УДК 551

DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-751-770

Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений серебрянской и сылвицкой серий венда (Средний Урал)

А. В. Маслов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: amas2004@mail.ru Поступила в редакцию 13.02.2020 г., принята к печати 10.03.2020 г.

Объект исследований. В статье рассмотрен ряд геохимических особенностей (распределение лантаноидов и Th, значения (La/Yb)_N и Eu/Eu*) тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных региоярусов венда западного склона Среднего Урала. Для интерпретации результатов привлечены также данные о составе водосборов ряда современных рек и сведения о распределении тех же характеристик во взвеси и поверхностных донных осадках системы "нижнее течение р. Сев. Двина-Белое море". Материалы и методы. Материалом для исследований послужили данные о содержании La, Sm, Eu, Gd, Yb и Th в почти 200 образцах глинистых сланцев и аргиллитов серебрянской и сылвицкой серий. Методом исследований являлся анализ локализации индивидуальных и средних точек состава глинистых пород лапландского, редкинского, беломорского и котлинского региоярусов на парных диаграммах (La/Yb)_N-Eu/Eu* и (La/Yb)_N-Th, разработанных на основе аналитических данных о составе донных осадков приустьевых частей разных категорий/классов современных рек. Результаты. Показано, что осадочные последовательности западного склона Среднего Урала в основном сложены тонкозернистым обломочным материалом, относящимся к категориям 1 (осадки крупных рек/world's major rivers) и 2 (осадки рек, дренирующих осадочные образования/rivers draining "mixed/sedimentary" formations). Этот материал поступал в область осадконакопления, вероятно, с востока, из разрушавшегося кадомского Варангер-Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса/Тиманского орогена, и/или с запада (рифейские осадочные последовательности Камско-Бельского авлакогена). Определенный вклад вносили, возможно, также магматические и метаморфические породы фундамента Восточно-Европейской платформы, слагавшие структуры, которые в рамках современной классификации можно отнести к категории "igneous/metamorphic terranes". Выводы. Полученные результаты не противоречат выводам, сделанным ранее в результате минералого-петрографических исследований конгломератов и песчаников серебрянской и сылвицкой серий, а также данным ранее выполненного геохимического анализа глинистых пород.

Ключевые слова: венд, западный склон Среднего Урала, распределение лантаноидов и Тh, категории водосборов

Источник финансирования

Исследования проведены в рамках темы № AAAA-A18-118053090044-1 государственного задания ИГГ $VpO\ PAH$

Categories of Vendian catchments – sources of fine-grained aluminosiliciclastic materials for the Serebryanka and Sylvitsa group deposits (Middle Urals)

Andrey V. Maslov

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620016, Russia, e-mail: amas2004@mail.ru

Received 13.02.2020, accepted 10.03.2020

Research subject. The article discusses a number of geochemical features (distribution of lanthanides and Th, values of (La/Yb)_N and Eu/Eu*) of fine-grained clastic/clay rocks of various Vendian regional stages of the western slope of the Middle Urals. The results were interpreted in the context of data on the composition of the catchment areas of a number of modern rivers and information on the distribution of the same characteristics in suspended matter and modern bottom sediments of the "downstream North Dvina River–White Sea". Methods and materials. The content of La, Sm, Eu, Gd, Yb, and Th in as many as 200 samples of shales and mudstones of the Serebryanka and Sylvitsa groups served as a research material. The research method was an analysis of the localization of individual and average data points of clayey rocks of the Laplandian, Redkinian, Belomorian and Kotlinian regional stages on paired diagrams (La/Yb)_N–Eu/Eu* and (La/Yb)_N–Th developed on the basis of analytical data on the composition of bottom sediments of estuarine parts of different categories/classes of

Для цитирования: Маслов А.В. (2020) Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений серебрянской и сылвицкой серий венда (Средний Урал). Литосфера, **20**(6), 751-770. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-751-770

For citation: Maslov A.V. (2020) Categories of Vendian catchments – sources of fine-grained aluminosiliciclastic materials for the Serebryanka and Sylvitsa group deposits (Middle Urals). *Litosfera*, **20**(6), 751-770. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-751-770

modern rivers. Results. It was shown that the sedimentary sequences of the western slope of the Middle Urals are mainly composed of fine-grained clastic material belonging to categories 1 (sediments of world major rivers) and 2 (sediments of rivers draining sedimentary/mixed sedimentary formations). This material is likely to have entered the sedimentation area from the east, from the growing Kadomian Varanger-Kanin-Timan folded-thrust belt/Timan orogen, or/and from the west (Riphean sedimentary sequences of Kama-Belsk aulacogen). In addition, the igneous and metamorphic rocks of the East European Platform basement composing the structures, which could be classified as "igneous/metamorphic terranes" under modern classification, were likely to have made a certain contribution. Conclusions. The obtained results agree well with the conclusions obtained earlier as a result of mineralogical and petrographic studies of the conglomerates and sand-stones of the Serebryanka and Sylvitsa groups, as well as with the data from a previous geochemical analysis of clay rocks.

