

ВОЗМОЖНЫЕ «АКТУАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ» ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЛИТОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ РИФЕЯ И ВЕНДА УРАЛА

А. В. Маслов

*Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: amas2004@mail.ru*

Выполнено сравнение средних величин индекса химического изменения (СИА) для глинистых пород ряда литостратиграфических подразделений стратотипа рифея с известными в литературе значениями СИА для осадков современных крупных рек различных климатических зон. Это позволяет видеть определенное сходство между глинистыми породами айской, зигазино-комаровской, авзянской, зильмердакской и инзерской свит и осадками современных рек умеренного, гумидного и сухого субтропического климата. Тонкозернистые обломочные породы, присутствующие в разрезах бакальской и машакской свит, сопоставимы по значениям СИА_{среднее} с взвешенным материалом современных рек гумидного и сухого тропического климата. Такое же сопоставление величин СИА, характерных для тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных регионов венда западного склона Среднего Урала и осадков современных крупных рек разных климатических зон, дает возможность считать, что глинистые породы венда Среднего Урала сопоставимы по средним значениям СИА с отложениями крупных рек умеренного, сухого и гумидного субтропического климата.

Ключевые слова: рифей, венд, Южный Урал, Средний Урал, палеоклимат, тонкозернистые обломочные/глинистые породы

POSSIBLE “CURRENT CLIMATE IMAGES” OF DEPOSITS OF VARIOUS LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS OF THE URAL’S RIPHEAN AND VENDIAN

A. V. Maslov

*Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077,
Russia, E-mail: amas2004@mail.ru*

The average values of the chemical index of alteration (CIA) for clayey rocks of a number of lithostratigraphic units of the Riphean stratotype are compared with the CIA values known in the literature for the sediments of modern large rivers of different climatic zones. This allows one to see a certain similarity between the clayey rocks of the Ai, Zigazino-Komarovo, Avzyan, Zilmerdak and Inzer formations and the sediments of modern rivers of a temperate, humid, and dry sub-tropical climate. Fine-grained clastic/clayey rocks present in the sections of the Bakal and Mashak formations are comparable in terms of CIA_{average} to the particulate suspended material of modern rivers of humid and dry tropical climates. The same comparison of the CIA values characteristic of fine-grained clastic rocks of various Vendian regional stages of the western slope of the Middle Urals and sediments of modern large rivers of different climatic zones makes it possible to assume that the Vendian clay rocks of the Middle Urals are comparable in average CIA values with the sediments of large rivers of temperate, dry and humid subtropical climate.

Keywords: Riphean, Vendian, Southern Urals, Middle Urals, paleoclimate, fine-grained clastic/clayey rocks

Для цитирования: Маслов А.В. Возможные «актуальные климатические образы» отложений различных литостратиграфических единиц рифея и венда Урала // Геологический вестник. 2021. № 1. С. 38–45. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-4.

For citation: Maslov A.V. (2021) Possible “current climate images” of deposits of various lithostratigraphic units of the Ural’s Riphean and Vendian. *Geologicheskii vestnik*. No. 1. P. 38–45. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-4.

Реконструкция климатических обстановок осадконакопления далекого геологического прошлого задача весьма непростая. Сложность ее тем выше, чем с более древними отложениями имеет дело исследователь. В итоге в большинстве работ, рассматривающих или так или иначе соприкасающихся с этой проблемой при изучении докембрийских осадочных последовательностей, авторы оперируют с некими числовыми индикаторами интенсивности процессов выветривания, например, ГМ [Юдович, Кетрис, 2000 и др.], CIA [Nesbitt, Young, 1982], CIW [Harnois, 1988], PIA [Fedó et al., 1995] и другими. При этом чем выше или ниже величина того или иного индикатора, тем, соответственно, выше или ниже интенсивность процессов выветривания на палеоводосборах. Есть здесь и некоторые рубежи, разделяющие, по мнению авторов указанных модулей и индексов, отложения разных климатических обстановок. Так, считается, например, что величина CIA = 70 разграничивает отложения холодного/аридного и гумидного климата [Bahlburg, Dobrzinski, 2011].

