

---

---

Научная статья

УДК 551

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-1

## ДИАГРАММЫ С ПОЛЯМИ СОСТАВА ПЕЛИТОВОЙ ФРАКЦИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ ПРИУСТЬЕВЫХ ЧАСТЕЙ РАЗНЫХ КАТЕГОРИЙ СОВРЕМЕННЫХ РЕК: ЕЩЁ ОДИН ПОДХОД К ВЕРИФИКАЦИИ

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*

По аналитическим данным, приведенным в публикациях [Савенко, 2006; Bayon et al., 2015], сопоставлено положение фигуративных точек пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей ряда крупных рек (реки категории 1 по [Bayon et al., 2015]: Амазонка, Конго, Миссисипи, Нигер, Янцзы, Маккензи, Волга, Дунай, Меконг, Амударья, Северная Двина и Луара) и их взвешенного материала на диаграммах  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  и  $(La/Yb)_N — Th$ . Пробы первых подверглись специальной обработке. Пробы вторых перед исследованием не были обработаны. Установлено, что точки состава обеих выборок на перечисленных выше диаграммах локализованы в поле тонкой (пелитовой) фракции донных осадков современных крупных рек, демонстрируя некоторый разброс для конкретных рек, но в целом не выходя за его пределы. Это дает дополнительное основание считать, что для расшифровки категорий рек, сформировавших те или иные осадочные последовательности, могут быть использованы не только специальным образом подготовленные пробы, но и данные, полученные по валовым/никак не обработанным образцам. На примере тонкой взвеси р. Замбези рассмотрены некоторые особенности использования диаграмм  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  и  $(La/Yb)_N — Th$ .

**Ключевые слова:** тонкая (пелитовая) взвесь современных рек разных категорий, геохимия, верификация диаграмм

**Благодарности:** Автор искренне признателен профессору Эдуардо Гарзанти (Dipartimento di Scienze dell' Ambiente e della Terra, Universita' Di Milano-Bicocca, Italia) за возможность использования аналитических данных по илам р. Замбези.

---

**Для цитирования:** Маслов А. В. Диаграммы с полями состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей разных категорий современных рек: ещё один подход к верификации // Геологический вестник. 2024. № 1. С. 3–12. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-1

**For citation:** Maslov A. V. (2024) Diagrams with composition fields of the pelitic fraction of bottom sediments in the estuarine parts of different modern river's categories: another approach to verification. *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 1. P. 3–12. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-1

© А. В. Маслов, 2024

Original article

## DIAGRAMS WITH COMPOSITION FIELDS OF THE PELITIC FRACTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE ESTUARINE PARTS OF DIFFERENT MODERN RIVER'S CATEGORIES: ANOTHER APPROACH TO VERIFICATION

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*

According to analytical data given in publications [Savenko, 2006; Bayon et al., 2015], compared the position of data points of pelitic fraction of bottom sediments in the estuarine parts of a number of large rivers (rivers of category 1 according to [Bayon et al., 2015]: Amazon, Congo, Mississippi, Niger, Yangtze, Mackenzie, Volga, Danube, Mekong, Amu Darya, Northern Dvina and Loire) and their suspended material on the  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  and  $(La/Yb)_N — Th$  diagrams. The first samples were subjected to special processing. The samples of the latter were not processed before the study. It has been established that the data points of both sample's groups in the above diagrams are localized in the field of fine-grained (pelitic) suspension of large rivers, demonstrating some scatter for specific rivers, but generally not going beyond its limits. This gives additional reason to believe that for decoding the categories of rivers that formed certain sedimentary sequences, not only specially prepared samples can be used, but also data obtained from bulk/unprocessed samples. At the example of a fine-grained suspension of Zambezi river (South Africa) considered some features of the use of  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  and  $(La/Yb)_N — Th$  diagrams were considered.

*Keywords:* fine-grained suspended particulate matter of modern rivers of different categories, geochemistry, verification of diagrams

*Acknowledgements:* The author is sincerely grateful to Professor Eduardo Garzanti (Dipartimento di Scienze dell' Ambiente e della Terra, Università Di Milano-Bicocca, Italy) for the opportunity to use analytical data on the silts of the Zambezi river.

