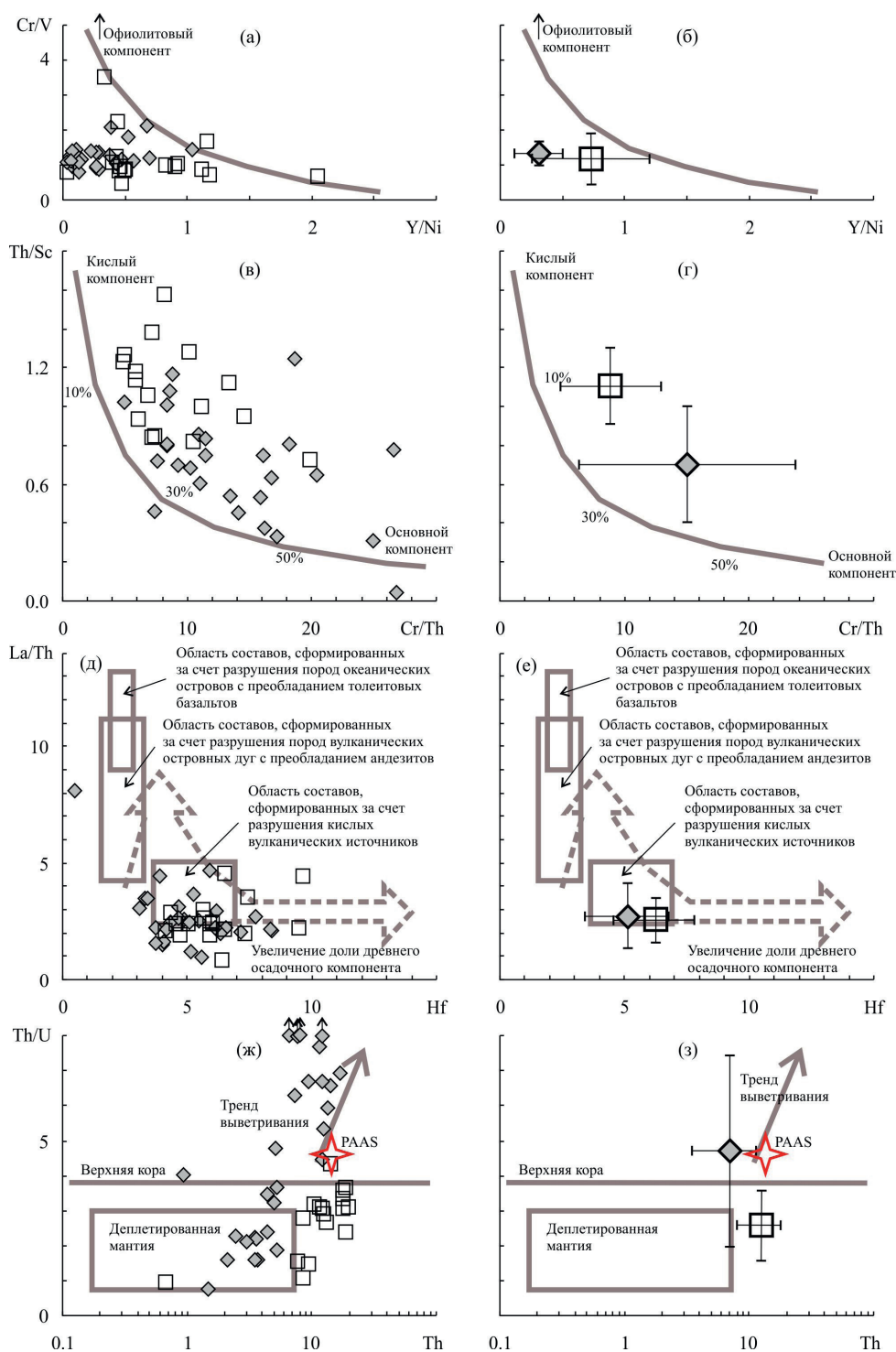


Рис. 4. Локализация индивидуальных (а, в, д, ж) и средних (б, г, е, з) точек глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты на диаграммах Y/Ni — Cr/V, Cr/Th — Th/Sc, Hf — La/Th и Th — Th/U

Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 4. Localization of individual (a, в, д, ж) and average (б, г, е, з) data points of argillaceous rocks of the Avzyan Formation and the Biryann Subformation of the Zilmerdak Formation on the Y/Ni — Cr/V, Cr/Th — Th/Sc, Hf — La/Th and Th — Th/U diagrams

Legend see fig. 2.