Описанная процедура давно превратилась в рутинную. Она присутствует в громадном числе публикаций, в том числе в работе [González-Álvarez, Kerrich, 2012], посвященной сопоставлению интенсивности процессов выветривания в мезопротерозое и при накоплении отложений современных крупных речных систем. Авторами названной публикации показано, что среднее значение индекса химического изменения (CIA) для аргиллитов мезопротерозойской надсерии Белт-Перселл Скалистых гор составляет 72 ± 6 . С учетом того, что указанные аргиллиты характеризуются низкими концентрациями Sr, Ca и Na, но имеют высокие величины отношения Rb/Sr, это позволяет думать, что формирование осадочного выполнения бассейна Белт шло за счет продуктов размыва интенсивно выветрелых в условиях жаркого и влажного, но с периодами аридизации, климата водосборов. Ковариации CIA и Eu/Eu*, а также Sr и Eu/Eu* в аргиллитах согласуются с предположением о существовании во время накопления отложений надсерии Белт-Перселл водосборов большой площади (по седиментологическим и другим данным реки, питавшие бассейн Белт обломочным материалом, относились к категории крупных и весьма крупных [Winston, 1973, 1978, 1990 и др.]), включавших как обширные области выветрелых пород, характеризовавшихся наиболее высокими CIA и Eu/Eu*, так и менее выветрелые пространства с более низкими CIA [González-Álvarez, Kerrich,

2012]. В общем — все стандартно и без неожиданностей...

Важно, однако, что авторы работы [González-Álvarez, Kerrich, 2012] пошли несколько дальше и сопоставили свойственные аргиллитам надсерии Белт-Перселл значения CIA с теми, что характерны осадкам различных современных крупных речных систем. В результате ими сделан вывод, что тонкая алюмосиликокластика, слагающая осадочные последовательности бассейна Белт, сопоставима по присущим ей значениям химического индекса изменения с осадками крупных рек, дренирующих области гумидного умеренного и тропического климата (pp. Ориноко, Нил, Амазонка и др.). В условиях более интенсивного химического выветривания формировался материал, слагающий аргиллиты формаций Аппекуни и Гриннел. Так как они имеют CIA $\sim 80 \pm 5$, то, по всей видимости, сложены продуктами химического выветривания, сходного по своей интенсивности с тем, что имеет место в обстановках гумидного тропического климата (типичный пример — осадки pp. Парана, Меконг и др.).

Такой подход достаточно изящен, но не лишен значительного количества подводных камней. Во-первых, крупные реки могут пересекать несколько климатических поясов. В нашей стране прекрасный пример такой ситуации — р. Волга [Законнов, 2007 и др.]. В Южной Азии — р. Ганг. Истоки Ганга расположены в холодной климатической области в Гималаях, нижнее течение приходится на субгумидную тропическую область. По данным [Singh, 2009, 2010; González-Álvarez, Kerrich, 2012], значения CIA для осадков Ганга изменяются от 49–55 в Гималаях до 55–74 на тропических равнинах. Варьируют величины CIA и в осадках разных осадочных подсистем р. Ганг одной и той же климатической области. В публикациях [Vital, Statterger, 2000; Dosseto et al., 2006] показано, что пелитовые донные осадки на протяжении более 1000 км от устья р. Амазонка характеризуются вариациями CIA от 72 до 80 (100). Во-вторых, существенные вариации величин CIA и других индексов выветривания могут быть обусловлены влиянием на процессы осадконакопления тектоники, различной степенью выветривания пород разных частей питающих провинций (это хорошо видно на примере истоков р. Амазонка), различным временем пребывания осадочного материала на палеоводосборах, различной размерностью обломочного материала и др. [Roddaz et al., 2005]. Заметные вариации величин различных палеоклиматических индексов отмечены

и для таких рек, как Висла и Одер [Nadłonek, Wojakowska, 2018].

Для терригенных пород мезоархея характерны значения CIA в интервале от ~80 до 100; в неогарее и протерозое они снижаются до 80–90 и 70–85 [González-Álvarez, Kerrich, 2012 и ссылки в этой работе]. Среднее значение CIA для взвешенного материала современных рек составляет ~73, что близко к оценке данного параметра для фанерозойских глинистых сланцев (~72). Этот тренд отражает последовательное/направленное снижение количества парниковых газов в атмосфере, способствовавших усилению процессов выветривания. Вариации CIA второго порядка обусловлены в дорифее становлением крупных магматических провинций [Condie et al., 2001]. В позднем докембрии такая связь разрывается [Маслов и др., 2017].