### Введение

В 2017 г. в статье, опубликованной в журнале «Доклады академии наук» и посвященной, в том числе сопоставлению систематики редкоземельных элементов (РЗЭ) и Th в поверхностных донных осадках Каспийского моря и устьевых зонах рек Мира [Маслов и др., 2017], впервые использованы диаграммы  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  и  $(La/Yb)_N — \epsilon Nd(0)$  с полями состава пелитовой фракции (<2 мкм) донных осадков приустьевых частей различных категорий современных рек. Указанные поля были построены нами по данным из публикации [Bayon et al., 2015], в которой суммирована информация о составе пелитового и алевроитового материала приустьевых частей более 50 современных рек четырех категорий: 1) крупные реки (World's major rivers), т. е. реки с площадью водосборного бассейна >100000 км<sup>2</sup>; 2) реки, дренирующие осадочные образования (rivers draining «mixed/sedimentary» formations), площадь водосборного бассейна которых <100000 км<sup>2</sup>; 3) реки, питающиеся продукта-

ми размыва «магматических/метаморфических» террейнов (rivers draining «igneous/metamorphic» terranes); 4) реки, дренирующие вулканические породы (rivers draining «volcanic» rocks).

Позднее этот подход был использован при рассмотрении особенностей распределения РЗЭ и Th во взвешенном материале крупных рек Российской Арктики [Маслов, Шевченко, 2019]. В результате сделан вывод, что их пелитовый и алевроито-пелитовый материал принадлежит в основном к категориям 1 и 2 взвеси мировых рек, а также категории 4. Взвеси, сходные по распределению РЗЭ и Th с материалом, относящимся к донным осадкам устьевых зон рек категории 3 для рек Российской Арктики, за исключением взвеси р. Лена (по  $(La/Yb)_N$  и  $Eu/Eu^*$ ), не характерны.

Выполненное тогда же [Маслов, 2019] сопоставление особенностей распределения лантаноидов и Th в глинистых породах рифея Южного Урала и в пелитовой фракции донных отложений приустьевых частей различных категорий современных рек позволило установить, что присутствующие в типовом разрезе рифея глинистые

породы образованы за счет размыва в основном осадочных и/или осадочно-метаморфических комплексов, существовавших в дорифее или рифее на востоке Восточно-Европейской платформы (т. е. сложены они в основном тонкой алюмосиликокластикой, поставившейся в области осадконакопления реками категорий 1 и 2), что хорошо видно по распределению фигуративных точек глинистых пород различных свит рифея на парных диаграммах  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$ ,  $(La/Yb)_N — (Eu/Sm)_N$  и  $(La/Yb)_N — Th$ . Впоследствии такой подход позволил проанализировать и другие осадочные последовательности рифея и не только его.

Вместе с тем использование нами в рамках указанного подхода аналитических данных для валовых проб, которые сопоставлялись с аналогичными данными, полученными для специально обработанных проб (удаление нетерригенных носителей РЗЭ — карбонатных минералов, оксигидроксидов Fe — Mn и органических компонентов) вызывало достаточно сильные возражения рецензентов, заставляя искать контраргументы. Именно этим, в частности, объясняется компоновка публикации [Маслов, Шевченко, 2019], где изложению фактического материала предпослан разбор таблицы (Содержания РЗЭ во взвеси и донных осадках (пелиты и алеврито-пелиты) устьевых частей ряда рек и значения некоторых параметров, нормированных на хондрит их спектров распределения) и построенного на ее основе рисунка (Нормированное к хондриту распределение РЗЭ во взвеси и пелитовой фракции современных донных осадков устьевых частей ряда рек Мира).

Благодаря такому приему удалось обосновать тезис о том, что суммированные в работе [Bayon et al., 2015] аналитические материалы для донных осадков устьевых зон современных рек различных категорий, как алевритового (2–63 мкм), так и пелитового (<2 мкм) состава, можно в первом приближении рассматривать как отражающие характерные черты взвеси, транспортируемой реками в морские бассейны из различных питающих провинций. Было показано, что распределение РЗЭ в тонкой алюмосиликокластике различных категорий рек описывается двумя сценариями. В первом параметры нормированных на хондрит спектров РЗЭ во взвеси и в пелитовой фракции донных осадках приустьевых частей рек заметно отличаются. Во втором значения параметров спектров РЗЭ для взвеси и пелитовой фракции донных осадков схожи. Кроме того, так как тонкая речная взвесь не представлена только пелитом, то присутствие

в ней какой-то доли алеврита и тонкого песка ведет к той или иной трансформации распределения РЗЭ. Именно это является причиной не полного наследования состава взвеси донными осадками приустьевых частей рек и различий параметров нормированных на хондрит спектров РЗЭ. Однако на сказанное часто приходится в определенной мере закрывать глаза [Маслов, Шевченко, 2019].

Есть еще одна, ранее не использованная, возможность проверить корректность нашего подхода и разработанных в его рамках парных диаграмм. Это сравнение положения на последних точках состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых участков рек (данные для специальным образом обработанных проб) из работы [Bayon et al., 2015] и точек состава взвешенных наносов тех же рек, аналитические данные для которых суммированы в монографии [Савенко, 2006]. Пробы взвеси не подверглись перед исследованиями какой-либо предварительной обработке.

