

УДК 551

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-5-1023-1040

К вопросу о взаимосвязи α^{Al} -индексов и отношений ряда редких и рассеянных элементов – индикаторов состава пород на палеоводосборах (на примере глинистых пород рифея и венда Южного и Среднего Урала и Шкаповско-Шиханской впадины)

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 25.11.2024 г., принята к печати 21.01.2025 г.

Объект исследований – глинистые породы (глинистые алевролиты, глинистые сланцы и аргиллиты) ряда стратонов рифея Башкирского мегантиклинория, а также венда Шкаповско-Шиханской впадины и Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория. **Метод исследований** включал расчет по данным о валовом химическом составе глинистых пород величин α^{Al} -индексов и анализ их корреляционных связей с отношениями (например, Th/Sc, (La/Yb)_N и др.) ряда редких и рассеянных элементов – показателями состава пород на палеоводосборах. При этом любая статистически значимая корреляция величин альфа-индексов и индикаторных отношений считалась следствием контроля значений альфа-индексов со стороны состава пород палеоводосборов, и наоборот. **Результаты.** Установлено, что и для относительно небольших (7–8 анализов) аналитических выборок, и для средних (22 и более анализов) наблюдаются различные взаимоотношения между α^{Al} -индексами и отношениями элементов – показателями состава комплексов пород, слагающих палеоводосборы. **Выводы.** Как и в случае многих других экзосферных литогеохимических индикаторов использование альфа-индексов без анализа влияния на них различных факторов не позволяет получить корректную информацию об интенсивности выветривания.

Ключевые слова: рифей, венд, Южный Урал, Средний Урал, Шкаповско-Шиханская впадина, глинистые породы, α^{Al} -индексы, геохимические индикаторы состава размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород

Источник финансирования

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

On the relationship between α^{Al} indices and the ratios of a number of trace elements – indicators of rock composition in paleo-catchments (on the example of the Riphean and Vendian clay rocks of the Southern and Middle Urals and the Shkapovo-Shikhan depression)

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 25.11.2024, accepted 21.01.2025

Research subject. Clay rocks (clay siltstones, shales and mudstones) of a number of Riphean stratigraphic units of the Bashkir megaanticlinorium, as well as the Vendian Shkapovo-Shikhan depression and the Kvarquush-Kamennogorsk megaanticlinorium. **Methods.** Calculation of α^{Al} values based on the data on the bulk chemical composition of clay rocks

Для цитирования: Маслов А.В. (2025) К вопросу о взаимосвязи α^{Al} -индексов и отношений ряда редких и рассеянных элементов – индикаторов состава пород на палеоводосборах (на примере глинистых пород рифея и венда Южного и Среднего Урала и Шкаповско-Шиханской впадины). *Литосфера*, 25(5), 1023–1040. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1023-1040>. EDN: FQGZFF

For citation: Maslov A.V. (2025) On the relationship between α^{Al} indices and the ratios of a number of trace elements – indicators of rock composition in paleo-catchments (on the example of the Riphean and Vendian clay rocks of the Southern and Middle Urals and the Shkapovo-Shikhan depression). *Lithosphere (Russia)*, 25(5), 1023–1040. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1023-1040>. EDN: FQGZFF

and the analysis of their correlation links with the ratios (e.g., Th/Sc, (La/Yb)_N, etc.) of a number of trace elements that are indicators of rock composition in paleo-catchments. In this case, any statistically significant correlation between the alpha index values and the indicator ratios was considered to be a consequence of the control of the α index values by the rock composition in paleo-catchments, and vice versa. *Results.* For both relatively small (7–8 analyses) and medium (22 or more analyses) analytical datasets, quite different relationships were established between the α^{Al} indices and the ratios of the elements – indicators of the composition of rocks that make up the paleo-catchments. *Conclusions.* Similar to many other exospheric lithogeochemical indicators, the use of α indices without analyzing the influence of various factors thereon does not provide correct information on the intensity of weathering.

Keywords: *Riphean, Vendian, Southern Urals, Middle Urals, Shkapovo-Shikhan depression, clay rocks, $\alpha^{Al}E$ indices, geochemical indicators of the composition of rock complexes eroded in paleo-catchments*

Funding information

The research was supported by the State Contract No. 123011800013-6 of the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS

Acknowledgements

In preparing this work, analytical datasets kindly provided by E.Z. Gareev and M.T. Krupenin were used. Illustrations for the article were prepared by N.S. Glushkova. The author is sincerely grateful to all of the listed colleagues, as well as to the anonymous reviewers for their time and effort in analyzing the manuscript.

ВВЕДЕНИЕ

В публикации (Маслов, 2025) показано, что кривые величин $\alpha^{Al}E$ для глинистых пород разных свит рифея Южного Урала в существенной степени похожи. Для них характерны умеренные величины $\alpha^{Al}Na$, высокие $\alpha^{Al}Ca$ и $\alpha^{Al}Sr$ и преимущественно низкие значения других $\alpha^{Al}E$. Для глинистых пород большинства стратиграфических уровней стратотипа рифея значения $\alpha^{Al}Na_{cp}$ близки или сопоставимы с теми, что характерны для взвеси рек умеренного климата, а средние величины $\alpha^{Al}K$ принципиально не отличаются от тех, что свойственны взвеси таких рек умеренного климата, как Лена или Гудзон. Выполненное в указанной работе “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 позволило высказать предположение, что эпохи накопления терригенных отложений рифея Южного Урала характеризовались климатом, напоминавшим современный умеренный климат Северного полушария.

Вместе с тем изучение литогеохимических особенностей илов и песков бассейна ряда крупных рек, в том числе Замбези (Garzanti et al., 2022), показало, что наиболее надежным индикатором интенсивности выветривания является только $\alpha^{Al}Na$, величина которого контролируется преимущественно процессами выщелачивания Na из решетки пла-

гиоклаза. Значения других $\alpha^{Al}E$ в той или иной мере зависят и от минерального и валового химического состава пород – источников обломочного материала. Так, заметное обогащение илов Замбези и ее притоков в результате эрозии калькретов Ca, Sr, Mg и Ba ведет к появлению очень низких (≤ 0.4) α^{Al} -индексов названных элементов. Тонкозернистые осадки ряда притоков Замбези, дренирующих базальты или габбро, имеют высокое содержание Mg и Ca и, следовательно, низкие (0.4–0.6) значения $\alpha^{Al}Mg$ и $\alpha^{Al}Ca$. В случае размыва гнейсов фундамента, обогащенных K и Rb, содержащимися в основном в калиевом полевоом шпате и слюде, значения $\alpha^{Al}K$ и $\alpha^{Al}Rb$ в тонкозернистых илах также составляют < 1 . При низком отношении плагиоклаза к калиевому полевоому шпату и в илах, и в песках наблюдаются высокие величины $\alpha^{Al}Na$. Эти примеры можно продолжить.

В связи со сказанным в настоящей работе сделана попытка проанализировать взаимосвязь величин некоторых альфа-индексов глинистых пород рифея и венда Южного и Среднего Урала, а также Шкаповско-Шиханской впадины с рядом индикаторных отношений редких и рассеянных элементов (например, Th/Sc, La/Sc, (La/Yb)_N и др.), вариации значений которых в тонкозернистых обломочных породах в существенной степени контролируются валовым химическим составом размывающихся на водосборах комплексов пород (Taylor, McLennan, 1985; Condie, Wronkiewicz, 1990;

Wronkiewicz, Condie, 1990; McLennan et al., 1993; Cullers, 1995, 2002; и др.). Мы отдаем себе отчет в том, что валовый химический состав глинистых пород рифея и венда контролируется или может контролироваться существенно большим числом факторов, чем состав современных речных илов. Более того, если для последних они для исследователя более или менее осязаемы, то для первых многие подобные факторы завуалированы или даже не предполагаются.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа корреляционных связей указанных параметров привлечены оригинальные аналитические данные (содержание основных породообразующих оксидов, концентрации редких и рассеянных элементов) для глинистых пород трех объектов (рис. 1): 1) ряда стратиграфических уровней стратотипа рифея Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала); 2) нескольких свит венда Шкаповско-Шиханской впадины (восток Волго-Уральской области); 3) ряда подсвит чернокаменной свиты венда Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория (западный склон Среднего Урала). Эти материалы позволяют сравнить значения коэффициентов корреляции как для малых (7–8 анализов), так и для относительно больших (22–38 анализов) выборок.

Стратотипический разрез рифея сложен в основном терригенными и карбонатно-терригенными осадочными последовательностями, сформировавшимися преимущественно в прибрежно- и мелководно-морских обстановках. Он объединяет три крупные седиментационные серии: бурзянскую, юрматинскую и каратаускую. Подробная характеристика минерального и валового химического состава глинистых пород разных стратотипов указанного объекта приведена в монографиях (Маслов и др., 1999, 2008), и здесь мы на ней не останавливаемся. Для исследования взаимосвязи величин альфа-индексов и индикаторных отношений элементов привлечены сведения о валовом химическом составе глинистых пород бакальской свиты нижнего рифея, машакской свиты среднего рифея, а также инзерской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея. Эти аналитические данные опубликованы в виде дополнительных материалов к статье (Маслов, Подковыров, 2023).

В Шкаповско-Шиханской впадине присутствуют исключительно верхневендские образования, принадлежащие кайровской и шкаповской сериям (Аксенов, 1998; Белоконов и др., 2001). Кайровская серия объединяет байкибашевскую и старопетровскую свиты, шкаповская – салиховскую и карлинскую. Глинистые породы распространены преимущественно в трех последних свитах; они и являются

далее предметом нашего рассмотрения. Подробный анализ их минерального состава и структурных особенностей приведен в публикациях (Нефтегазоносные..., 1969; Постникова, 1977; Лагутенкова, Чепикова, 1982; и др.), а сведения о валовом химическом составе – в монографии (Маслов, 2012).

На западном склоне Среднего Урала к венду принадлежат серебрянская и сылвицкая серии (Аблизин и др., 1982; Стратотип..., 1983; Гражданкин и др., 2010; и др.). Сылвицкая серия объединяет старопечнинскую, перевалокскую, чернокаменную и усть-сылвицкую свиты. Наибольшей мощностью среди них обладает чернокаменная свита, представленная песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Она расчленяется на несколько подсвит (снизу вверх): вилухинскую, шурышскую, черемуховскую, синекаменную, коноваловскую, крутихинскую и кобылоостровскую. Краткую характеристику вещественного состава глинистых пород чернокаменной свиты можно найти в работе (Аблизин и др., 1982), а сведения о валовом их химическом составе – в монографии (Гражданкин и др., 2010). Для названного объекта мы рассмотрим далее взаимосвязь альфа-индексов и индикаторных отношений редких и рассеянных элементов в глинистых сланцах и аргиллитах вилухинской, синекаменной, коноваловской и крутихинской подсвит.