В современных крупных речных системах разных климатических поясов значения CIA для взвешенного материала варьируют от 51 (р. Святого Лаврентия, зона тундры и тайги) и 54–64 (реки умеренного гумидного климата) до 90–95 (реки тропического климата) (табл. 1). Определенным образом обработанные (удаление нетерригенных носителей РЗЭ посредством процедуры пошаго-

вого выщелачивания) пробы алевритов и пелитов приустьевых частей рек разных климатических обстановок по величинам CIA заметным образом отличаются [Bayon et al., 2015].

Попытаемся теперь, исходя из сказанного, оценить к какому из климатических типов современных крупных речных систем принадлежали крупные реки, транспортировавшие тонкую алюмосиликокластику в бассейны, существовавшие в рифее и венде на востоке (в современных координатах) Восточно-Европейской платформы.

Типовой разрез рифея (западный склон Южного Урала) представлен интра- и перикратонными терригенными и карбонатно-терригенными последовательностями, накапливавшимися в прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководноморских обстановках [Маслов и др., 2001]. Геохимические характеристики подавляющей части слагающих его тонкозернистых обломочных/глинистых пород указывают на формирование их в связи с функционированием крупных речных систем (реки типа категории 1 по классификации [Bayon et al., 2015]), на водосборных территориях которых присутствовали разные, в том числе и осадочные комплексы пород, либо речных систем типа

Таблица 1. Значения CIA во взвеси крупных рек и осадках их приустьевых частей
Table 1. CIA values in particulate suspended matter of large rivers and sediments of their estuarine parts

Река	Климат	Величина CIA		
		Взвешенный материал крупных рек [McLennan, 1993; González-Álvarez, Kerrich, 2012]	Определенным образом обработанные осадки приустьевых частей современных рек [Bayon et al., 2015]	
			Алевриты	Пелиты
Амазонка	Гумидный тропический	79	76	88
Конго		90	92	92
Ориноко		74	70	–
Парана		81	–	–
Ганг	Гумидный субтропический	66	–	–
Хуанхэ		71	58	87
Меконг	Сухой и гумидный тропический	82	75	87
Нигер		95	88	86
Нил	Сухой тропический	76	56	80
Инд	Сухой субтропический	66	–	–
Миссисипи	Умеренный	64	71	84
Дунай		54	70	–
Св. Лаврентия	Зона тундры и тайги	51	–	–

Примечание: Прочерк — нет данных.

Note: Dash — no data.

рек категории 2, во взвешенном материале которых преобладали продукты эрозии осадочных образований [Маслов, 2019].

Наиболее представительные аналитические данные о валовом химическом составе глинистых пород, использованные при подготовке публикации [Маслов, 2020а и др.], имеются для айской и бакальской свит нижнего рифея, машакской, зигазино-комаровской и авзянской свит среднего рифея, бирьянской и бедерышинской подсвит зильмердакской и инзерской свит верхнего рифея (табл. 2). Сравнение рассчитанных по ним средних величин CIA¹ с теми, что указаны в табл. 1 для осадков современных крупных рек различных климатических зон, позволяет видеть определенное сходство между глинистыми породами айской, зигазино-комаровской, авзянской, зильмердакской и инзерской свит и осадками современных рек умеренного (р. Миссисипи), гумидного и сухого субтропического климата (соответственно реки Ганг и Инд). Глинистые/тонкозернистые обломочные породы, присутствующие в разрезах бакальской и машакской свит, сопоставимы по присущим им значениям CIA_{среднее} со взвешенным материалом современных рек гумидного и сухого тропического (соответственно рр. Амазонка и Ориноко и р. Нил) климата.