пород ювенильной коры в состав тонкозернистых обломочных образований базальных уровней каратауской серии [Маслов и др., 2022].

Среднее содержание РЗЭ в глинистых сланцах авзянской свиты составляет 101.9 ± 61.3 мкг/г (минимум — 26.3, максимум — 216.7 мкг/г). Глинистые породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты характеризуются примерно в 2 раза более высокой суммой РЗЭ (200.8 ± 104.9 мкг/г). Минимальная величина суммы РЗЭ равна для них 96.3, а максимальная достигает 452.1 мкг/г. Напомним, что сумма РЗЭ для ПААС составляет 184.8 мкг/г. Средняя величина $(La/Yb)_N$ для глинистых сланцев авзянской свиты составляет 8.35 ± 3.88 (минимум — 2.90, максимум — 15.16). Для тонкозернистых обломочных пород бирьянской подсвиты данный параметр несколько ниже и равен 6.73 ± 1.94 (минимум — 3.38, максимум — 10.96). Это дает основание предполагать, что глинистые

породы основания верхнего рифея сложены несколько большим количеством продуктов эрозии основных магматических пород, чем глинистые породы авзянской свиты, завершающей разрез юрматинской серии на Южном Урале. Исходя из средних значений $(Gd/Yb)_N$ деплетирование ТРЗЭ для глинистых сланцев обоих объектов не характерно (соответственно: авзянский уровень — 1.64 ± 0.54 , бирьянский уровень — 1.42 ± 0.27), но максимальное значение $(Gd/Yb)_N$ в исследуемой нами выборке тонкозернистых обломочных пород авзянской свиты достигает 2.61, тогда как для глинистых пород бирьянской подсвиты оно заметно меньше (1.96). Значение Eu/Eu^* в авзянских глинистых сланцах варьирует от 0.58 до 0.81 (среднее — 0.71 ± 0.06), в глинистых породах бирьянской подсвиты зильмердакской свиты Eu/Eu^* среднее равно 0.62 ± 0.06 (минимум — 0.48, максимум — 0.72). По большинству названных