Определение содержания основных породообразующих оксидов и редких и рассеянных элементов в глинистых породах всех трех объектов проведено в разные годы в ПГО “Башкиргеология” (г. Уфа), ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) и ИГ УФИЦ РАН (г. 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, 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 0.100 мкг/г. Относительные стандартные отклонения результатов измерений не превышали 30%. Качество контролировалось использованием стандартных образцов OU-10 и MGT-1. В табл. 1 и 2 в качестве примера использованного в данной работе аналитического материала приведены сведения о содержании породообразующих оксидов и редких и рассеянных элементов, а также о значениях альфа-индексов и индикаторных отношениях в глинистых породах (в том числе в представительных образцах, число которых в таблицах

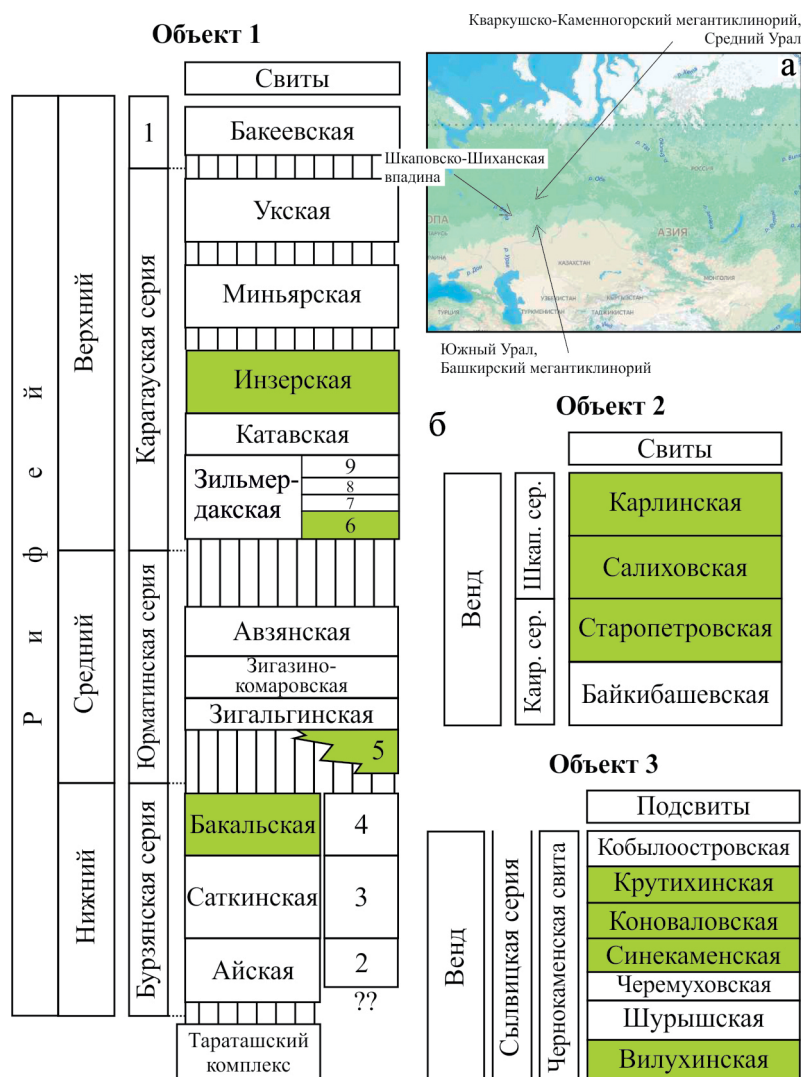


Рис. 1. Обзорная схема (а) и литостратиграфические подразделения трех объектов (б), аналитические данные для глинистых пород которых проанализированы в данной работе.

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

Объект 1 – стратотипический разрез рифея (Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал); объект 2 – верхний венд Шкаповско-Шиханской впадины (Волго-Уральская область); объект 3 – чернокаменная свита верхнего венда Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория, Средний Урал.

Цифрами на колонках показаны: 1 – ашинская серия; 2–4 – стратотипы нижнего рифея центральной части Башкирского мегантиклинория (2 – большеинзерская свита, 3 – суранская свита, 4 – юшинская свита); 5 – машакская свита; 6–9 – подсвиты зильмердакской свиты (6 – бирьянская, 7 – нугушская, 8 – лемезинская, 9 – бедерышинская). Каир. сер. – каировская серия; Шкап. сер. – шкаповская серия. Вертикальная штриховка – перерывы без указания длительности. Зелено-желтый фон – стратиграфические интервалы, для глинистых пород которых рассматриваются взаимосвязи альфа-индексов и индикаторных отношений.

Fig. 1. Overview scheme (a) and lithostratigraphic units (b) of three objects, the analytical data for clay rocks of which are analyzed in this work.

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

Object 1 – stratotype section of the Riphean (Bashkir meganticlinorium, Southern Urals); object 2 – Upper Vendian of the Shkapovo-Shikhan depression (Volga-Ural region); object 3 – Upper Vendian Chernyi Kamen Formation suite of the Kvarkush-Kamennogorsk meganticlinorium, Middle Urals.

The numbers on the columns indicate: 1 – Asha Group; 2–4 – Lower Riphean stratigraphic units of the central part of the Bashkir Meganticlinorium (2 – Bolshoi Inzer Formation, 3 – Suran Formation, 4 – Yusha Formation); 5 – Mashak Formation; 6–9 – subformations of the Zilmerdak Formation (6 – Biryannaya, 7 – Nugush, 8 – Lemeza, 9 – Bederysh). Kairovo ser. – Kairovo Group; Shkap. ser. – Shkapovo Group. Vertical shading – breaks without duration indication. Greenish-yellow background – stratigraphic intervals for clay rocks of which the relationships between alpha indices and indicator ratios are considered.

Таблица 1. Валовый химический состав глинистых пород бакальской (рифей Южного Урала) и старопетровской свит (верхний венд Шкапово-Шиханской впадины) и величины свойственных им некоторых индикаторных отношений редких и рассеянных элементов и альфа-индексов

Table 1. Bulk chemical composition of clay rocks of the Bakal (Riphean, South Urals) and Staropetrovo (Upper Vendian, Shkapovo-Shikhan depression) formations and the values of some indicator ratios of trace elements and alpha indices characteristic of them

Компоненты, индикаторные отношения, альфа-индексы	Свита													
	Бакальская								Старопетровская					
SiO ₂ , мас. %	60.46	60.82	62.81	62.50	63.43	57.58	62.69	56.15	60.66	59.72	56.96	59.32	58.79	53.58
TiO ₂	0.81	0.82	0.72	0.72	0.73	0.72	0.76	0.75	0.747	0.708	0.748	0.755	0.781	0.684
Al ₂ O ₃	19.15	19.13	19.38	18.80	18.90	20.00	20.00	18.71	16.64	17.32	17.91	16.96	16.77	18.45
Fe ₂ O ₃ *	8.61	8.51	5.54	7.90	5.65	5.95	6.38	10.58	8.21	6.32	7.25	7.69	8.14	9.22
MnO	0.05	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.13	0.12	0.05	0.05	0.09	0.07	0.28
MgO	1.62	1.72	1.74	1.20	1.40	1.20	1.00	2.00	2.84	2.98	3.27	2.72	2.77	2.67
CaO	0.21	0.23	0.07	0.61	0.70	4.04	0.45	0.22	0.30	0.69	0.55	0.46	0.48	1.13
K ₂ O	3.05	3.34	4.23	2.71	3.33	2.95	3.83	5.26	4.06	4.68	5.41	3.96	3.68	4.34
Na ₂ O	1.10	0.93	0.84	1.16	1.08	1.08	0.93	0.20	1.85	1.20	1.10	2.15	2.31	1.72
P ₂ O ₅	0.10	0.30	0.07	0.07	0.09	0.07	0.06	0.07	0.12	0.09	0.10	0.12	0.12	0.47
П.п.п.	4.48	4.50	4.35	5.31	5.06	6.95	5.04	5.45	4.98	6.04	6.29	4.78	5.11	7.87
ГМ	0.47	0.47	0.41	0.44	0.40	0.46	0.43	0.54	0.42	0.41	0.46	0.43	0.44	0.53
ЩМ	0.36	0.28	0.20	0.43	0.32	0.37	0.24	0.04	0.46	0.26	0.20	0.54	0.63	0.40
Sc, г/т	19.61	16.80	18.29	15.85	14.80	10.34	14.24	19.58	17.73	14.29	15.63	17.44	19.02	16.07
Co	18.04	15.49	11.05	13.26	13.54	19.24	17.07	25.80	19.85	11.17	21.31	21.44	22.71	27.62
Sr	82.65	55.20	17.33	60.20	33.62	53.12	37.93	18.77	79.08	118.5	107.8	92.21	105.7	141.0
Ba	634.2	511.6	598.0	459.0	444.7	317.8	519.6	579.2	416.4	650.6	498.8	529.3	464.5	505.7
La	54.94	48.63	44.39	51.05	53.48	6.18	53.47	43.60	35.80	47.91	50.68	37.10	45.47	59.89
Yb	2.56	2.01	1.93	1.639	1.957	0.619	1.747	2.13	2.54	2.17	1.92	2.85	2.79	2.32
Th	17.65	16.09	16.41	17.08	13.94	6.37	15.10	15.45	12.78	14.03	15.26	13.94	14.60	14.44
Th/Sc	0.90	0.96	0.90	1.08	0.94	0.62	1.06	0.79	0.72	0.98	0.98	0.80	0.77	0.90
La/Sc	2.80	2.89	2.43	3.22	3.61	0.60	3.75	2.23	2.02	3.35	3.24	2.13	2.39	3.73
Th/Co	0.98	1.04	1.49	1.29	1.03	0.33	0.88	0.60	0.64	1.26	0.72	0.65	0.64	0.52
(La/Yb) _N	14.50	16.38	15.55	21.04	18.47	6.75	20.69	13.86	9.52	14.91	17.81	8.81	10.99	17.42
$\alpha^{Al}Na$	3.7	4.4	4.9	3.4	3.7	3.9	4.6	19.9	1.9	3.1	3.5	1.7	1.5	2.3
$\alpha^{Al}Sr$	4.8	7.2	23.2	6.5	11.7	7.8	10.9	20.7	4.4	3.0	3.4	3.8	3.3	2.7
$\alpha^{Al}Mg$	1.9	1.8	1.8	2.5	2.2	2.7	3.2	1.5	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1
$\alpha^{Al}K$	1.1	1.0	0.8	1.2	1.0	1.2	0.9	0.6	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8
$\alpha^{Al}Ba$	1.2	1.5	1.3	1.7	1.7	2.5	1.6	1.3	1.6	1.1	1.4	1.3	1.5	1.5

меньше, чем общее число их в исследованных выборках) ряда стратиграфических уровней всех трех изучаемых нами объектов. Для каждой свиты или подсвиты при обсуждении материала использованы анализы с содержанием SiO₂ <65–67 мас. %, Al₂O₃ > 15 мас. % и величинами ЩМ (щелочной модуль, Na₂O/K₂O) <0.50 и ГМ (гидролизатный модуль (Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃* + MnO)/SiO₂) > 0.30. Такой жесткий отбор аналитических данных обеспечивает (Юдович, Кетрис, 2000) возможность рабо-

ты именно с глинистыми породами. В итоге, как можно видеть в табл. 1 и 2, мы оперируем только данными для образцов, которые по валовому химическому составу принадлежат именно породам глинистым.