Приведенные выше данные о «климатических образах» рек, поставивших взвешенный материал в осадочные бассейны, существовавшие в рифее

на востоке (современные координаты) Восточно-Европейской платформы, обладают одним существенным недостатком. Они отвечают отрезкам времени большой длительности (несколько десятков миллионов лет или значительно более). Однако это может быть в какой-то мере исправлено, если обратиться к исследованию на такой же методической основе осадочных последовательностей венда западного склона Среднего Урала (серебрянская и сыльвицкая серии).

В Общей стратиграфической шкале докембрия России вендская система подразделяется на два отдела — нижний и верхний [Стратиграфический..., 2019]. Нижний отдел (лапландский гляциогоризонт) на рассматриваемой нами территории объединяет отложения танинской, гаревской, койвинской и бутонской свит серебрянской серии [Гражданкин, Маслов, 2015]. Танинская свита представлена диамиктитами, песчаниками и глинистыми сланцами; подчиненную роль в ее разрезах играют известняки и эффузивные породы. Гаревская свита объединяет глинистые сланцы, в том числе и низкоуглеродистые, и песчаники. Койвинская свита сложена пестроцветными глинистыми сланцами, алевролитами и карбонатными породами. Бутонская свита представлена преимущественно темно-серыми низкоуглеродистыми глинистыми сланцами с прослоями песчаников в верхней части.

Верхний отдел венда представлен отложениями трех региоярусов — редкинского, беломорского и котлинского [Гражданкин, Маслов, 2015]. На западном склоне Среднего Урала редкинский

¹ При расчете CIA коррекции на предполагаемое влияние К-метасоматоза не проводилось.

Таблица 2. Среднее значение CIA для глинистых пород различных литостратиграфических подразделений рифея западного склона Южного Урала

Table 2. Average CIA for clayey rocks of various lithostratigraphic units of the Riphean on the western slope of the Southern Urals

Свита, подсвита	CIA				n
	Среднее	CO	Минимум	Максимум	
Инзерская	68	4	59	72	13
Бедерышинская	59	5	52	68	15
Бирьянская	67	4	57	77	22
Авзянская	67	6	54	75	15
Зигазино-комаровская	68	6	62	83	13
Машакская	77	3	73	83	32
Бакальская	76	3	62	80	44
Айская	64	4	54	70	30

Примечание: CO — стандартное отклонение, n — число проанализированных образцов.

Note: CO — is the standard deviation, n — is the number of analyzed samples.

региоярус объединяет керносскую, старопечнинскую и перевалокскую свиты. В разрезах керносской свиты преобладают песчаники с прослоями гравелитов и филлитовидных сланцев. Старопечнинская свита представлена диамиктитами, песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Перевалокская свита сложена преимущественно глинистыми сланцами с прослоями в верхней части песчаников. К беломорскому региоярису в Кваркушко-Каменногорском мегантиклинории принадлежат 5 нижних подсвит чернокаменной свиты, в составе которых преобладают разнообразные пачки чередования песчаников, алевролитов и алевроаргиллитов. Котлинский региоярус на Среднем Урале включает две верхние (крутихинская и кобылоостровская) подсвиты чернокаменной свиты, а также, по всей видимости, усть-сылвицкую свиту, завершающую разрез сылвицкой серии. Это пачки переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов (зеленовато-серых, голубовато-серых и красно-коричневых), а также достаточно однородная толща песчаников с мелко- и среднемасштабной косою и косоволнистой слоистостью.

Распределение фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород серебрянской и сылвицкой серий на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$ [Маслов, 2020б; Маслов, Подковыров, 2021] позволяет думать, что на протяжении всего венда поступление в область осадконакопления, существовавшую на территории современного западного склона Среднего Урала, тонкой алюмосиликокластики контролировалось крупными реками

(реки категории 1 по [Bayon et al., 2015]) и реками, питавшимися преимущественно продуктами размыва осадочных образований (реки категории 2).