### Фактический материал

Таким образом, в настоящей публикации мы сравниваем особенности локализации на диаграммах  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  и  $(La/Yb)_N — Th$  фигуративных точек пелитовых (<2 мкм) фракций донных осадков приустьевых частей рек Амазонка, Конго, Миссисипи, Нигер, Янцзы, Маккензи, Волга, Дунай, Меконг, Амударья, Северная Двина и Луара (все они относятся к рекам категории 1 по классификации [Bayon et al., 2015]) и точек состава взвешенных наносов тех же рек, данные по содержанию РЗЭ и Th для которых приведены в работе [Савенко, 2006] (табл. 1). К сожалению, иных «пересечений данных» для крупных рек в указанных публикациях нет. Для иллюстрации ряда моментов, связанных с использованием упомянутых диаграмм, привлечены также аналитические данные для илов р. Замбези (табл. 2), питающейся обломочным материалом из разных по возрасту и составу источников, заимствованные из Дополнительных материалов к работе [Garzanti et al., 2022].

### Обсуждение фактического материала

На диаграмме  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  (рис. 1 а) точки состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей крупных современных рек (Амазонка, Миссисипи, Нигер, Янцзы, Маккензи, Волга, Дунай, Меконг, Амударья, Северная Двина

**Таблица 1. Содержание РЗЭ и Th (мкг/г), а также значения некоторых параметров нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в пелитовой фракции донных осадков и взвешенных наносах ряда крупных рек**  
**Table 1. REE and Th contents ( $\mu\text{g/g}$ ), as well as the values of some parameters of the REE spectra normalized to chondrite in pelitic fractions of the bottom sediments and suspended particulate matters of some large rivers**

Крупные реки	Данные из работы [Bayon et al., 2015]							
	La	Sm	Eu	Gd	Yb	Th	(La/Yb) <sub>N</sub>	Eu/Eu*
Амазонка (1)	53.10	9.43	1.90	7.50	3.18	22.30	11.28	0.69
Конго (2)	56.70	8.28	1.77	5.87	2.34	17.60	16.37	0.78
Миссисипи (3)	47.10	7.61	1.58	6.25	2.98	15.90	10.68	0.70
Нигер (5)	58.20	7.64	1.57	5.43	2.10	15.00	18.73	0.74
Янцзы (6)	44.70	6.77	1.41	5.59	3.04	21.20	9.94	0.70
Маккензи (7)	52.20	6.92	1.43	5.39	3.12	16.40	11.31	0.72
Волга (8)	35.90	6.08	1.35	5.33	2.71	12.10	8.95	0.72
Дунай (11)	35.80	3.95	0.80	3.08	1.67	10.60	14.49	0.70
Меконг (12)	45.30	7.96	1.75	7.02	3.50	19.50	8.75	0.72
Амударья (14)	27.50	4.59	0.95	3.89	2.47	13.00	7.52	0.69
Северная Двина (16)	47.70	7.27	1.53	5.72	2.45	12.40	13.16	0.73
Луара (22)	48.50	7.43	1.57	5.78	2.43	17.40	13.49	0.73
Крупные реки	Данные из работы [Савенко, 2006]							
	La	Sm	Eu	Gd	Yb	Th	(La/Yb) <sub>N</sub>	Eu/Eu*
Амазонка (1)	43.50	8.13	1.54	5.52	2.46	13.00	11.95	0.70
Конго (2)	50.50	7.10	1.60	2.50	2.50	15.20	13.65	1.16
Миссисипи (3)	19.20	3.35	0.70	3.03	1.19	—	10.90	0.67
Нигер (5)	78.00	13.00	2.45	9.10	4.20	20.70	12.55	0.69
Янцзы (6)	40.40	7.01	1.55	5.86	2.43	13.60	11.23	0.74
Маккензи (7)	31.40	5.30	1.12	4.86	2.46	10.30	8.63	0.67
Волга (8)	32.10	5.70	1.29	4.96	2.29	9.40	9.47	0.74
Дунай (11)	28.00	6.30	1.50	—	4.60	15.70	4.11	—
Меконг (12)	43.90	7.60	1.60	6.49	3.31	17.00	8.96	0.70
Амударья (14)	24.60	4.20	0.96	3.99	2.06	10.20	8.07	0.72
Северная Двина (16)	27.90	4.80	1.10	4.04	2.25	7.90	8.38	0.76
Луара (22)	50.80	8.00	1.69	—	2.90	14.70	11.84	—

Примечание. Цифры в скобках у названий рек — номера рек в работе [Bayon et al., 2015]. «<sub>N</sub>» — содержание элемента нормировано на хондрит [Taylor, McLennan, 1985]. Расчет величины Eu/Eu\* здесь и далее выполнен по формуле  $\text{Eu}_N/\sqrt{(\text{Sm}_N \cdot \text{Gd}_N)}$ . Прочерк — нет данных.