Распределение точек состава исследованных образцов глинистых пород на диаграмме НКМ–ФМ (Юдович, Кетрис, 2000) показывает, что мы имеем дело преимущественно с хлорит-сметит-иллитовыми и иллитовыми глинами с тонкорастертым

Таблица 2. Валовый химический состав представительных образцов глинистых пород ряда подцвет черномаренской свиты верхнего венда Среднего Урала и величины собственных им некоторых индикаторных отношений редких и рассеянных элементов и альфа-индексов

Table 2. Bulk chemical composition (representative samples) of clay rocks of a number of subformations of the Chernyi Kamen Formation of the Upper Vendian (Middle Urals) and the values of some indicator ratios of trace elements and alpha indices characteristic of them

Компоненты, индикаторные отношения, альфа-индексы	Вилухинская подцветка																			
	62.56	61.46	61.18	61.17	59.22	58.54	59.16	58.28	60.75	60.20	50.92	61.51	55.96	59.95	61.54	53.10	61.27	61.76	57.70	61.00
SiO ₂ , мас. %	62.56	61.46	61.18	61.17	59.22	58.54	59.16	58.28	60.75	60.20	50.92	61.51	55.96	59.95	61.54	53.10	61.27	61.76	57.70	62.08
TiO ₂	0.78	0.80	0.84	0.81	0.81	0.82	0.82	1.03	0.89	0.94	1.23	0.88	1.03	0.95	0.88	1.22	0.87	0.87	0.99	0.88
Al ₂ O ₃	17.30	17.05	17.88	18.82	17.72	18.82	18.07	17.96	16.57	17.22	21.90	16.71	18.77	18.30	16.84	22.53	16.37	16.65	19.28	17.16
Fe ₂ O ₃ *	7.93	8.62	7.83	6.65	8.69	8.52	8.92	6.80	6.83	6.60	5.74	7.10	6.47	6.57	7.21	5.66	7.58	7.04	6.73	6.46
MnO	0.11	0.08	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.09	0.07	0.04	0.05	0.04	0.04	0.12	0.04	0.15	0.10	0.04	0.0
MgO	2.77	2.74	2.73	2.81	2.49	2.86	2.83	2.23	2.27	2.24	2.17	2.32	2.44	2.37	2.27	2.25	2.39	2.37	2.50	2.22
CaO	0.31	0.43	0.20	0.33	0.31	0.16	0.22	0.53	0.50	0.53	1.36	0.43	0.48	0.42	0.37	0.42	0.41	0.42	0.39	0.38
K ₂ O	2.80	3.32	3.56	3.94	4.53	3.84	3.95	4.72	4.32	4.56	6.81	4.28	5.12	4.68	4.18	5.25	4.05	4.13	5.23	4.09
Na ₂ O	1.3	1.2	1.3	0.8	1.6	1.5	1.1	2.12	1.68	1.45	2.42	1.72	2.34	1.40	1.38	1.89	1.65	1.54	1.67	1.65
P ₂ O ₅	0.18	0.22	0.14	0.14	0.11	0.15	0.12	0.19	0.16	0.19	0.66	0.18	0.21	0.20	0.17	0.20	0.17	0.18	0.24	0.19
П.п.п.	3.42	4.21	3.84	3.72	4.47	4.53	4.17	5.86	5.60	5.73	6.55	4.71	5.23	5.03	4.82	5.85	4.81	4.68	5.35	4.52
ГМ	0.42	0.43	0.43	0.43	0.46	0.48	0.47	0.44	0.40	0.41	0.57	0.40	0.47	0.43	0.41	0.55	0.41	0.40	0.47	0.39
ЩМ	0.46	0.37	0.36	0.21	0.35	0.40	0.27	0.45	0.39	0.32	0.36	0.40	0.46	0.30	0.33	0.36	0.41	0.37	0.32	0.44
Sc, г/т	24.59	30.73	34.92	29.82	21.70	28.02	31.41	19.53	16.62	15.03	25.21	16.24	19.88	17.52	16.94	22.84	16.06	16.88	18.65	15.75
Co	16.02	14.06	12.18	12.41	20.68	12.10	17.43	14.15	15.05	12.09	10.02	14.77	13.94	14.92	14.82	10.07	16.97	15.83	15.27	11.82
Sr	60.76	61.82	52.81	57.72	57.00	41.58	53.31	88.61	85.51	69.97	80.86	78.28	95.97	82.34	77.93	94.87	72.66	78.08	81.00	69.52
Ba	360.2	449.3	463.4	454.6	842.7	342.7	613.1	295.4	307.1	261.5	366.8	293.4	353.0	313.6	346.4	423.7	328.6	357.2	323.6	331.3
La	24.44	41.31	35.36	20.13	18.20	13.43	43.67	45.37	40.53	36.89	68.94	40.33	50.74	44.89	41.66	55.19	38.86	41.52	47.62	39.56
Yb	1.85	2.48	2.24	1.89	1.41	1.15	2.13	3.08	2.66	2.41	4.34	2.66	3.28	2.89	2.69	3.68	2.51	2.69	3.02	2.90
Th	9.43	11.63	11.80	8.76	7.79	6.17	11.29	14.00	12.14	10.64	17.96	11.61	15.31	13.44	12.16	16.39	11.32	12.22	14.43	11.63
Th/Sc	0.38	0.38	0.34	0.29	0.36	0.22	0.36	0.72	0.73	0.71	0.71	0.72	0.77	0.77	0.72	0.72	0.71	0.72	0.77	0.64
La/Sc	0.99	1.34	1.01	0.67	0.84	0.48	1.39	2.32	2.44	2.45	2.73	2.48	2.55	2.56	2.46	2.42	2.42	2.46	2.55	1.97
Th/Co	0.59	0.83	0.97	0.71	0.38	0.51	0.65	0.99	0.81	0.88	1.79	0.79	1.10	0.90	0.82	1.63	0.67	0.77	0.95	0.68
(La/Yb) _N	8.92	11.26	10.66	7.19	8.67	7.89	13.80	9.92	10.27	10.33	10.73	10.21	10.43	10.48	10.43	10.13	10.45	10.41	10.63	8.01
α ^{Al} Na	2.9	2.9	3.0	4.8	2.4	2.6	3.6	1.8	2.1	2.5	1.9	2.1	1.7	2.8	2.6	2.5	2.1	2.3	2.5	2.2
α ^{Al} Sr	5.9	5.7	7.0	6.8	6.4	9.4	7.0	4.2	4.0	5.1	5.6	4.4	4.1	4.6	4.5	4.9	4.7	4.4	4.9	5.3
α ^{Al} Mg	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.3	1.2	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.1	1.1	1.2	1.2
α ^{Al} K	1.1	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8
α ^{Al} Ba	1.9	1.5	1.6	1.7	0.8	2.2	1.2	2.5	2.2	2.7	2.4	2.3	2.1	2.4	2.0	2.1	2.0	1.9	2.4	2.1

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continuation

Компоненты, индикаторные отношения, альфа-индексы	Синекименская подовиита																			
	57.46	55.50	61.92	60.61	60.05	61.26	61.98	59.13	60.81	58.20	59.85	58.61	58.08	61.98	59.50	62.08	59.56	59.63	60.40	60.86
SiO ₂ , мас. %	61.41																			
TiO ₂	0.94	1.04	0.82	0.88	0.91	0.90	0.84	0.95	0.89	1.01	0.86	0.91	0.97	0.83	0.94	0.85	0.91	0.93	0.90	0.89
Al ₂ O ₃	18.14	20.76	17.11	16.61	17.72	17.43	16.79	17.63	16.94	17.85	16.11	18.52	19.17	16.38	18.71	16.70	17.33	17.36	16.91	17.72
Fe ₂ O ₃ *	7.60	6.80	6.87	6.70	6.87	6.80	6.43	6.82	6.83	7.41	7.89	6.65	6.68	7.25	6.50	6.64	7.43	7.49	7.37	6.61
MnO	0.14	0.04	0.10	0.11	0.15	0.06	0.06	0.14	0.07	0.09	0.19	0.04	0.04	0.09	0.05	0.13	0.12	0.09	0.07	0.06
MgO	2.69	2.36	2.34	2.63	2.55	2.54	2.54	2.47	2.61	2.47	2.57	2.54	2.56	2.48	2.70	2.44	2.64	2.96	2.46	2.45
CaO	0.71	0.49	0.49	0.76	0.61	0.58	0.49	0.57	0.66	0.53	0.77	0.53	0.63	0.62	0.56	0.60	0.60	0.95	0.59	0.55
K ₂ O	4.79	5.81	3.93	4.12	4.56	4.08	3.94	4.48	4.25	4.63	4.03	4.75	5.10	4.01	4.75	4.09	4.59	4.48	4.24	4.43
Na ₂ O	1.40	1.30	1.10	1.50	0.90	1.40	1.40	1.30	1.00	1.50	1.50	1.50	1.00	0.60	2.10	1.40	1.30	1.60	1.20	1.10
P ₂ O ₅	0.22	0.20	0.16	0.17	0.19	0.17	0.16	0.19	0.15	0.18	0.18	0.16	0.26	0.16	0.21	0.16	0.18	0.18	0.18	0.16
П.л.п.	5.00	4.30	3.80	4.30	4.50	4.05	4.00	4.70	4.60	4.80	4.70	4.80	5.35	4.10	4.40	4.10	4.50	5.00	5.00	4.50
ГМ	0.47	0.52	0.40	0.40	0.43	0.41	0.39	0.43	0.41	0.45	0.42	0.45	0.46	0.40	0.44	0.39	0.43	0.43	0.42	0.42
ЦМ	0.29	0.22	0.28	0.36	0.20	0.34	0.36	0.29	0.24	0.32	0.37	0.32	0.20	0.15	0.44	0.34	0.28	0.36	0.28	0.25
Sc, г/т	23.37	20.98	17.35	18.37	19.34	17.30	19.05	16.90	16.61	19.88	6.71	21.50	20.29	16.73	21.61	15.27	17.50	20.47	19.60	18.61
Co	18.73	15.42	17.68	20.35	18.16	18.13	22.35	16.18	17.09	20.97	11.69	16.61	16.11	19.57	19.77	19.34	19.01	19.72	19.27	16.75
Sr	94.58	99.02	82.53	89.50	87.26	83.54	97.01	73.46	54.87	87.87	25.25	98.06	86.00	80.32	93.39	81.77	75.06	83.78	82.49	83.85
Ba	431.73	811.07	523.79	371.68	680.55	606.61	970.47	459.63	571.64	413.05	265.17	412.64	361.76	688.10	463.05	396.73	328.54	336.89	356.39	385.15
La	65.91	55.78	48.44	50.47	51.86	49.13	52.92	35.49	31.59	55.75	7.99	58.35	58.60	48.02	47.48	29.72	49.60	52.20	53.02	51.02
Yb	4.06	4.03	3.57	3.51	3.59	3.47	3.64	2.62	3.00	3.58	0.92	4.19	3.92	3.55	4.15	3.06	3.40	3.52	3.65	3.57
Th	20.34	19.90	15.98	16.97	17.60	16.99	17.90	15.89	8.65	17.67	1.93	18.90	18.42	16.10	21.04	14.69	17.43	17.39	17.20	16.97
Th/Sc	0.87	0.95	0.92	0.92	0.91	0.98	0.94	0.94	0.52	0.89	0.29	0.88	0.91	0.96	0.97	0.96	1.00	0.85	0.88	0.91
La/Sc	2.82	2.66	2.79	2.75	2.68	2.84	2.78	2.10	1.90	2.80	1.19	2.71	2.89	2.87	2.20	1.95	2.83	2.55	2.70	2.74
Th/Co	1.09	1.29	0.90	0.83	0.97	0.94	0.80	0.98	0.51	0.84	0.16	1.14	1.14	0.82	1.06	0.76	0.92	0.88	0.89	1.01
(La/Yb) _N	10.96	9.35	9.17	9.71	9.75	9.56	9.82	9.16	7.12	10.53	5.84	9.41	10.10	9.15	7.73	6.56	9.87	10.02	9.82	9.66
$\alpha^{Al}Na$	2.8	3.4	3.3	2.4	4.2	2.6	2.6	2.9	3.6	2.5	2.3	2.6	4.1	5.8	1.9	2.5	2.8	2.3	3.0	3.4
$\alpha^{Al}Sr$	4.0	4.3	4.3	3.8	4.2	4.3	3.6	5.0	6.4	4.2	13.2	3.9	4.6	4.2	4.2	4.2	4.8	4.3	4.3	4.4
$\alpha^{Al}Mg$	1.1	1.4	1.2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9	1.1	1.2
$\alpha^{Al}K$	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
$\alpha^{Al}Ba$	1.7	1.0	1.3	1.8	1.1	1.2	0.7	1.5	1.2	1.7	2.5	1.8	2.1	1.0	1.6	1.7	2.1	2.1	1.9	1.9