Средние значения индекса химического изменения для отложений лапландского, редкинского, беломорского и котлинского региоярусов западного склона Среднего Урала составляют соответственно 69 ± 5 , 65 ± 2 , 65 ± 2 и 70 ± 2 . Сопоставление их с данными о значениях CIA, характерных для осадков современных крупных рек различных климатических зон (рис.), позволяет видеть, что слагающая разрез венда западного склона Среднего Урала тонкая алюмосиликокластика в достаточной степени сопоставима с осадками современных крупных рек умеренного, а также сухого и гумидного субтропического климата (для крупных рек областей холодного климата/зона тундры и тайги величина CIA существенно ниже тех значений, что характерны для глинистых пород серебрянской и сылвицкой серий. Так, для отложений р. Св. Лаврентия она, по данным [McLennan, 1993], составляет всего 51). Это заставляет в какой-то мере задуматься о генезисе горизонтов диамиктитов (или генезисе участвующей в их сложении тонкой алюмосиликокластики), присутствующих в разрезах танинской и койвинской свит, да и старопечнинской свиты также.

Конечно, это только еще самый общий эскиз климата позднего докембрия на востоке Восточно-Европейской платформы. Для его детальной реконструкции нужно много дополнительных усилий, так как считается, что реки протерозоя были сходны

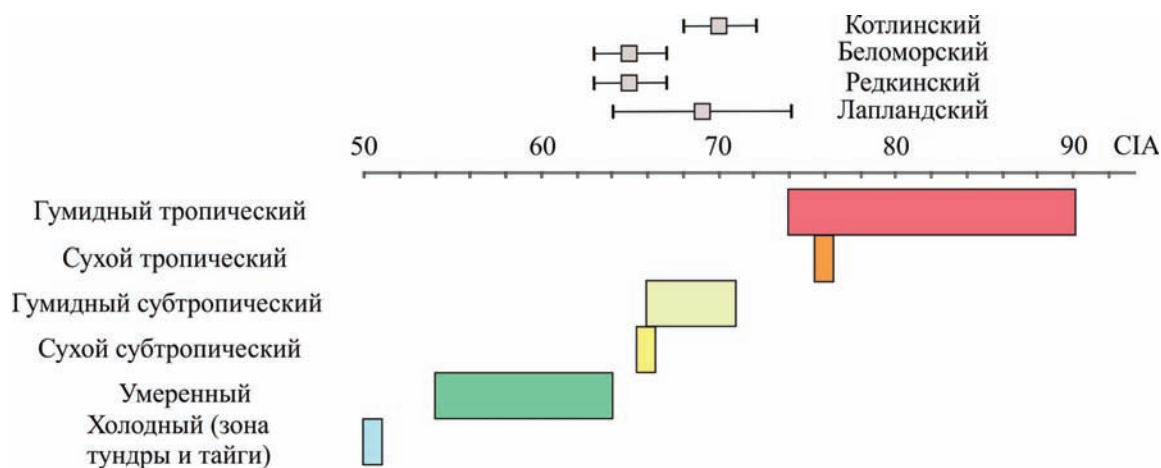


Рис. Распределение величин CIA в осадках современных крупных рек различных климатических зон и в отложениях лапландского, редкинского, беломорского и котлинского региоярусов западного склона Среднего Урала

Fig. Distribution of CIA values in sediments of modern large rivers of different climatic zones and in sedimentary rocks of the Lapland, Redkino, White Sea and Kotlin regional stages of the Vendian (western slope of the Middle Urals)

преимущественно с современными многорусловыми речными системами пустынных/засушливых обстановок и характеризовались резкими вариациями поверхностного стока, широкими руслами, значительной нагрузкой осадочного/взвешенного материала и низкой стабильностью берегов [Rainbird et al., 1997; Long, 2004; Eriksson et al., 2006 и др.]. Намеченные же нами типы в существенной мере иные.

Список литературы:

Гражданкин Д.В., Маслов А.В. Место венда в Международной стратиграфической шкале // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 4. С. 703–717. DOI: 10.15372/gig20150406.

Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / ИБВВ РАН. М., 2007. 40 с.

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. Индикаторы эндо- и экзосферных процессов в осадочных последовательностях и разрез верхнего докембрия Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 2020а. № 4. С. 309–336. DOI: 10.31857/s0024497x20040059.

Маслов А.В. Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений серебрянской и сылвицкой серий венда (Средний Урал) // Литосфера. 2020б. Т. 20, № 6. С. 751–770. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-751-770.

Маслов А.В., Подковыров В.Н. Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей венда северной и восточной частей Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 1. С. 3–27. DOI: 10.31857/s0024497x21010079.