Note. Dash — no data. The numbers in brackets next to the river names are the river numbers in [Bayon et al., 2015]. «<sub>N</sub>» — element content normalized to chondrite [Taylor, McLennan, 1985]. The Eu/Eu\* value is calculated here and below using the formula  $\text{Eu}_N/\sqrt{(\text{Sm}_N \cdot \text{Gd}_N)}$ .

**Таблица 2. Содержание ряда основных породообразующих компонентов (мас. %), редких и рассеянных элементов (мкг/г) и значения некоторых индикаторных соотношений в илах различных участков р. Замбези, по [Garzanti et al., 2022]**  
**Table 2. Contents of a number of main rock-forming components (wt. %), trace elements (µg/g) and the values of some indicator ratios in the silts of different sections of the Zambezi river, according to [Garzanti et al., 2022]**

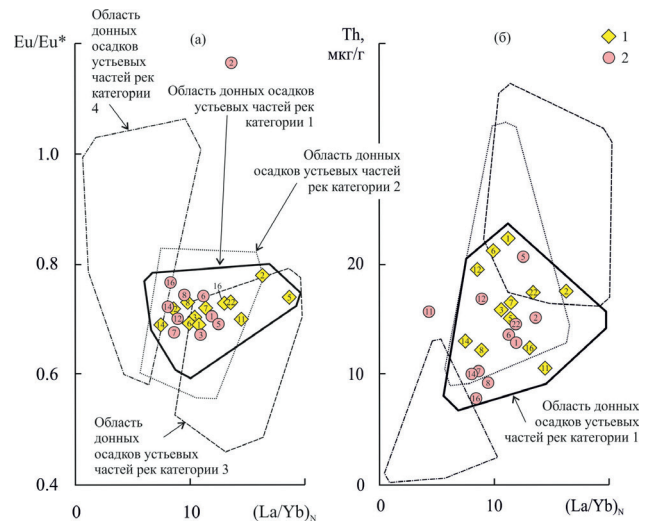
Компоненты, отношения	Самая Верхняя Замбези			Верхняя Замбези			
	Образец						
	M4297	m4296	M4295	M4293	M4289	M4287	M4286
SiO <sub>2</sub>	55.36	53.47	51.10	45.45	54.02	44.43	50.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.01	16.10	18.60	14.60	10.61	14.16	12.71
LOI	18.10	n. d.	14.50	14.70	20.10	13.90	17.60
Sc	17.00	16.00	24.00	32.00	18.00	31.00	21.00
Co	24.90	15.10	29.80	44.90	22.60	35.60	33.90
La	33.80	48.30	45.50	29.00	27.60	25.10	29.80
Sm	6.78	8.49	8.48	9.22	6.17	8.21	6.68
Eu	1.48	1.64	1.89	2.69	1.46	2.39	1.64
Gd	6.16	7.76	8.18	8.90	5.80	7.80	6.49
Yb	3.47	4.58	4.27	3.45	3.87	2.55	3.12
Th	11.30	21.60	18.10	4.00	9.70	2.70	8.60
(La/Yb) <sub>N</sub>	6.58	7.13	7.20	5.68	4.82	6.65	6.45
Eu/Eu*	0.70	0.62	0.69	0.91	0.75	0.91	0.76
Th/Sc	0.66	1.35	0.75	0.13	0.54	0.09	0.41
La/Sc	1.99	3.02	1.90	0.91	1.53	0.81	1.42
Th/Co	0.45	1.43	0.61	0.09	0.43	0.08	0.25
Компоненты, отношения	Верхняя Замбези	Средняя Замбези		Нижняя Замбези			
	Образец						
	M4286c	m5765	m5766	M5773	m5779	m5780	m5783
SiO <sub>2</sub>	51.35	46.75	49.45	46.35	47.12	42.17	48.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.41	16.49	16.44	17.66	16.79	19.25	16.27
LOI	16.50	15.30	13.60	16.20	19.20	16.50	12.50
Sc	23.00	22.00	22.00	24.00	17.00	30.00	23.00
Co	29.20	33.30	31.60	32.20	20.00	39.90	42.80
La	32.50	73.10	74.70	57.50	49.10	66.40	70.10
Sm	7.26	12.30	12.61	12.73	7.26	11.74	11.86
Eu	1.62	2.31	2.36	2.58	1.75	2.64	2.29
Gd	7.03	10.92	11.48	11.78	6.44	10.16	10.88
Yb	4.75	5.06	5.43	5.51	2.66	4.07	4.91
Th	11.60	30.40	30.90	13.00	11.10	11.30	27.50
(La/Yb) <sub>N</sub>	4.62	9.76	9.30	7.05	12.47	11.02	9.65
Eu/Eu*	0.69	0.61	0.60	0.64	0.78	0.74	0.62
Th/Sc	0.50	1.38	1.40	0.54	0.65	0.38	1.20
La/Sc	1.41	3.32	3.40	2.40	2.89	2.21	3.05
Th/Co	0.40	0.91	0.98	0.40	0.56	0.28	0.64