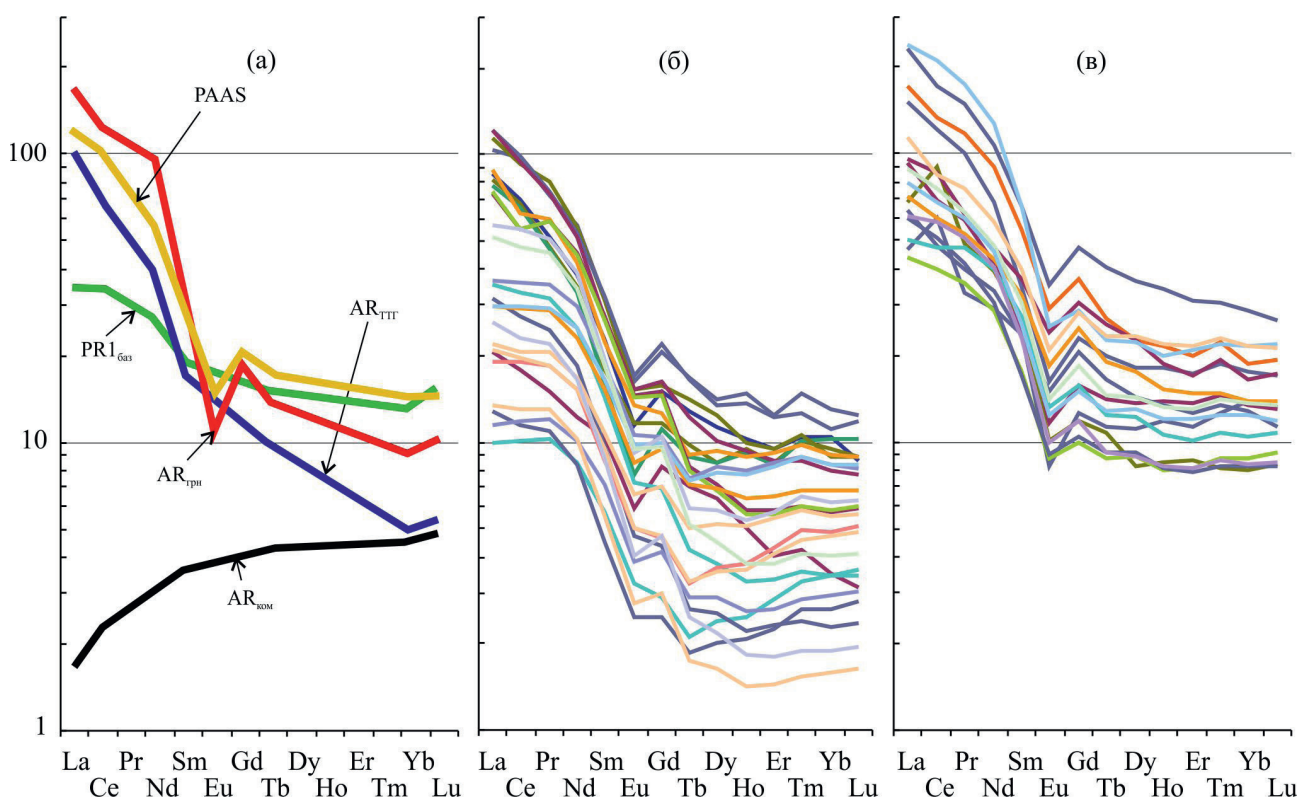


Рис. 5. Нормированные к хондриту спектры РЗЭ в различных референтных магматических породах и ПААС (а) и распределение нормированных по хондриту лантаноидов в глинистых породах авзянской свиты (б) и бирьянской подсвиты (в) зильмердакской свиты

Условные обозначения: $AR_{ком}$ — архейские коматииты; $PR1_{баз}$ — раннепротерозойские базальты, все по [Condie, 1993]. Остальные условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 5. Chondrite-normalized REE spectra in various reference igneous rocks and PAAS (a) and distribution of chondrite-normalized lanthanides in clay rocks of the Avzyan Formation (б) and the Biryan Subformation (в) of the Zilmerdak Formation

Legend: $AR_{ком}$ — Archean komatiites; $PR1_{баз}$ — Early Proterozoic basalts, all after [Condie, 1993]. Other symbols see fig. 2.

параметров нормированные к хондриту спектры распределения РЗЭ обоих объектов довольно похожи друг на друга и близки к спектру PAAS (рис. 5), характеризующемуся следующими значениями: $(La/Yb)_N$ — 9.15, $(Gd/Yb)_N$ — 1.34 и Eu/Eu^* — 0.65.

Заключение

Существует несколько подходов к написанию научных работ. В одном случае Вы пишете статью, когда уже известны полностью результаты исследований и понятны выводы. В другом случае Вы отдаетесь на волю Искусственного Интеллекта (кажется, это сейчас начинает входить в тренд), наконец, в-третьих, выводы делаются по мере подготовки иллюстраций и составления таблиц. Наш случай ближе как раз к последнему варианту. Проблема перерывов в стратотипе рифея не нова (когда-то, лет 40 назад, перед исследователями стояла задача показать/обосновать отсутствие перерывов в стратотипе. Сейчас, напротив, важно посмотреть — есть ли кардинальные перестройки в областях питания и в областях осадконакопления в предсреднерифейский, предпозднерифейский и другие перерывы разной длительности). Компонуя аналитические выборки к данной работе, автор искренне надеялся увидеть существенное различие многих геохимических параметров глинистых пород авзянской свиты среднего рифея и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея, формирование которых разделено перерывом, длительность которого по максимальным оценкам составляет порядка 250 млн лет. Однако по большинству рассмотренных здесь индикаторных соотношений тонкозернистые обломочные породы обоих объектов в существенной степени сопоставимы. Это либо указывает на неизменность состава палеоводосборов на протяжении более четверти миллиарда лет, что довольно странно, либо предполагает, что длительность предпозднерифейского перерыва была не слишком велика (косвенно об этом свидетельствует тот факт, что предзильмердакский размыв не затронул разные уровни авзянской свиты, а ограничился, по всей видимости, только тюльменской ее толщей [Маслов, Анфимов, 2000]), либо «хромает» авторская аналитика Хотя, конечно, могут быть и иные причины.