Маслов А.В., Ковалев С.Г., Гареев Э.З. Низкоуглеродистые глинистые сланцы рифея Южного Урала в контексте формирования крупных магматических провинций // Геохимия. 2017. № 7. С. 594–608. DOI: 10.7868/s001675251707007х.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. 1. 351 с.

Стратиграфический кодекс России. Изд. 3-е, исправл. и дополн. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Bahlburg H., Dobrzinski N. A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions // The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations / E. Arnaud, G.P. Halverson, G. Shields-Zhou (Eds.) Geol. Soc. London. Memoirs. 2011. Vol. 36, No. 1. P. 81–92. DOI: 10.1144/m36.6.

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. et Cosmochim. Acta. 2015. Vol. 170. P. 17–38. DOI: 10.1016/j.gca.2015.08.001.

Condie K.C., Des Marais D.J., Abbott D. Precambrian superplumes and supercontinents: a record in black shales, carbon isotopes, and paleoclimates? // Precambrian Research. 2001. Vol. 106, No. 3–4. P. 239–260. DOI: 10.1016/s0301-9268(00)00097-8.

Dosseto A., Bourdon B., Gaillardet J., Allegre C.J., Filizola N. Time scale and conditions of weathering under tropical climate: study of the Amazon Basin with U-series // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2006. Vol. 70, No. 1. P. 71–89. DOI: 10.1016/j.gca.2005.06.033.

Eriksson P.G., Bumby A.J., Brumer J.J., van der Neut M. Precambrian fluvial deposits: enigmatic palaeohydrological data from the c. 2–1.9 Ga Waterberg Group, South Africa // Sed. Geol. 2006. Vol. 190, No. 1–4. P. 25–46. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2006.05.003.

Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // Geology. 1995. Vol. 23, No. 10. P. 921–924. DOI: 10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2.

González-Álvarez I., Kerrich R. Weathering intensity in the Mesoproterozoic and modern large-river systems: A comparative study in the Belt-Purcell Supergroup, Canada and USA // Precambrian Res. 2012. Vol. 208–211. P. 174–196. DOI: 10.1016/j.precamres.2012.04.008.

Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering // Sed. Geol. 1988. Vol. 55, No. 3–4. P. 319–322. DOI: 10.1016/0037-0738(88)90137-6.

Long D.G.F. Precambrian Rivers. Section 7.8 // The Precambrian: Tempos and Events / P.G. Eriksson, W. Altermann, D.R. Nelson, W.U. Mueller, O. Catuneanu (Eds.). Developments in Precambrian Geology. Vol. 12. Elsevier, Amsterdam, 2004. P. 660–663.

McLennan S.M. Weathering and global denudation // J. Geol. 1993. Vol. 101, No. 2. P. 295–303. DOI: 10.1086/648222.

Nadlonek W., Bojakowska I. Variability of chemical weathering indices in modern sediments of the Vistula and Odra rivers (Poland) // Applied ecology and environmental research. 2018. Vol. 16, No. 3. P. 2453–2473. DOI: 10.15666/aer/1603_24532473.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. Vol. 299, No. 5885. P. 715–717. DOI: 10.1038/299715a0.

Rainbird R.H., McNicoll V.J., Thériault R.J., Heaman L.M., Abbott J.G., Long D.G.F., Thorkelson D.J. Pan-continental river system Draining Grenville Orogen recorded by U–Pb and Sm–Nd geochronology of Neoproterozoic quartzarenites and mudrocks, Northwestern Canada // J. Geol. 1997. Vol. 105, No. 1. P. 1–17. DOI: 10.1086/606144.

Roddaz M., Viers J., Brusset S., Baby P., Herail G. Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian foreland basin // *Earth Planet. Sci. Letters*. 2005. Vol. 239, No. 1–2. P. 57–78. DOI: 10.1016/j.epsl.2005.08.007.

Singh P. Major, trace and REE geochemistry of the Ganga River sediments Influence of provenance and sedimentary processes // *Chem. Geol.* 2009. Vol. 266, No. 3–4. P. 242–255. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.06.013.

Singh P. Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region India // *Chem. Geol.* 2010. Vol. 269, No. 3–4. P. 220–236. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.09.020.