и Луара), аналитические данные для которых получены по специальному образом обработанным пробам и приведены в работе [Bayon et al., 2015], образуют поле, описываемое значениями  $7 < (La/Yb)_N < 20$  и  $0.60 < Eu/Eu^* < 0.80$ . В это же поле попадают практически все (за исключением точки взвешенных наносов р. Конго) фигуративные точки взвесей тех же рек, данные по которым собраны в монографии [Савенко, 2006]. Последние пробы, напомним, не подверглись какой-либо предварительной обработке.

Практически аналогичную ситуацию можно наблюдать и на диаграмме  $(La/Yb)_N — Th$  (см. рис. 1 б). Здесь фигуративные точки пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей крупных рек, аналитические данные для которых получены по специально обработанным пробам [Bayon et al., 2015], образуют поле, описываемое значениями  $7 < (La/Yb)_N < 20$  и  $6 < Th < 23$ . В этом же поле оказываются локализованы и практически все точки состава перечисленных рек, если мы используем данные о содержании лантаноидов и Th в их взвесах, приведенные в публикации [Савенко, 2006]. Единственное исключение — взвесь р. Дунай; ее фигуративная точка расположена достаточно близко, но все же вне контура поля пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей современных рек категории 1 (реки с площадью водосбора  $>100000$  км<sup>2</sup>).

Таким образом, очевидно, что в целом фигуративные точки пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей крупных рек и их взвесей, данные для которых приведены в работах [Савенко, 2006; Bayon et al., 2015], локализованы на диаграммах  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  и  $(La/Yb)_N — Th$  в одном и том же поле состава тонкой (пелитовой) алюмосиликокластики современных рек категории 1. Хорошо также видно, что вариации значений  $(La/Yb)_N$  и  $Eu/Eu^*$ , как и содержания Th, для одной и той же реки в обеих указанных публикациях варьируют (табл. 3), что приводит к заметному разбросу точек. Так, величина  $(La/Yb)_N$  для пелитовой фракции поверхностных донных осадков р. Маккензи, рассчитанная по данным [Bayon et al., 2015], составляет 131% от ее значения для взвешенных наносов этой же реки, рассчитанного по данным [Савенко, 2006]. Параметр  $Eu/Eu^*$  для пелитовой фракции донных осадков и взвеси р. Маккензи, рассчитанный по данным обеих указанных работ, отличается только на 7%, тогда как содержание Th в публикации [Савенко, 2006, со ссылкой на [Gaillardet et al., 1999], составляет



**Рис. 1. Положение фигуративных точек состава пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей и взвешенного материала ряда крупных рек (реки категорий 1) на диаграммах  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  (а) и  $(La/Yb)_N — Th$  (б)**

Условные обозначения: 1 — данные из публикации [Bayon et al., 2015]; 2 — данные из работы [Савенко, 2006].

Числами на рисунке показаны точки состава пелитовых фракций осадков и взвеси следующих рек (в соответствии с их номерами в публикации [Bayon et al., 2015]): 1 — Амазонка; 2 — Конго; 3 — Миссисипи; 5 — Нигер; 6 — Янцзы; 7 — Маккензи; 8 — Волга; 11 — Дунай; 12 — Меконг; 14 — Амударья; 16 — Северная Двина; 22 — Луара.

**Fig. 1. Position of data points of the pelitic fractions of near mouth bottom sediments and suspended particulate matter of a number of large rivers (rivers of category 1) on the  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  (a) and  $(La/Yb)_N — Th$  (b) diagrams**  
Legend: 1 — data from [Bayon et al., 2015]; 2 — data from [Savenko, 2006].

The numbers in the figure show the data points of the pelitic fractions of near mouth bottom sediments and suspended particulate matter in the following rivers (in accordance with their numbers in the publication [Bayon et al., 2015]): 1 — Amazon; 2 — Congo; 3 — Mississippi; 5 — Niger; 6 — Yangtze; 7 — Mackenzie; 8 — Volga; 11 — Danube; 12 — Mekong; 14 — Amu Darya; 16 — Northern Dvina; 22 — Loire.

~160% от содержания данного элемента, приведенного в работе [Bayon et al., 2015].