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continuation

Компоненты, индикаторные отношения, альфа-индексы	Коноваловская подгруппа																			
	60.23	62.52	61.61	61.57	59.88	61.52	62.42	61.35	64.25	61.87	60.55	63.03	60.74	61.09	62.40	61.74	59.72	60.27	61.76	61.56
SiO ₂ , мас. %																				
TiO ₂	0.99	0.90	0.88	0.88	0.87	0.90	0.93	0.91	0.81	0.88	1.08	0.89	0.90	0.93	0.89	0.88	0.95	0.97	0.90	0.91
Al ₂ O ₃	17.00	15.87	16.28	15.59	16.65	16.28	16.68	17.01	15.24	16.03	16.86	16.29	16.39	17.14	16.27	15.81	16.33	16.82	15.64	16.03
Fe ₂ O ₃ *	7.85	7.86	7.76	8.34	8.98	8.04	7.65	7.81	7.90	8.23	8.32	7.59	8.57	7.97	7.52	7.54	9.08	7.99	7.96	8.06
MnO	0.08	0.15	0.12	0.13	0.03	0.15	0.06	0.05	0.15	0.13	0.15	0.13	0.16	0.05	0.11	0.09	0.16	0.09	0.11	0.13
MgO	2.74	2.42	2.46	2.48	2.09	2.38	2.61	2.41	2.30	2.53	2.58	2.36	2.74	2.55	2.71	2.75	2.71	2.70	2.61	2.65
CaO	0.51	0.36	0.36	0.47	0.23	0.34	0.37	0.23	0.42	0.47	0.42	0.37	0.57	0.25	0.62	0.87	0.33	0.41	0.58	0.51
K ₂ O	4.19	3.60	3.75	3.61	4.27	3.80	3.82	4.11	2.99	3.67	3.80	3.44	3.89	4.11	3.66	3.57	3.85	4.17	3.70	3.79
Na ₂ O	0.42	1.28	1.32	0.60	1.15	0.99	0.89	1.34	1.33	1.09	0.40	1.68	0.66	0.77	0.67	1.31	1.85	1.54	1.18	0.84
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.15	0.19	0.16	0.13	0.17	0.12	0.17	0.17	0.17	0.16	0.17	0.12	0.17	0.14	0.18	0.17	0.17	0.17
П.п.п.	5.45	5.10	5.10	5.10	6.60	5.30	5.10	5.30	4.20	5.00	5.30	4.40	5.40	5.20	5.15	5.30	5.80	5.70	5.25	5.25
ГМ	0.43	0.40	0.41	0.41	0.44	0.41	0.41	0.42	0.38	0.41	0.44	0.40	0.43	0.43	0.40	0.39	0.44	0.43	0.40	0.41
ШМ	0.10	0.36	0.35	0.17	0.27	0.26	0.23	0.33	0.44	0.30	0.11	0.49	0.17	0.19	0.18	0.37	0.48	0.37	0.32	0.22
Sc, г/т	19.16	16.20	20.21	25.19	23.35	24.20	19.26	22.75	13.07	18.70	19.11	16.99	21.65	23.11	18.71	13.77	21.20	20.98	17.93	21.01
Co	16.69	19.73	20.96	21.37	15.47	35.26	18.37	17.04	14.51	18.06	22.22	17.13	23.62	23.03	14.74	25.46	17.58	16.29	19.39	20.34
Sr	75.12	68.10	85.79	110.71	105.85	92.79	75.13	75.96	70.72	87.03	84.12	77.57	91.68	80.25	86.18	71.28	76.52	75.35	81.19	90.51
Ba	330.86	324.02	423.47	503.29	517.64	454.14	341.16	391.33	342.92	403.48	382.72	376.62	414.45	431.20	422.43	305.59	368.00	389.15	357.21	441.87
La	54.65	22.35	60.04	74.68	66.90	67.90	56.93	63.11	39.22	56.25	60.56	53.47	63.50	65.71	55.60	45.57	62.65	60.53	53.12	62.31
Yb	3.07	2.45	3.45	4.27	3.45	4.01	3.15	3.45	2.50	3.37	3.47	3.26	3.46	3.58	3.55	2.66	3.64	3.22	3.08	3.51
Th	15.78	12.62	18.50	22.56	19.93	20.77	16.90	19.11	12.01	17.15	17.44	16.00	18.98	20.62	17.04	13.61	18.42	18.35	16.13	18.29
Th/Sc	0.82	0.78	0.92	0.90	0.85	0.86	0.88	0.84	0.92	0.92	0.91	0.94	0.88	0.89	0.91	0.99	0.87	0.87	0.90	0.87
La/Sc	2.85	1.38	2.97	2.96	2.87	2.81	2.96	2.77	3.00	3.01	3.17	3.15	2.93	2.84	2.97	3.31	2.96	2.89	2.96	2.97
Th/Co	0.95	0.64	0.88	1.06	1.29	0.59	0.92	1.12	0.83	0.95	0.78	0.93	0.80	0.90	1.16	0.53	1.05	1.13	0.83	0.90
(La/Yb) _N	12.03	6.16	11.76	11.82	13.10	11.44	12.20	12.36	10.60	11.28	11.78	11.10	12.40	12.40	10.58	11.58	11.64	12.70	11.65	12.01
α ^{ANa}	8.6	2.6	2.6	5.5	3.1	3.5	4.0	2.7	2.4	3.1	9.0	2.1	5.3	4.7	5.2	2.6	1.9	2.3	2.8	4.1
α ^{ASr}	4.7	4.8	3.9	2.9	3.3	3.6	4.6	4.6	4.5	3.8	4.2	4.4	3.7	4.4	3.9	4.6	4.4	4.6	4.0	3.7
α ^{AMg}	1.0	1.1	1.1	1.0	1.3	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
α ^{AK}	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8
α ^{ABa}	2.1	2.0	1.6	1.3	1.3	1.4	2.0	1.8	1.8	1.6	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	2.1	1.8	1.7	1.8	1.5