Vital H., Statterger K. Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River // *Chem. Geol.* 2000. Vol. 168, No. 1–2. P. 151–168. DOI: 10.1016/S0009-2541(00)00191-1.

Winston D. The Precambrian Missoula Group of Montana as a braided stream and seamargin deposits // *Belt symposium. Idaho Bur. Mines and Geology*. 1973. Vol. 1. P. 208–220.

Winston D. Fluvial systems of the Precambrian Belt Supergroup, Montana and Idaho // *Fluvial sedimentology / A.D. Maill (Ed.)*. Can. Soc. Petr. Geol. Mem. 1978. No. 5. P. 343–359.

Winston D. Evidence for intracratonic, fluvial and lacustrine settings of Middle to late Proterozoic basins of western U.S.A. // *Mid-Proterozoic Laurentia Baltica / C.F. Gower, T. Rivers, B. Ryan (Eds.)*. Geol. Assoc. Can. Spec. Pap. 1990. No. 38. P. 535–564.

References:

Bahlburg H., Dobrzinski N. (2011) A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions. In: Arnaud E., Halverson G.P., Shields-Zhou G. (Eds.) *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations. Memoirs*, **36**(1), 81–92. Geol. Soc. London. DOI: 10.1144/m36.6.

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. et Cosmochim. Acta*, **170**, 17–38. DOI: 10.1016/j.gca.2015.08.001.

Condie K.C., Des Marais D.J., Abbott D. (2001) Precambrian superplumes and supercontinents: a record in black shales, carbon isotopes, and paleoclimates? *Precam. Res.*, **106**(3–4), 239–260. DOI: 10.1016/S0301-9268(00)00097-8.

Dosseto A., Bourdon B., Gaillardet J., Allegre C.J., Filizola N. (2006) Time scale and conditions of weathering under tropical climate: study of the Amazon Basin with U-series. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **70**(1), 71–89. DOI: 10.1016/j.gca.2005.06.033.

Eriksson P.G., Bumby A.J., Brumer J.J., van der Neut M. (2006) Precambrian fluvial deposits: enigmatic palaeohydrological data from the c. 2–1.9 Ga Waterberg Group, South Africa. *Sed. Geol.*, **190**(1–4), 25–46. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2006.05.003.

Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. (1995) Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions

and provenance. *Geology*, **23**(10), 921–924. DOI: 10.1130/0091-7613(1995)023%3C0921:uteopm%3E2.3.co;2.

González-Álvarez I., Kerrich R. (2012) Weathering intensity in the Mesoproterozoic and modern large-river systems: A comparative study in the Belt-Purcell Supergroup, Canada and USA. *Precambrian Res.*, **208–211**, 174–196. DOI: 10.1016/j.precamres.2012.04.008.

Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2015) The room for the Vendian in the International Stratigraphic Scale. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, **56**(4), 703–717. DOI: 10.15372/gig20150406. (In Russian).

Harnois L. (1988) The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sed. Geol.*, **55**(3–4), 319–322. DOI: 10.1016/0037-0738(88)90137-6.

Long D.G.F. (2004) Precambrian Rivers. Section 7.8. The Precambrian: Tempos and Events. Eriksson P.G., Altermann W., Nelson D.R., Mueller W.U., Catuneanu O. (Eds.) *Developments in Precambrian Geology*, **12**, 660–663. Elsevier, Amsterdam.

Maslov A.V. (2019) Towards the reconstruction of the categories of rivers that formed the filling of sedimentary basins of the Riphean in the area of junction of the East European platform and the modern South Urals. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka – Izvestiya vuzov. Geology and exploration*, (5), 28–36. (In Russian).

Maslov A.V. (2020a) Indicators of endo- and exospheric processes in sedimentary sequences and the section of the Upper Precambrian of the South Urals. *Litologiya i polez. iskopayemye – Lithology and mineral resources*, (4), 309–336. DOI: 10.31857/S0024497X20040059. (In Russian).

Maslov A.V. (2020b) Categories of catchments-sources of thin aluminosilicoclastics for deposits of the Serebryanskaya and Sylvitskaya series of the Vendian (Middle Urals). *Litosfera*, **20**(6), 751–770. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-751-770. (In Russian).