Из сказанного хорошо видно, что использование валовых/специальным образом не обработанных проб, позволяет получить с помощью наших диаграмм достаточно корректные результаты относительно категорий рек, транспортирующих сейчас, и транспортировавших, очевидно, в геологическом прошлом, тонкую алюмосиликокластику в приемные бассейны.

Несомненно, однако, что все сказанное выше — это предельное упрощение реальных ситуаций. Проиллюстрировать данный тезис

можно на примере южноафриканской р. Замбези, минеральный и химический состав песчаных и пелитовых осадков которой от истоков до устья подробно исследован в последние годы итальянскими специалистами под руководством профессора Э. Гарзанти.

Замбези — крупнейшая река юга Африки. Ее длина 2575 км, а площадь водосборного бассейна  $\sim 1.4 \times 10^6$  км<sup>2</sup>. Река берет начало на северо-западе Замбии, пересекает докембрийский фундамент на востоке Анголы, течет через низкогорное покрытое эоловыми песками (во время пика паводка пойма Замбези достигает здесь ширины  $\sim 30$  км) плато Калахари, минует область распространения базальтов Кару, размывает кристаллические породы докембрийского фундамента и осадочные образования мезо-кайнозоя. Взвешенный и влекомый материал Замбези (до 50–100 млн тонн/год) в итоге аккумулируется на пассивной

окраине Африки, омываемой Индийским океаном. Различные геолого-геоморфологические особенности реки, в той или иной мере закрепленные сооружением на ней во второй половине XX в. плотин и появлением крупных озер/водохранилищ (так, оз. Кариба имеет длину 223 км и объем 185 км<sup>3</sup>, являясь крупнейшим искусственным водоемом в мире), позволяет подразделить ее на несколько участков [Garzanti et al., 2021, 2022 и ссылки в этих работах]: а) Самая Верхняя Замбези, от истоков до впадения р. Квандо; б) Верхняя Замбези, включающая водопад Виктория, от устья р. Квандо до оз. Кариба; в) Средняя Замбези, между озерами Кариба и Кахора-Басса; г) Нижняя Замбези ниже оз. Кахора-Басса. Для Самой Верхней Замбези характерны в основном чистые кварцевые пески, образованные за счет переработки дюн пустыни Калахари. Ниже слияния с р. Квандо Верхняя Замбези врезается в базальтовые лавы Серии Кару

**Таблица 3. Сопоставление значений  $(La/Yb)_N$  и  $Eu/Eu^*$  и содержания Th (мкг/г) в пелитовых фракциях донных осадков приустьевых частей рек категории 1 [Bayon et al., 2015] и их взвешенных наносов [Савенко, 2006]**  
**Table 3. Comparison of  $(La/Yb)_N$  and  $Eu/Eu^*$  values and Th content ( $\mu\text{g/g}$ ) in pelitic fractions of bottom sediments of the estuarine parts of category 1 rivers [Bayon et al., 2015] and their particulate suspended matters [Savenko, 2006]**

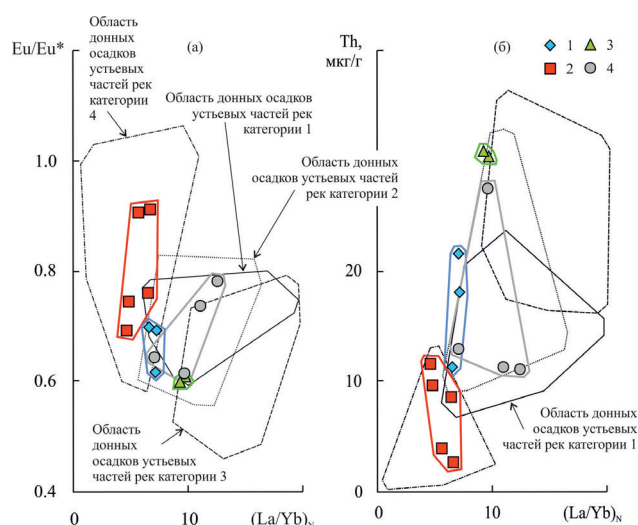
Крупные реки	$(La/Yb)_N$		В/С	$Eu/Eu^*$		В/С	Th, мкг/г		В/С
	[Bayon et al., 2015]	[Савенко, 2006]		[Bayon et al., 2015]	[Савенко, 2006]		[Bayon et al., 2015]	[Савенко, 2006]	
Амазонка (1)	11.28	11.95	94	0.69	0.70	99	22.30	13.00	172
Конго (2)	16.37	13.65	120	0.78	1.16	67	17.60	15.20	116
Миссисипи (3)	10.68	10.90	98	0.70	0.67	104	15.90	—	—
Нигер (5)	18.73	12.55	149	0.74	0.69	107	15.00	20.70	72
Янцзы (6)	9.94	11.23	89	0.70	0.74	95	21.20	13.60	156
Маккензи (7)	11.31	8.63	131	0.72	0.67	107	16.40	10.30	159
Волга (8)	8.95	9.47	95	0.72	0.74	97	12.10	9.40	129
Дунай (11)	14.49	4.11	353	0.70	—	—	10.60	15.70	68
Меконг (12)	8.75	8.96	98	0.72	0.70	103	19.50	17.00	115
Амударья (14)	7.52	8.07	93	0.69	0.72	96	13.00	10.20	127
Северная Двина (16)	13.16	8.38	157	0.73	0.76	96	12.40	7.90	157
Луара (22)	13.49	11.84	114	0.73	—	—	17.40	14.70	118