Таблица 2. Окончание
Table 2. Ending

Компоненты, индикаторные отношения, альфа-индексы	Крутихинская подсувита																					
	63.07	61.39	62.00	59.88	59.17	59.35	61.40	60.64	59.52	57.33	57.82	59.84	58.76	60.54	57.73	61.30	61.95	61.61	59.79	61.78	60.12	59.62
SiO ₂ , мас. %	0.87	0.89	0.90	0.91	0.95	0.90	0.89	0.89	0.95	0.91	0.86	0.93	0.86	0.91	0.87	0.87	0.95	0.88	0.89	0.85	0.86	0.87
TiO ₂	16.84	16.85	16.46	17.10	18.42	16.64	17.22	17.66	17.20	16.52	18.17	17.00	17.58	18.03	17.72	16.63	17.82	16.56	17.63	16.69	16.50	16.38
Al ₂ O ₃	6.51	7.26	7.15	8.12	7.12	8.69	7.19	7.46	7.97	10.88	8.42	7.91	8.62	7.18	8.59	7.83	6.26	7.93	7.42	7.68	8.79	9.14
Fe ₂ O ₃ *	0.03	0.05	0.07	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.35	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
MnO	1.95	2.36	2.41	2.43	2.30	2.30	2.01	1.84	2.00	2.11	2.10	2.04	2.05	1.77	2.11	1.83	1.84	1.83	1.95	1.88	1.94	1.90
MgO	0.57	0.43	0.49	0.37	0.43	0.51	0.27	0.27	0.29	0.30	0.28	0.42	0.28	0.28	0.29	0.43	0.48	0.46	0.45	0.35	0.42	0.43
CaO	3.73	4.06	3.97	4.55	4.99	4.30	3.75	4.16	4.14	4.26	4.37	3.50	3.79	3.74	4.07	4.38	4.30	4.26	4.79	4.31	4.38	4.82
K ₂ O	1.80	1.40	1.40	1.10	1.00	1.20	1.65	1.34	1.74	1.38	1.36	1.75	1.56	1.65	1.46	1.76	1.46	1.34	1.47	1.70	1.45	1.38
Na ₂ O	0.17	0.19	0.19	0.14	0.13	0.19	0.11	0.10	0.14	0.16	0.12	0.35	0.09	0.08	0.12	0.14	0.22	0.16	0.16	0.13	0.17	0.19
P ₂ O ₅	5.00	4.90	4.80	5.50	5.70	5.10	5.30	5.50	5.80	5.90	6.20	6.00	6.10	5.50	6.70	4.90	4.60	4.80	5.50	4.30	5.20	5.40
П.л.п.	0.38	0.41	0.40	0.44	0.45	0.44	0.41	0.43	0.44	0.49	0.48	0.44	0.46	0.43	0.47	0.41	0.40	0.41	0.43	0.41	0.44	0.44
ГМ	0.48	0.34	0.35	0.24	0.20	0.28	0.44	0.32	0.42	0.32	0.31	0.50	0.41	0.44	0.36	0.40	0.34	0.31	0.31	0.39	0.33	0.29
ЦМ	14.85	10.04	16.93	18.89	21.16	19.16	17.62	16.64	18.00	19.30	20.83	17.50	17.59	19.58	19.25	16.62	16.99	16.19	19.15	16.51	15.98	16.63
Sc, г/т	11.32	14.27	17.02	17.72	16.42	17.71	17.03	14.68	15.02	17.60	18.86	18.93	17.14	21.66	18.15	15.75	12.23	13.48	12.83	15.06	13.74	13.90
Co	94.71	48.44	80.33	69.45	79.34	81.96	67.68	58.36	68.12	67.11	68.22	76.17	67.68	64.57	85.78	63.58	55.12	58.40	60.54	55.56	65.82	63.48
Sr	351.16	187.76	383.49	357.72	338.73	468.34	473.95	444.23	438.10	500.05	416.35	761.63	462.63	565.66	546.15	573.30	588.10	775.28	558.92	674.94	726.16	664.75
Ba	45.71	20.34	50.26	48.23	56.22	55.97	47.82	19.76	53.32	51.63	55.11	53.19	49.61	50.17	55.28	48.40	51.56	48.29	53.35	48.88	45.83	48.31
La	3.08	2.23	3.28	3.17	3.41	3.77	3.08	2.43	3.24	3.40	3.31	3.55	2.96	3.51	2.97	3.30	3.78	3.41	3.69	3.81	3.36	3.39
Yb	14.60	6.55	15.93	15.70	19.01	18.90	15.07	13.64	15.99	16.33	17.36	15.62	15.10	16.22	14.29	15.89	17.20	15.49	17.48	15.72	14.62	15.07
Th	0.98	0.65	0.94	0.83	0.90	0.99	0.86	0.82	0.89	0.85	0.83	0.89	0.86	0.83	0.74	0.96	1.01	0.96	0.91	0.95	0.91	0.91
Th/Sc	3.08	2.03	2.97	2.55	2.66	2.92	2.71	1.19	2.96	2.68	2.65	3.04	2.82	2.56	2.87	2.91	3.03	2.98	2.79	2.96	2.87	2.91
La/Sc	1.29	0.46	0.94	0.89	1.16	1.07	0.88	0.93	1.06	0.93	0.92	0.83	0.88	0.75	0.79	1.01	1.41	1.15	1.36	1.04	1.06	1.08
Th/Co	10.03	6.15	10.36	10.28	11.15	10.03	10.49	5.50	11.13	10.26	11.24	10.12	11.34	9.65	12.59	9.91	9.22	9.57	9.77	8.68	9.23	9.64
(La/Yb) _N	2.0	2.6	2.5	3.3	3.9	3.0	2.2	2.8	2.1	2.5	2.8	2.1	2.4	2.3	2.6	2.0	2.6	2.6	2.6	2.1	2.4	2.5
α ^{Al} Na	3.7	7.2	4.3	5.1	4.8	4.2	5.3	6.3	5.2	5.1	5.5	4.6	5.4	5.8	4.3	5.4	6.7	5.9	6.0	6.2	5.2	5.4
α ^{Al} Sr	1.4	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.6	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
α ^{Al} Mg	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
α ^{Al} K	1.9	3.6	1.7	1.9	2.2	1.4	1.5	1.6	1.6	1.3	1.8	0.9	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	0.9	1.3	1.0	0.9	1.0
α ^{Al} Ba																						

калиевым полевым шпатом и продуктами их пост-седиментационных (в основном катагенез, меньше – начальный метакатагенез) трансформаций (Постникова, 1977; Лагутенкова, Чепикова, 1982; Аблизин и др., 1982; Анфимов, 1997; Маслов и др., 2008; Гражданкин и др., 2010; Маслов, 2012).

Интенсивность выветривания для каждого химического элемента, вовлеченного в инконгруэнтное выветривание силикатных минералов (α values/ αE), как мы уже отмечали ранее (Маслов, 2025), первоначально рассчитывалась путем сравнения его концентрации с концентрацией какого-либо немобильного элемента (например, редкоземельных элементов, Sc, Ti, Th и др.) в образцах и в верхней континентальной коре (UCC) (Gaillardet et al., 1999). Однако, так как РЗЭ, Th и Ti содержатся в осадках, в том числе в тонкозернистых, преимущественно в плотных акцессорных минералах, и, таким образом, их концентрация в существенной степени зависит от гидравлической сортировки, позднее было предложено (Garzanti et al., 2013) рассчитывать значения α для любого элемента E по отношению к немобильному Al. Поскольку Al не характерен для плотных акцессориев, то значения $\alpha^{Al}E$ могут быть использованы и для оценки выветривания в образцах, где концентрация акцессорных минералов высока. Для расчета $\alpha^{Al}E$ применяется формула $[Al/E]_{обс}/[Al/E]_{UCC}$ (Garzanti et al., 2013, 2014). Данные о содержании Al и других элементов в UCC заимствованы из публикации (Rudnick, Gao, 2014); для перевода содержания оксидов (мас. %) в содержание элементов использованы коэффициенты, приведенные в работах (Интерпретация..., 2001; Маслов, 2005). Величина $\alpha^{Al}E \approx 1$ показывает, что концентрация элемента E по отношению к Al сравнима с его концентрацией в UCC. Значение $\alpha^{Al}E > 1$ указывает на деплетирование в породе данного элемента¹, которое можно объяснить выветриванием (Garzanti et al., 2013). Соответственно, $\alpha^{Al}E < 1$ предполагает обогащение осадка тем или иным элементом. Величины $\alpha^{Al}E$ для большинства подвижных элементов выше во фракции <2 мкм, где концентрируются глинистые минералы, богатые Al.

Хотя значения $\alpha^{Al}E$ минимизируют эффект гидравлической сортировки различных компонентов взвесей, они, как правило, подвержены влиянию других процессов, происходящих в суспензиях (Bouchez et al., 2011; Garzanti et al., 2011). Так, например, установлено, что во взвешенных наносах Амазонки и Ганга-Брахмапутры содержание Na увеличивается с глубиной воды быстрее, чем концентрации Sr и Ca. Для Nd, Sm и Th, напротив, наблюдается только небольшое снижение концентраций (Garzanti et al., 2013). В результате значения $\alpha^{Al}E$

для многих элементов ведут себя во взвеси с увеличением глубины по-разному, но в целом фиксируемые расхождения незначительны и в конечном счете ими можно пренебречь (Garzanti et al., 2022).

В качестве индикаторов состава пород-источников тонкой алюмосиликокластики в данной работе нами применены такие отношения редких и рассеянных элементов, как Th/Sc, La/Sc, Th/Co и (La/Yb)_N. При расчете последнего параметра использованы содержания РЗЭ в хондрите (Taylor, McLennan, 1985). Выбор указанных отношений основан на существенном различии их значений в гранитах и основных магматических породах (Condie, 1993; Интерпретация..., 2001; Маслов, 2005).

Так, для средних архейских гранитов величина Th/Sc составляет ≈ 3.75 , для позднеархейских андезитов она равна ≈ 0.18 , а базальтов раннего архея – 0.03 (Маслов и др., 2020; см. также ссылки в этой работе). Аналогичный нисходящий тренд мы видим и для параметра La/Sc (12.50, 0.90 и 0.20 соответственно). В средних фанерозойских гранитах параметр Th/Sc имеет величину 3.60, а в известково-щелочных базальтах того же временного интервала – 0.07. Значение индикаторного отношения Th/Co для средних архейских гранитов составляет 4.29, для андезитов позднего архея – 0.07, базальтов того же возраста – 0.02. Подобным образом ведет себя и параметр (La/Yb)_N.

Еще один возможный индикатор состава пород – источников тонкой алюмосиликокластики – отношение Al_2O_3/TiO_2 (McLennan et al., 1979). Для средних гранитов архея этот параметр составляет ≈ 59.2 , для андезитов позднего архея – 16.4, а для базальтов позднего архея – 15.4 (расчет выполнен по данным из работы (Condie, 1993)).

Для проверки возможности использования указанных соотношений на примере глинистых пород бакальской, машакской и инзерской свит рифея Башкирского мегантиклинория, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты нами выполнен анализ корреляционных связей между отношениями Th/Sc и La/Sc, Th/Sc и Th/Co, Th/Sc и (La/Yb)_N, а также Th/Sc и Al_2O_3/TiO_2 . В результате установлено, что для первой из перечисленных пар отношений в трех из четырех случаев (исключение составляют глинистые сланцы бирьянской подсвиты) наблюдается статистически значимая² положительная корреляция. Отношения Th/Sc и Th/Co характеризуются значимой положительной корреляцией в выборках аналитических материалов для глинистых пород бакальской, машакской и инзерской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты. Отношения Th/Sc и (La/Yb)_N свя-

¹ Некоторые авторы (см., например: Deng et al., 2022) используют величину $\alpha^{Al}E > 2$.

² Статистическую значимость или незначимость величин коэффициентов корреляции мы определяем по таблице (Соловов, Матвеев, 1985, прил. VII).

заны статистически значимой корреляцией в трех случаях (бакальская, машакская и инзерская свиты) из четырех. Для пары параметров Th/Sc и Al_2O_3/TiO_2 ситуация противоположная: в трех случаях (бакальская и инзерская свиты, бирьянская подсвита) из четырех статистически значимой корреляции между ними нет и только в тонкозернистых обломочных породах машакского стратиграфического уровня такая корреляция присутствует. Из сказанного можно сделать вывод, что наиболее приемлемыми индикаторами состава комплексов пород на палеоводосборах являются для рассматриваемых нами объектов отношения Th/Sc, La/Sc, Th/Co и $(La/Yb)_N$.

ОБСУЖДЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Наша рабочая гипотеза, на которой будет базироваться все дальнейшее обсуждение, состоит в следующем: любая (положительная или отрицательная) статистически значимая корреляция величин альфа-индексов того или иного химического элемента и отношения-индикатора состава пород – источников тонкой алюмосиликокластики предполагает невозможность суждения по альфа-индексу об интенсивности выветривания. И, напротив, отсутствие такой корреляции свидетельствует о том, что значение альфа-индекса элемента E в осадке (в нашем случае – глинистой породе) определяется не составом пород на палеоводоразделах, а именно характером выветривания. Автор отдает себе отчет в том, что указанная гипотеза – это предельное упрощение природных взаимосвязей, где на валовый химический состав пород влияет множество иных, нежели петрофонд и интенсивность химического выветривания, факторов (например, постседиментационные преобразования глинистых минералов, карбонатизация, вынос и привнос калия, изменение состава петрофонда, вариации интенсивности выветривания во время формирования одной или другой свит, подпитка породных бассейнов глубинными флюидами и т. п.). Одно- и разнонаправленное воздействие части или всех перечисленных факторов в феноменологическом исследовании, как и при операциях с цифрами, учесть сейчас, увы, невозможно. Поэтому остается вернуться к простейшей модели и посмотреть, как обстоит дело в рассматриваемых нами ситуациях.

Объект 1 – глинистые породы ряда свит рифея Южного Урала (все рассматриваемые далее выборки аналитических данных можно отнести к небольшим). Величины коэффициентов корреляции между альфа-индексами разных элементов и индикаторными отношениями – показателями состава пород на палеоводосборах приведены в табл. 3. Ее анализ позволяет видеть следующее.

Для глинистых пород трех из четырех выбранных нами в типовом разрезе рифея стратиграфических уровней (бакальская и инзерская свиты, бирьянская подсвита зильмердакской свиты) величины $\alpha^{Al}Na$ не имеют статистически значимой корреляции с индикаторными отношениями Th/Sc, La/Sc, Th/Co и $(La/Yb)_N$. Тонкозернистые обломочные породы машакской свиты демонстрируют значимую корреляцию величины $\alpha^{Al}Na$ с отношениями Th/Sc, Th/Co и $(La/Yb)_N$. Величина коэффициента корреляции (r) для пары $\alpha^{Al}Na$ и La/Sc (-0.65) практически сопоставима с величиной 5%-го уровня значимости для данного размера выборки (0.67). Все в целом дает основание предполагать, что параметр $\alpha^{Al}Na$ в глинистых породах данного стратиграфического уровня контролируется не интенсивностью выветривания, а составом пород на палеоводосборах.

Вместе с тем читатель может посчитать, что в случаях, например, инзерской или бакальской свит к изменению исходных (связанных именно с процессами выветривания) значений $\alpha^{Al}Na$ привела иллитизация смектита при постседиментационных трансформациях глинистых пород и именно она является причиной отсутствия для глинистых пород названных стратиграфических уровней каких-либо значимых статистически корреляционных связей альфа-индекса натрия с индикаторами состава пород на палеоводосборах. Но не менее изменены постседиментационными процессами и тонкозернистые обломочные породы машакской свиты, а для них значимая корреляция $\alpha^{Al}Na$ с отношениями Th/Sc, Th/Co и $(La/Yb)_N$ присутствует. Поэтому представляется, что прямой взаимосвязи между вторичными процессами и вторичными изменениями величин $\alpha^{Al}Na$ и вообще альфа-индексов в нашем случае не видно, хотя предполагать сказанное, конечно, можно.

Для $\alpha^{Al}Sr$ статистически значимая корреляция с величинами всех используемых в настоящей публикации параметров – индикаторов состава комплексов пород на палеоводосборах наблюдается только для аргиллитов инзерской свиты. Есть такая взаимосвязь между $\alpha^{Al}Sr$ и $(La/Yb)_N$ – в выборке тонкозернистых обломочных пород бирьянской подсвиты зильмердакской свиты. Учитывая то, что основными носителями Sr в глинистых породах могут быть кальцит или плагиоклаз, мы проанализировали корреляционные связи в исследуемых выборках между содержаниями Sr, CaO и Na_2O . В результате выяснилось, что значимая положительная взаимосвязь между Sr и Na_2O ($r = 0.89$) имеется только для тонкозернистых обломочных пород машакской свиты. Все остальные пары параметров статистически значимых корреляционных связей лишены.

Между $\alpha^{Al}Mg$ и подавляющим большинством рассматриваемых нами отношений редких и рас-

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции между альфа-индексами и некоторыми отношениями редких и рассеянных элементов – индикаторами состава комплексов пород на палеоводосборах в глинистых породах различных стратиграфических уровней рифея Южного Урала

Table 3. Values of the correlation coefficients between alpha indices and some ratios of trace elements – indicators of the composition of rock complexes in paleo-catchments in clay rocks of various stratigraphic levels of the Riphean of the Southern Urals

Свита, подсвита	Коррелируемые параметры			
	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Бакальская (n = 8, f = 0.71)	-0.31	-0.19	-0.37	-0.18
Машакская (n = 9, f = 0.67)	-0.96	-0.65	-0.78	-0.72
Бирьянская (n = 15, f = 0.51)	-0.31	-0.13	-0.05	0.20
Инзерская (n = 8, f = 0.71)	-0.05	-0.39	-0.21	-0.38
	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Бакальская (n = 8, f = 0.71)	-0.17	-0.09	0.18	-0.04
Машакская (n = 9, f = 0.67)	0.67	-0.49	-0.44	-0.61
Бирьянская (n = 15, f = 0.51)	-0.15	-0.49	-0.33	-0.54
Инзерская (n = 8, f = 0.71)	-0.75	-0.88	-0.82	-0.86
	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Бакальская (n = 8, f = 0.71)	0.22	0.12	-0.20	0.20
Машакская (n = 9, f = 0.67)	-0.47	-0.26	-0.14	-0.40
Бирьянская (n = 15, f = 0.51)	-0.50	-0.16	-0.39	-0.10
Инзерская (n = 8, f = 0.71)	0.04	-0.10	0.29	-0.07
	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Бакальская (n = 8, f = 0.71)	0.04	-0.12	-0.02	-0.08
Машакская (n = 9, f = 0.67)	0.47	0.53	0.48	0.53
Бирьянская (n = 15, f = 0.51)	0.17	-0.23	0.09	0.01
Инзерская (n = 8, f = 0.71)	0.05	0.38	0.05	0.30
	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Бакальская (n = 8, f = 0.71)	-0.48	-0.55	-0.57	-0.47
Машакская (n = 9, f = 0.67)	-0.82	-0.39	-0.59	-0.45
Бирьянская (n = 15, f = 0.51)	-0.13	-0.51	-0.30	-0.55
Инзерская (n = 8, f = 0.71)	-0.62	-0.68	-0.49	-0.75

Примечание. Здесь и в табл. 4 и 5: n – число проанализированных образцов, f – величина 5%-го уровня значимости для числа степеней свободы (n – 2). В ячейках с серым фоном приведены статистически значимые величины коэффициентов корреляции.

Note. Here and in Tables 4 and 5: n is the number of analyzed samples, f is the value of the 5% significance level for the number of degrees of freedom (n – 2). The cells with a gray background show statistically significant values of the correlation coefficients.

сеянных элементов – индикаторов состава комплексов пород на палеоводосборах статистически значимой корреляции нет. Используя данный альфа-индекс, мы не считаем, что его величина в существенной степени контролируется общим составом пород палеоводосборов (“преимущественно кислым” или “преимущественно основным”).

Свойственные глинистым породам наших выборок содержание MgO и величина (Na₂O + K₂O) главным образом таковы, что с учетом известных критериев Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000, 2015) их нельзя рассматривать как содержащие какую-либо долю камуфлированной пирокластике. Только в подавляющем большинстве глинистых сланцев

бирьянской подсвиты зильмердакской свиты сумма оксидов натрия и калия превышает пороговое значение 8 мас. %, но в основном это обусловлено присутствием в них тонкорастертого калиевого полевого шпата – индикатора аридного типа литогенеза.

Между величинами $\alpha^{Al}K$ и большинством индикаторов состава пород на палеоводосборах в глинистых породах всех четырех стратиграфических уровней стратотипа рифея статистически значимой корреляции нет. Следовательно, и величина $\alpha^{Al}K$ является, скорее всего, показателем интенсивности выветривания.

Параметр $\alpha^{Al}Ba$ не имеет статистически значимой корреляции со всеми используемыми в данной работе индикаторами состава пород на палеоводосборах только в случае глинистых сланцев бакальской свиты. Для тонкозернистых обломочных пород трех других стратиграфических уровней рифея хотя бы одно из четырех индикаторных отношений характеризуется статистически значимой корреляцией с величиной $\alpha^{Al}Ba$. По-видимому, предположение об отражении данным альфа-индексом интенсивности выветривания справедливо лишь отчасти. Вместе с тем только для глинистых пород машакской свиты характерна значимая положительная корреляция ($r = 0.71$) между содержанием Ba и содержанием Na_2O . Глинистые породы трех других рассматриваемых в этой работе стратиграфических уровней рифея такой корреляции между Ba и оксидами натрия и калия (как одними из основных компонентов щелочных полевых шпатов-носителей Ba) не обладают. Нет ее между K_2O и Ba и в тонкозернистых обломочных породах машакской свиты.

Объект 2 – глинистые породы ряда свит венда Шкаповско-Шиханской впадины. Этот объект, как и объект 1, представлен малыми аналитическими выборками. Величины коэффициентов корреляции альфа-индексов и индикаторов состава комплексов пород на палеоводосборах приведены в табл. 4.

Только глинистые породы старопетровской свиты обладают статистически значимой корреляцией между $\alpha^{Al}Na$ и Th/Sc . Ни с одним другим индикаторным отношением, в том числе с La/Sc , этого не наблюдается. Нет значимой корреляции между $\alpha^{Al}Na$ и всеми индикаторными отношениями и в глинистых породах салиховской и карлинской свит.

Глинистые породы старопетровской и салиховской свит в одной из четырех разных ситуаций демонстрируют статистически значимую корреляцию между $\alpha^{Al}Sr$ и параметрами La/Sc и Th/Co . Глинистые породы карлинской свиты такой корреляции не имеют. Все сказанное заставляет относиться к утверждению о том, что величина $\alpha^{Al}Sr$ так или иначе отражает интенсивность выветривания, с осторожностью. Похожую ситуацию мы видим и для $\alpha^{Al}Ba$ – статистически значимая корреляция

данного параметра наблюдается с несколькими индикаторными отношениями, но на тех же стратиграфических уровнях – старопетровском и салиховском.

Параметр $\alpha^{Al}Mg$ имеет значимую положительную корреляцию с индикаторным отношением Th/Co только в случае глинистых пород салиховской свиты. Значение r в этой ситуации (0.76) лишь ненамного больше, чем величина 5%-ного уровня значимости для данного размера выборки (0.754). Следовательно, определенно считать, что $\alpha^{Al}Mg$ отражает интенсивность выветривания, а не контролируется составом комплексов пород на палеоводосборах, можно только для старопетровского и карлинского уровней венда Шкаповско-Шиханской впадины.