Maslov A.V., Podkovyrov V.N. (2021) Categories of catchments-sources of fine aluminosilicoclastics for the Vendian sedimentary sequences of the northern and eastern parts of the East European platform. *Litologiya i poleznye iskopayemye – Lithology and mineral resources*, (1), 3–27. DOI: 10.31857/S0024497X21010079. (In Russian).

Maslov A.V., Kovalev S.G., Gareev E.Z. (2017) Low-carbon shales of the Riphean of the Southern Urals in the context of the formation of large igneous provinces. *Geokhimiya – Geochemistry Int.*, (7), 594–608. DOI: 10.7868/S001675251707007X. (In Russian).

Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) *Rifei zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskie pamyatniki prirody)* [Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimentary and lithogenesis, minerageny, geological natural monuments)]. Yekaterinburg: IGG Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Vol. 1, 351 p. (In Russian).

McLennan S.M. (1993) Weathering and global denudation. *J. Geol.*, **101**(2), 295–303. DOI: 10.1086/648222.

Nadłonek W., Bojakowska I. (2018) Variability of chemical weathering indices in modern sediments of the Vistula and Odra rivers (Poland). *Applied ecology and environmental research*, **16**(3), 2453–2473. DOI: 10.15666/aeer/1603_24532473.

- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**(5885), 715-717. DOI: 10.1038/299715a0.
- Rainbird R.H., McNicoll V.J., Thériault R.J., Heaman L.M., Abbott J.G., Long D.G.F., Thorkelson D.J. (1997) Pan-continental river system Draining Grenville Orogen recorded by U-Pb and Sm-Nd geochronology of Neoproterozoic quartzarenites and mudrocks, Northwestern Canada. *J. Geol.*, **105**(1), 1-17. DOI: 10.1086/606144.
- Roddaz M., Viers J., Brusset S., Baby P., Herail G. (2005) Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian foreland basin. *Earth Planet. Sci. Letters*, **239**(1-2), 57-78. DOI: 10.1016/j.epsl.2005.08.007.
- Singh P. (2009) Major, trace and REE geochemistry of the Ganga River sediments Influence of provenance and sedimentary processes. *Chem. Geol.*, **266**(3-4), 242-255. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.06.013.
- Singh P. (2010) Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region India. *Chem. Geol.*, **269**(3-4), 220-236. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.09.020.
- Vital H., Statterger K. (2000) Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River. *Chem. Geol.*, **168**(1-2), 151-168. DOI: 10.1016/s0009-2541(00)00191-1.
- Winston D. (1973) The Precambrian Missoula Group of Montana as a braided stream and seamargin deposits. *Belt symposium. Idaho Bur. Mines and Geology*, **1**, 208-220.
- Winston D. (1978) Fluvial systems of the Precambrian Belt Supergroup, Montana and Idaho. In: Maill A.D. (Ed.). Fluvial sedimentology. *Can. Soc. Petr. Geol. Mem.*, (5), 343-359.
- Winston D. (1990) Evidence for intracratonic, fluvial and lacustrine settings of Middle to late Proterozoic basins of western U.S.A. In: Gower C.F., Rivers T., Ryan B. (Eds.). Mid-Proterozoic Laurentia Baltica. *Geol. Assoc. Can. Spec. Pap.*, (38), 535-564.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) *Osnovy litokhimii* [Fundamentals of lithochemistry]. Saint Petersburg: Nauka Publ., 479 p. (In Russian).
- Zakonov V.V. (2007) *Osadkoobrazovanie v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada. Avtoref. dis. ... dokt. geogr. nauk* [Sedimentation in the reservoirs of the Volga cascade. Avtoref. dis. ... dokt. geogr. nauk. Abstract of Doctoral thesis]. Moscow, IBVV RAN, 40 p. (In Russian).
- Zhamoida A.I. (Ed.) (2019) *Stratigraficheskiy kodeks Rossii* [Stratigraphic Code of Russia]. Third edition, revised and enlarged. Saint-Petersburg, VSEGEI Publ., 96 p. (In Russian).

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. E-mail: amas2004@mail.ru

About the autor:

Maslov Andrey 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. E-mail: amas2004@mail.ru