Примечание. В/С — отношение величины того или иного параметра, рассчитанной нами по данным работы [Bayon et al., 2015], к его величине, рассчитанной по данным публикации [Савенко, 2006] (в %). Прочерк — нет данных.  
 Note. В/С is the ratio of the value of a particular parameter, calculated by us according to the data of [Bayon et al., 2015], to its value calculated according to the publication [Savenko, 2006] (in %%).

и ее осадки обогащаются базальтовой кластикой. Средняя Замбези течет среди перекрытых базальтами осадочных пород пермско-триасового и ордовикско-девонского возраста. Притоки Средней Замбези дренируют гнейсы и метаосадочные породы. В нижнем течении Замбези распространены кварцево-полевошпатовые пески, образованные за счет эрозии пород докембрийского фундамента (гранатовые гранулиты, мигматито-гнейсы, кристаллические сланцы), вскрывающихся на дневной поверхности к югу от Восточно-Африканской рифтовой системы. Источниками кластики здесь выступают и осадочные породы перми и триаса, а также мела и кайнозоя Мозамбикской низменности.

Указанные особенности строения и состава водосборного бассейна р. Замбези, несмотря на наличие крупных искусственных ловушек влекомого и взвешенного материала/плотин и озер-водохранилищ, достаточно хорошо отражаются в литогеохимических характеристиках и песков и алеврито-пелитового материала (см. табл. 2). Так, для тонкозернистой взвеси Верхней Замбези, дренирующей, в том числе и основные вулканы Серии Кару, характерны наименьшие средние значения индикаторных отношений  $Th/Sc$ ,  $La/Sc$  и  $Th/Co$  (соответственно  $0.33 \pm 0.21$ ,  $1.22 \pm 0.33$  и  $0.25 \pm 0.17$ ), отражающие присутствие в них продуктов размыва основных магматических пород, тогда как аналогичные по гранулометрическому составу взвеси Самой Верхней Замбези обладают средними значениями, например,  $Th/Sc$  и  $La/Sc$   $0.92 \pm 0.37$  и  $2.30 \pm 0.62$ . Тонкая взвесь Верхней Замбези обладает и самыми низкими средней величиной  $Eu/Eu^*$  и содержанием  $Th$  ( $0.80 \pm 0.10$  и  $7.60 \pm 3.91$  мкг/г), что также связано со специфическим составом пород этой части водосборного бассейна.

На диаграмме  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  (рис. 2 а) фигуративные точки тонкой взвеси Самой Верхней, Средней и Нижней Замбези в основном тяготеют к полю составов пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей рек категории 1 (крупные реки). Точки состава тонкой алюмосиликокластики Верхней Замбези, напротив, сосредоточены в поле пелитовых фракций донных осадков современных рек категории 4 (реки, дренирующие водосборы, сложенные вулканическими породами). Примерно такую же картину мы видим и на графике  $(La/Yb)_N — Th$  (см. рис. 2 б), но здесь точки тонкой взвеси Средней Замбези локализованы в поле пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей современных рек ка-



**Рис. 2. Положение точек состава тонкой (< 32 мкм) взвеси различных сегментов реки Замбези на диаграммах  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  (а) и  $(La/Yb)_N — Th$  (б)**  
Условные обозначения: 1 — Самая Верхняя Замбези; 2 — Верхняя Замбези; 3 — Средняя Замбези; 4 — Нижняя Замбези.

**Fig. 2. Position of data points of the fine-grained (< 32 μm) suspended particulate matter in different segments of the Zambezi River on the  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  (a) and  $(La/Yb)_N — Th$  (b) diagrams**

Legend: 1 — Uppermost Zambezi; 2 — Upper Zambezi; 3 — Middle Zambezi; 4 — Lower Zambezi.