Более определенно такой вывод можно сделать в отношении $\alpha^{Al}K$. Ни с одним индикаторным отношением и ни на одном из рассматриваемых нами стратиграфических уровней объекта 2 статистически значимой корреляции у $\alpha^{Al}K$ нет.

Объект 3 – глинистые породы ряда подсвит чернокаменной свиты венда Среднего Урала. В данном случае аналитические выборки включают от 22 до 38 валовых химических анализов, и, следовательно, их можно считать достаточно большими. Величины коэффициентов корреляции альфа-индексов и отношений ряда редких и рассеянных элементов-индикаторов состава комплексов пород на палеоводосборах для глинистых пород вилухинской, синемакской, коноваловской и крутихинской подсвит чернокаменной свиты приведены в табл. 5.

Статистически значимая корреляция между $\alpha^{Al}Na$ с одной стороны и Th/Sc и La/Sc с другой характерна в данном объекте только для аргиллитов вилухинской подсвиты. Следовательно, значения $\alpha^{Al}Na$ для глинистых пород синемакской, коноваловской и крутихинской подсвит дают возможность оценить интенсивность выветривания на палеоводосборах. Опираясь на значения $\alpha^{Al}Sr$, это же можно сделать только для аргиллитов коноваловской подсвиты чернокаменной свиты. Глинистые породы трех других подсвит названной свиты обладают значимой статистически корреляцией $\alpha^{Al}Sr$ либо с двумя (вилухинская и крутихинская подсвиты), либо со всеми четырьмя (синемакская подсвита) индикаторными отношениями – показателями состава комплексов пород на палеоводоразделах.

Глинистые породы всех четырех рассматриваемых подсвит чернокаменной свиты характеризуются содержанием $MgO < 3$ мас. % и значениями $(Na_2O + K_2O) < 8$ мас. %. Это предполагает отсутствие в них примеси пирокластики. В то же время величины $\alpha^{Al}Mg$ в глинистых породах вилухинской и синемакской подсвит, по всей видимости, контролируются составом пород палеоводосборов.

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции между альфа-индексами и некоторыми отношениями редких и рассеянных элементов – индикаторами состава комплексов пород на палеоводосборах в глинистых породах венда Шкаповско-Шиханской впадины

Table 4. Values of the correlation coefficients between alpha indices and some ratios of trace elements – indicators of the composition of rock complexes in paleo-catchments in Vendian clay rocks of the Shkapovo-Shikhan depression

Свита, подсвита	Коррелируемые параметры			
	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Старопетровская, (n = 6, f = 0.811)	0.91	0.69	0.53	0.80
Салиховская (n = 7, f = 0.754)	–0.19	0.14	–0.49	0.18
Карлинская (n = 7, f = 0.754)	–0.45	–0.33	–0.30	0.63
	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Старопетровская, (n = 6, f = 0.811)	–0.69	–0.87	–0.23	–0.74
Салиховская (n = 7, f = 0.754)	0.68	0.41	0.76	0.31
Карлинская (n = 7, f = 0.754)	–0.33	–0.40	–0.71	0.74
	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Старопетровская, (n = 6, f = 0.811)	–0.14	0.25	–0.58	0.10
Салиховская (n = 7, f = 0.754)	0.74	0.14	0.76	0.13
Карлинская (n = 7, f = 0.754)	0.36	0.23	–0.06	0.08
	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Старопетровская, (n = 6, f = 0.811)	–0.50	–0.21	–0.36	–0.43
Салиховская (n = 7, f = 0.754)	–0.34	–0.71	–0.15	–0.29
Карлинская (n = 7, f = 0.754)	–0.73	–0.65	–0.39	0.24
	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Старопетровская, (n = 6, f = 0.811)	–0.63	–0.31	–0.84	–0.17
Салиховская (n = 7, f = 0.754)	0.81	0.40	0.63	–0.03
Карлинская (n = 7, f = 0.754)	–0.30	–0.38	–0.67	0.74

Значения данного параметра в глинистых породах коноваловской и крутихинской подсвит, напротив, позволяют вместе с данными о величинах альфа-индексов других элементов реконструировать интенсивность выветривания.

Еще менее определенные выводы об интенсивности выветривания на палеоводосборах чернокаменского времени можно сделать из анализа корреляционных связей $\alpha^{Al}K$ и $\alpha^{Al}Ba$ с отношениями ряда редких и рассеянных элементов – индикаторами состава комплексов пород на палеоводосборах. Для первого из названных индексов статистически значимая корреляция не наблюдается только в аргиллитах синекаменской подсвиты, для второго аналогичная ситуация характерна для глинистых пород коноваловской подсвиты.

ВЫВОДЫ

Приведенные в настоящей работе материалы и их обсуждение показывают, что как в относительно небольших (7–8 анализов), так и в средних по

размеру (22 анализов и более) аналитических выборках для глинистых/тонкозернистых обломочных пород наблюдаются разные взаимоотношения между α^{Al} индексами – индикаторами интенсивности выветривания на палеоводосборах и отношениями ряда редких и рассеянных элементов – показателями состава комплексов пород, слагающих палеоводосборы.

Это может быть статистически значимая положительная или отрицательная корреляция, очевидно предполагающая различной формы контроль величин α^{Al} -индексов составом пород – источников тонкой алюмосиликокластики. Подобного рода взаимоотношения характерны для $\alpha^{Al}Na$ в тонкозернистых обломочных породах машакской свиты и аргиллитах старопетровской свиты и вилухинской подсвиты чернокаменской свиты, $\alpha^{Al}Sr$ в аргиллитах инзерской свиты и синекаменской подсвиты чернокаменской свиты, $\alpha^{Al}Ba$ в аргиллитах вилухинской и синекаменской подсвит чернокаменской свиты и ряда других стратиграфических уровней. Соответственно, в перечисленных

Таблица 5. Значения коэффициентов корреляции между альфа-индексами и некоторыми отношениями редких и рассеянных элементов – индикаторами состава комплексов пород на палеоводосборах в глинистых породах чернокаменского уровня венда Среднего Урала

Table 5. Values of the correlation coefficients between alpha indices and some ratios of trace elements – indicators of the composition of rock complexes in paleo-catchments in clay rocks of the Chernyi Kamen Formation (the Vendian of the Middle Urals)

Подсвита	Коррелируемые параметры			
	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Na \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Вилухинская (n = 22, f = 0.423)	–0.66	–0.64	–0.27	–0.08
Синекаменская (n = 38, f = 0.325)	0.003	0.07	0.03	0.06
Коноваловская (n = 22, f = 0.423)	–0.17	0.12	–0.03	0.20
Крутихинская (n = 24, f = 0.423)	0.06	–0.13	0.08	0.16
	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Sr \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Вилухинская (n = 22, f = 0.423)	–0.89	–0.86	–0.31	–0.23
Синекаменская (n = 38, f = 0.325)	–0.79	–0.61	–0.62	–0.48
Коноваловская (n = 22, f = 0.423)	–0.23	–0.27	–0.25	–0.20
Крутихинская (n = 24, f = 0.423)	–0.30	–0.46	–0.14	–0.62
	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Mg \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Вилухинская (n = 22, f = 0.423)	0.53	0.55	0.89	0.05
Синекаменская (n = 38, f = 0.325)	0.29	0.28	0.63	0.28
Коноваловская (n = 22, f = 0.423)	–0.32	–0.25	0.26	–0.002
Крутихинская (n = 24, f = 0.423)	0.11	–0.07	0.33	–0.18
	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}K \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Вилухинская (n = 22, f = 0.423)	–0.7	–0.72	–0.35	–0.31
Синекаменская (n = 38, f = 0.325)	0.16	0.19	–0.22	–0.04
Коноваловская (n = 22, f = 0.423)	0.48	0.13	–0.37	–0.36
Крутихинская (n = 24, f = 0.423)	–0.36	–0.13	–0.35	0.02
	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow Th/Sc$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow La/Sc$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow Th/Co$	$\alpha^{Al}Ba \leftrightarrow (La/Yb)_N$
Вилухинская (n = 22, f = 0.423)	0.67	0.65	0.43	–0.07
Синекаменская (n = 38, f = 0.325)	–0.37	–0.34	–0.18	–0.17
Коноваловская (n = 22, f = 0.423)	–0.12	–0.20	–0.40	–0.25
Крутихинская (n = 24, f = 0.423)	–0.51	–0.42	–0.42	–0.26

и других подобных случаях по альфа-индексам нельзя судить об интенсивности выветривания на палеоводосборах.

Чаше, однако, мы видим отсутствие статистически значимой корреляции между альфа-индексами и индикаторными отношениями редких и рассеянных элементов – показателями состава пород на палеоводосборах. Это можно наблюдать для глинистых пород бакальской свиты в случае $\alpha^{Al}Mg$, для тонкозернистых обломочных пород машакской свиты в случае $\alpha^{Al}K$, для аргиллитов салиховской и карлинской свит в случае $\alpha^{Al}Na$ и $\alpha^{Al}Ba$ (только карлинская свита). В глинистых породах синекаменской, коноваловской и крутихин-

ской подсвит чернокаменской свиты не наблюдается статистически значимая взаимосвязь между $\alpha^{Al}Na$ и всеми использованными нами в данной работе индикаторными отношениями редких и рассеянных элементов – показателями состава комплексов пород на палеоводосборах (Th/Sc, La/Sc, Th/Co и (La/Yb)_N). Соответственно, свойственные им средние величины $\alpha^{Al}Na$ (3.2, 3.8 и 2.6) отражают интенсивность выветривания во время их формирования, и это выветривание было, по всей видимости, слабым, так как значения данного параметра от 2 до 5 характерны, например, в настоящее время для илов рек засушливой Намибии (Garzanti et al., 2014).

Общий вывод из всего сказанного прост: как и в случае многих других экзосферных литогеохимических индикаторов, использование альфа-индексов без исключения влияния на них различных побочных факторов возможно, но не позволяет получить корректную информацию об интенсивности выветривания прошлых эпох. Связано это с тем, что интегральный валовый химический состав глинистых пород, данные о котором поступают к исследователю из лабораторий, контролируется значительным числом факторов, реальный вклад каждого из которых трудно, а подчас невозможно оценить в процентах или долях. Это и минеральный состав материнских пород, и разная фертильность одних и тех же типов материнских пород в отношении разных минералов, и химический состав материнских пород, и процессы выветривания, и геодинамический фон, контролирующий, как полагают многие, общие особенности процессов осадконакопления, и процессы гидравлической и минералогической сортировки осадка, и разная плавучесть минералов во взвеси, и разная устойчивость их при транспортировке, и разная реакция минералов, а следовательно, и валового химического состава их взвесей и влекомых по дну рек компонентов на так называемый маргинальный фильтр, и разное поведение минералов взвесей в водной толще и на границе раздела вода/осадок. Несомненно, то или иное воздействие на валовый химический состав глинистых пород оказывают процессы субсинхронного с осадконакоплением вулканизма, литогенеза, а также метаморфизма. Свой вклад в возможные изменения состава глин могут вносить глубинные эманации и другие не упомянутые здесь факторы. Все это – прочная основа для глубокого пессимизма.