Список литературы

Маслов А. В., Анфимов Л. В. Авзянская рудоносная свита среднего рифея Южного Урала (литостратиграфия,

условия образования, минерогения). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 132 с.

Маслов А. В., Кузнецов А. Б., Крамчанинов А. Ю., Шпакович Л. В., Гареев Э. З., Подковыров В. Н., Ковалев С. Г. Источники сноса верхнедокембрийских глинистых пород Южного Урала: результаты геохимических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 1. С. 33–54.

Маслов А. В., Мельничук О. Ю., Мизенс Г. А., Титов Ю. В., Червяковская М. В. Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 2. Лито- и изотопно-геохимические подходы и методы // Литосфера. 2020. Т. 20. № 1. С. 40–62.

Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins // Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry/(Eds) J. Arribas, S. Critelli, M. J. Johnsson. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2007. № 420. P. 73–93. DOI: 10.1130/2006.2420 (06)

Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)

Cullers R. L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chem. Geol. 2002. V. 191. P. 305–327. DOI: 10.1016/S0009-2541(02)00133-x

Cullers R. L., Podkovyrov V. N. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia // Prec. Res. 2002. V. 117. P. 157–183. DOI: 10.1016/S0301-9268(02)00079-7

Floyd P. A., Leveridge B. E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. (London). 1987. V. 144. P. 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>

McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics // Processes controlling the composition of clastic sediments/(Eds) M. J. Johnsson, A. Basu. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 1993. № 284. P. 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>

Taylor S. R., McLennan S. M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution: an Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.

References

Maslov A. V., Anfimov L. V. (2000). Avzyanskaya rudonosnaya svita srednego rifeya Yuzhnogo Urala (lithostratigrafiya, usloviya obrazovaniya, minerageniya) [Avzyan ore-bearing Formation of the Middle Riphean of the Southern Urals (lithostratigraphy, formation conditions, minerageny)]. Ekaterinburg: IGG UB RAN, 132 p. (In Russian).

- Maslov A. V., Kuznetsov A. B., Kramchaninov A. Yu., Shpakovich L. V., Gareev E. Z., Podkovyrov V. N., Kovalev S. G. (2022). Istochniki snosa verkhnedokembriyskikh glinistykh porod Yuzhnogo Urala: rezul'taty geokhimicheskikh i Sm-Nd izotopno-geokhimicheskikh issledovaniy [Provenances of the Upper Precambrian Clay Rocks in the Southern Urals: Results of Geochemical and Sm — Nd Isotope Geochemical Investigations]. *Stratigraphy. Geol. Correlation*, **30** (1), 33–54. (In Russian).
- Maslov A. V., Melnichuk O. Yu., Mizens G. A., Titov Yu. V., Chervyakovskaya M. V. (2020). Rekonstruktsiya sostava porod pitayushchikh provintsiy. Stat'ya 2. Lito- i izotopno-geokhimicheskiye podkhody i metody [Provenance reconstructions. Article 2. Litho- and isotope-geochemical approaches and methods]. *Litosfera*, **20** (1), 40–62. (In Russian).
- Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. (2007). Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins. *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*/(Eds) J. Arribas, S. Critelli, M. J. Johnsson. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, (420), 73–93. <https://doi.org/10.1130/2006.2420> (06)
- 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. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)
- 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** (4), 305–327. DOI: 10.1016/s0009-2541(02)00133-x
- Cullers R. L., Podkovyrov V. N. (2002). The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia. *Prec. Res.*, **117** (3–4), 157–183. DOI: 10.1016/s0301-9268(02)00079-7
- Floyd P. A., Leveridge B. E. (1987). Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc. (London)*, **144** (4), 531–542. DOI: 10.1144/gsjgs.144.4.0531
- McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments*/(Eds) M. J. Johnsson, A. Basu. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, (284), 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- 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.

Сведения об авторе:

Маслов Андрей Викторович, доктор геол.-минерал. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), Россия, г. Уфа. amas2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4902-5789.

About the author:

Maslov Andrei Victorovich, Dr. Sci (Geol., Mineral.), Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Russia, Ufa. amas2004@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.04.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 10.11.2023

The article was submitted 27.04.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 10.11.2023