тегории 3 (реки, питающихся продуктами размыва «магматических/метаморфических» террейнов), что также в целом не противоречит общей геологической ситуации. Точки состава тонкой взвеси Нижней Замбези отвечают на данной диаграмме, как и на диаграмме  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$ , полю пелитовых фракций донных осадков рек категории 1. Таким образом, если исследовать только пробы взвеси, отобранные в приустьевой части р. Замбези (а в публикации [Bayon et al., 2015] использован именно такой подход), то их геохимические характеристики никак не отразят описанные выше вариации состава комплексов пород водосборного бассейна, но совершенно точно покажут, что мы имеем дело с тонкой взвесью реки категории 1. Хотя и это может быть только следствием того, что в строении водосбора Нижней Замбези велика доля осадочных пород.

## Заключение

Описанный в данной заметке прием для верификации парных диаграмм  $(La/Yb)_N — Eu/Eu^*$  и  $(La/Yb)_N — Th$  с полями состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых участков



различных категорий современных рек еще раз показал, что геохимические характеристики валовых проб глинистых пород могут быть в самом общем виде использованы для реконструкции категорий водных артерий (крупные реки, реки, дренирующие осадочные, магматические и метаморфические или вулканические образования), выступавших агентами транспортировки громадных объемов тонкой алюмосиликокластики в конечные водоемы стока геологического прошлого.

### Список литературы

Маслов А. В. К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала // Известия вузов. Геология и разведка. — 2019. — № 5. — С. 28–36.

Маслов А. В., Козина Н. В., Шевченко В. П., Ключиткин А. А., Сапожников Ф. В., Завьялов П. О. Систематика редкоземельных элементов в современных донных осадках Каспийского моря и устьевых зон рек Мира: опыт сопоставления // Докл. АН. — 2017. — Т. 475. — № 2. — С. 195–201.

Маслов А. В., Шевченко В. П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек Мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. — 2019. — Т. 64. — № 1. — С. 59–78.

Савенко В. С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. — М.: ГЕОС, 2006. — 174 с.

Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J. A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2015. V. 170. P. 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.001>

Gaillardet J., Dupre B., Allegre C.J. Geochemistry of large river suspended sediments: Silicate weathering or recycling tracer? // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1999. V. 63. P. 4037–4051. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00307-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00307-5)

Garzanti E., Bayon G., Dinis P., Vermeesch P., Pastore G., Resentini A., Barbarano M., Ncube L., Van Niekerk H. J. The Segmented Zambezi Sedimentary System from Source to Sink: 2. Geochemistry, Clay Minerals, and Detrital Geochronology // *J. Geol.* 2022. V. 130. P. 171–208. <https://doi.org/10.1086/719166>

Garzanti E., Pastore G., Resentini A., Vezzoli G., Vermeesch P., Ncube L., Van Niekerk H. J., Jouet G., Dall'Asta M. The Segmented Zambezi Sedimentary System from Source to Sink 1. Sand Petrology and Heavy Minerals // *J. Geol.* 2021. V. 129. P. 343–369. <https://doi.org/10.1086/715792>

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. (2019) To reconstruction of the river's categories which formed sedimentary basins of Riphean basins in the region of the Eastern European platform and modern South Urals juncture. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration*, (5), 28–36. (In Russian).

Maslov A. V., Kozina N. V., Shevchenko V. P., Klyuvitkin A. A., Sapozhnikov Ph. V., Zavalov P. O. (2017) REE Systematics in Modern Bottom Sediments of the Caspian Sea and River Deltas Worldwide: Experience of Comparison. *Doklady Earth Sci.*, 475 (1), 797–802. DOI: 10.1134/S1028334X17070170 (In Russian).

Maslov A. V., Shevchenko V. P. (2019) REE — Th Systematics of the Suspended Particulate Matter and Bottom Sediments from the Mouth Zones of the World Rivers of Different Categories/Classes and Some Large Russian Arctic Rivers. *Geochemistry Int.*, 57 (1), 56–73. DOI: 10.1134/S0016702919010075 (In Russian).

Savenko V. S. (2006) Khimicheskiy sostav vzveshenykh nanosov rek mira [Chemical composition of suspended sediments of the world's rivers]. Moscow: GEOS, 174 p. (In Russian).

Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J. A. (2015) Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 170, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.001>

Gaillardet J., Dupre B., Allegre 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., 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. Geol.*, 130, 171–208. <https://doi.org/10.1086/719166>

Garzanti E., Pastore G., Resentini A., Vezzoli G., Vermeesch P., Ncube L., Van Niekerk H. J., Jouet G., Dall'Asta M. (2021) The Segmented Zambezi Sedimentary System from Source to Sink 1. Sand Petrology and Heavy Minerals. *J. Geol.*, 129, 343–369. <https://doi.org/10.1086/715792>

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 11.12.2023; одобрена после рецензирования 09.01.2024; принята к публикации 25.03.2024.

The article was submitted 11.12.2023; approved after reviewing 09.01.2024; accepted for publication 25.03.2024.