Тем не менее мы хорошо знакомы с колоссальным массивом работ, в которых авторы реконструируют палеогеодинамические обстановки формирования осадочных толщ по валовому химическому составу песчаников или пород глинистых. Почти столь же многочисленны публикации о палеоклимате, также опирающиеся во многом на данные. Предполагать, что их авторы обладают неким волшебным ключиком, оснований у нас нет. Поэтому, если данная работа ставит перед читателем больше вопросов, чем дает ответов, то может быть это и было главной целью ее автора?

Благодарности

При подготовке работы использован ряд данных, любезно предоставленных автору Э.З. Гареевым и М.Т. Крупениным. 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

- Аблизин Б.Д., Ключина М.Л., Курбацкая Ф.А., Курбацкий А.М. (1982) Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала. М.: Наука, 140 с.
- Аксенов Е.М. (1998) История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое. Дисс. ... д-ра геол.-мин. наук в форме науч. докл. СПб.: ИГГД РАН, 106 с.
- Анфимов Л.В. (1997) Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 290 с.
- Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. (2001) Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК “Звезда”, 108 с.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2010) Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 280 с.
- Интерпретация геохимических данных. (2001) (Отв. ред. Е.В. Скляров). М.: Интермет Инжиниринг, 288 с.
- Лагутенкова Н.С., Чепикова И.К. (1982) Верхнедевонские отложения Волго-Уральской области и перспективы их нефтегазоносности. М.: Наука, 110 с.
- Маслов А.В. (2005) Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: УГГУ, 289 с.
- Маслов А.В. (2012) Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 248 с.
- Маслов А.В. (2025) α^{Al} -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>
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. (2023) 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 верхнедевонском разрезе Башкирского мегантиклинория (к реконструкции условий формирования). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 324 с.
- Маслов А.В., Мельничук О.Ю., Мизенс Г.А., Титов Ю.В., Червяковская М.В. (2020) Реконструкция состава пород питающих провинций. Ст. 2. Лито- и изотопно-геохимические подходы и методы. *Литосфера*, **20**(1), 40-62. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62>
- Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Гражданкин Д.В., Дмитриева Н.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Вещева С.В., Лепихина О.П. (2008) Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 274 с.
- Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы. (1969) Т. I. Доордовикские отложения центральных и восточных областей Русской платформы. Л.: Недра, 168 с.
- Постникова И.Е. (1977) Верхний докембрий Русской

- плиты и его нефтеносность. М.: Недра, 222 с.
- Соловов А.П., Матвеев А.А. (1985) Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: МГУ, 232 с.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2015) Геохимические и минералогические индикаторы вулканогенных продуктов в осадочных толщах. М.; Берлин: Директ-Медиа, 724 с.
- Bouchez J., Lupker M., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L. (2011) How important is it to integrate riverine suspended sediment chemical composition with depth? Clues from Amazon River depth-profiles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**, 6955-6970. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.08.038>
- 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)
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A. (1990) The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **97**(3-4), 256-267. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(90\)90046-Z](https://doi.org/10.1016/0012-821X(90)90046-Z)
- Cullers R.L. (1995) The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. *Chem. Geol.*, **123**(1-4), 107-131. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00050-V](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00050-V)
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
- Deng K., Yang S., Guo Y. (2022) A global temperature control of silicate weathering intensity. *Nature communications*, **13**, 1781. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29415-0>
- 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)
- Garzanti E., Andò S., France-Lanord C., Galy V., Censi P., Vignola P. (2011) Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments. 2. Suspended-load silt (Ganga-Brahmaputra, Bangladesh). *Earth Planet. Sci. Lett.*, **302**, 107-120. <https://doi.org/10.1086/719166>
- Garzanti E., Bayon G., Dinis P., Vermeesch P., Pastore G., Resentini A., Barbarano M., Ncube L., Van Niekerk H.J. (2022) The Segmented Zambezi Sedimentary System from Source to Sink. 2. Geochemistry, Clay Minerals, and Detrital Geochronology. *J. Geology*, **130**, 171-208. <https://doi.org/10.1086/719166>
- 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., Najman Y., Peruta L., Villa I.M. (2013) Weathering geochemistry and Sr-Nd fingerprints of equatorial upper Nile and Congo muds. *Chem. Geophys. Geosyst.*, **14**(2), 292-316. <https://doi.org/10.1002/ggge.20060>
- McLennan S.M., Fryer B.J., Young G.M. (1979) The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements. *Can. J. Earth Sci.*, **16**, 230-239. <https://doi.org/10.1139/e79-022>
- 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* (Ed. by M.J. Johnsson, A. Basu). *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **284**, 21-40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Rudnick R.L., Gao S. (2014) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry* (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.
- Wronkiewicz D.J., Condie K.C. (1990) Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: cratonic evolution during the early Proterozoic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**(2), 343-354. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90323-D](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90323-D)

REFERENCES

- Ablizin B.D., Klyuzhina M.L., Kurbatskaya F.A., Kurbatsky A.M. (1982) Upper Riphean and Vendian of the western slope of the Middle Urals. Moscow, Nauka Publ., 140 p. (In Russ.)
- Aksenov E.M. (1998) History of geological development of the East European platform in the late Proterozoic. Dr. geol. and min. sci. diss. St.Petersburg, IGGD RAN, 106 p. (In Russ.)
- Anfimov L.V. (1997) Lithogenesis in Riphean sedimentary strata of the Bashkir megaanticlinorium (South Urals). Ekaterinburg, UrO RAN, 290 p. (In Russ.)
- Belokon T.V., Gorbachev V.I., Balashova M.M. (2001) Structure and oil and gas potential of the Riphean-Vendian deposits in the east of the Russian platform. Perm, IPK "Zvezda" Publ., 108 p. (In Russ.)
- Bouchez J., Lupker M., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L. (2011) How important is it to integrate riverine suspended sediment chemical composition with depth? Clues from Amazon River depth-profiles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**, 6955-6970. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.08.038>
- 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)
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A. (1990) The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **97**(3-4), 256-267. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(90\)90046-Z](https://doi.org/10.1016/0012-821X(90)90046-Z)
- Cullers R.L. (1995) The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. *Chem. Geol.*, **123**(1-4), 107-131. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00050-V](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00050-V)

- 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. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
- Deng K., Yang S., Guo Y. (2022) A global temperature control of silicate weathering intensity. *Nature communications*, **13**, 1781. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29415-0>
- 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)
- Garzanti E., Andò S., France-Lanord C., Galy V., Censi P., Vignola P. (2011) Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments. 2. Suspended-load silt (Ganga-Brahmaputra, Bangladesh). *Earth Planet. Sci. Lett.*, **302**, 107-120. <https://doi.org/10.1086/719166>
- Garzanti E., Bayon G., Dinis P., Vermeesch P., Pastore G., Resentini A., Barbarano M., Ncube L., Van Niekerk H.J. (2022) The Segmented Zambezi Sedimentary System from Source to Sink. 2. Geochemistry, Clay Minerals, and Detrital Geochronology. *J. Geology*, **130**, 171-208. <https://doi.org/10.1086/719166>
- 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., Najman Y., Peruta L., Villa I.M. (2013) Weathering geochemistry and Sr-Nd fingerprints of equatorial upper Nile and Congo muds. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **14**(2), 292-316. <https://doi.org/10.1002/ggge.20060>
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2010) Sedimentary systems of the Sylvisa series (Upper Vendian of the Middle Urals). Ekaterinburg, UrO RAN, 280 p. (In Russ.)
- Interpretation of geochemical data. (2001) (Ed. by E.V. Sklyarov). Moscow, Internet Engineering, 288 p. (In Russ.)
- Lagutenkova N.S., Chepikova I.K. (1982) Upper Precambrian deposits of the Volga-Ural region and prospects for their oil and gas potential. Moscow, Nauka Publ., 110 p. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2005) Sedimentary rocks: methods of studying and interpreting the obtained data. Ekaterinburg, UGGU, 289 p. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2012) Litho-geochemistry of terrigenous rocks of the Upper Precambrian of the Volga-Ural region. Ekaterinburg, RIO UrO RAN, 248 p. (In Russ.)
- 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>
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N. (2023) Intensity of chemical weathering in the Late Precambrian: new data on the Riphean stratotype (Southern Urals). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **31**(2), 109-124. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869592X23020060>
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Demchuk I.G. (1999) Fine-grained aluminosilicoclastics 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., Melnichuk O.Yu., Mizens G.A., Titov Yu.V., Chervyakovskaya M.V. (2020) Reconstruction of the composition of rocks of source provinces. Article 2. Litho- and isotope-geochemical approaches and methods. *Lithosphere (Russia)*, **20**(1), 40-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62>
- Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikova E.F., Turkina O.M., Grazhdankin D.V., Dmitrieva N.V., Isherskaya M.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L., Gareev E.Z., Veshcheva S.V., Lepikhina O.P. (2008) Geochemistry of fine-grained terrigenous rocks of the Upper Precambrian of Northern Eurasia. Ekaterinburg, UrO RAN, 274 p. (In Russ.)
- McLennan S.M., Fryer B.J., Young G.M. (1979) The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements. *Can. J. Earth Sci.*, **16**, 230-239. <https://doi.org/10.1139/e79-022>
- 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* (Ed. by M.J. Johnsson, A. Basu). *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **284**, 21-40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Oil and gas bearing and prospective complexes of the central and eastern regions of the Russian platform. (1969) V. I. Pre-Ordovician deposits of the central and eastern regions of the Russian platform. Leningrad, Nedra Publ., 168 p. (In Russ.)
- Postnikova I.E. (1977) Upper Precambrian of the Russian Plate and its oil potential. Moscow, Nedra Publ., 222 p. (In Russ.)
- Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology. (1983) (Ed. by B.M. Keller, N.M. Chumakov). Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russ.)
- Rudnick R.L., Gao S. (2014) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry* (Ed. by H.D. Holland, K.K. Turekian). Oxford, Elsevier, 1-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>
- Solovov A.P., Matveev A.A. (1985) Geochemical methods for searching for ore deposits. Moscow, MGU, 232 p. (In Russ.)
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The Continental Crust: Its Composition and Evolution: an Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Oxford, Blackwell, 312 p.
- Wronkiewicz D.J., Condie K.C. (1990) Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: cratonic evolution during the early Proterozoic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**(2), 343-354. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90323-D](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90323-D)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) Fundamentals of lithochemistry. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2015) Geochemical and mineralogical indicators of volcanic products in sedimentary strata. Moscow; Berlin, Direct-Media Publ., 724 p. (In Russ.)