Keywords: Vendian, western slope of the Middle Urals, distribution of lanthanides and Th, categories of catchments

Funding information

The work was conducted within the framework of the project AAAA-A18-118053090044-1 of the A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Acknowledgements

The author is grateful to the reviewer, whose recommendations contributed to the successful completion of the manuscript, and to N.S. Glushkova for preparing the illustrations.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что достаточно эффективным методом реконструкции состава пород на палеоводосборах является анализ присущих глинистым породам индикаторных отношений ряда редких и рассеянных элементов (например, La, Th, Co, Sc, Cr, Ni, V, Zr и др.) (Маслов и др., 2018, 2020; см. также ссылки в этих работах). В основу такого подхода положены следующие представления: 1) содержания и отношения названных элементов в глинистых породах существенно не меняются в процессе седименто- и литогенеза, а также метаморфизма; 2) различные типы магматических пород характеризуются определенными ассоциациями редких и рассеянных элементов. Так, для ультраосновных пород типичными являются Ni, Cr, Co, Mg, Fe, Mn, Pd, Pt, для основных – V, Cu, Sc, Co, Sb, Ag, Zn, Nb, Y, для средних – Ti, P, Sr, As, Cd и для кислых – Sn, Pb, Zn, Be, Ba, Mo, U, W, F, Cl, Li, Rb, Th и Та (Интерпретация..., 2001; Юдович, Кетрис, 2011). Показателями присутствия в источниках сноса щелочных пород служат Zr, Nb, Ba и Hf.

На практике обычно используются не абсолютные содержания элементов, а их отношения: так, для кислых магматических образований (гранитов, гранодиоритов) характерны на один-два порядка более высокие, нежели для пород основного состава, значения отношений Th/Sc, La/Sc, La/Co, Th/Co, Th/Cr и V/Ni (McLennan et al., 1993; Интерпретация..., 2001; Cullers, 2002; Inorganic geochemistry..., 2003; Маслов и др., 2020; и др.) и, наоборот, основные магматические породы имеют на одиндва порядка более высокие значения Cr/Zr, Cr/V и ряда других индикаторных отношений. Состав пород источников сноса в определенной степени контролирует и нормированные по хондриту спектры распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в осадочных породах (McLennan et al., 1990).

Вместе с тем очевидно, что во многих случаях такой подход позволяет судить о реальном составе пород палеоводосборов и типе последних весьма опосредованно. Так, с помощью хорошо известной диаграммы La/Sc—Th/Co (Cullers, 2002) можно сделать достаточно обоснованный вывод о том, что на палеоводосборах преобладали кислые или основные магматические породы, но нельзя понять, имеем ли мы дело с реальным "провенанс-сигналом" или его трансляцией через несколько седиментационных циклов. Также, исходя из присущих глинистым породам величин La/Sc и Th/Co, трудно определиться с вопросом, присутствовали ли на палеоводосборах иные, нежели магматические, комплексы пород.

Представляется, что для получения ответов на эти вопросы можно в определенной степени использовать данные о геохимических характеристиках взвеси (главным образом пелитовой и алевритопелитовой размерности) современных рек, дренирующих различные по составу слагающих их пород и по площади водосборы. Публикаций на эту тему много, среди них можно отметить такие, как (Goldstein et al., 1984; Goldstein, Jacobsen, 1988; Dupre et al., 1996; Stummeyer et al., 2002; Kamber et al., 2005; Garzanti et al., 2008; Viers et al., 2009; Bouchez et al., 2011; Bayon et al., 2015). В последней из перечисленных работ показано, что пробы поверхностного слоя донных осадков устьевых частей современных рек дают возможность выделить ряд их категорий в зависимости от размеров водосбора и переносимого осадочного материала. К числу этих категорий относятся: 1) "крупные реки" (world's major rivers), т. е. реки с площадью водосборного бассейна >100 000 км²; 2) реки, дренирующие осадочные образования (rivers draining "mixed/sedimentary" formations); 3) реки, питающиеся продуктами раз-

¹ Или, точнее, «осадки устьевых частей "крупных рек"».

мыва "магматических/метаморфических" террейнов (rivers draining "igneous/metamorphic" terranes); 4) реки, дренирующие вулканические провинции (rivers draining "volcanic" rocks). Представляется, что перечисленные категории можно рассматривать и как категории/классы/типы водораздельных пространств, выступавших источниками обломочного материала для различных осадочных последовательностей.

Анализ особенностей распределения РЗЭ и Тh во взвешенном пелитовом и алеврито-пелитовом материале ряда крупных рек Российской Арктики позволил сделать вывод (Маслов, Шевченко, 2019), что этот материал принадлежит в основном к категориям 1 + 2 и 4. Взвеси, сходные по распределению лантаноидов и Th с материалом, относящимся к донным осадкам устьевых зон рек категории 3, для рек Российской Арктики не характерны. В результате этих исследований по аналитическим данным, приведенным в публикации (Вауоп et al., 2015), был предложен ряд парных диаграмм:

 $(\text{La/Yb})_{\text{N}}$ —Eu/Eu*, $(\text{La/Yb})_{\text{N}}$ —Th и др. (рис. 1), на которых поля донных отложений крупных рек и рек, дренирующих осадочные образования, характеризуются примерно 60–80%-м перекрытием, а поля донных осадков рек, питающихся продуктами размыва водосборов, сложенных, с одной стороны, магматическими и метаморфическими образованиями, а с другой, — вулканическими породами, такого перекрытия не имеют.

В настоящей работе указанные диаграммы использованы для реконструкции категорий водосборов, выступавших источниками обломочного материала, слагающего осадочные последовательности серебрянской и сылвицкой серий венда Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория (западный склон Среднего Урала). Для этого мы привлекли данные о содержании РЗЭ и Тh в почти 200 образцах тонкозернистых обломочных пород (глинистых сланцах, аргиллитах и мелкозернистых глинистых алевролитах), полученные методом ICP-MS в Институте геологии и геохимии УрО

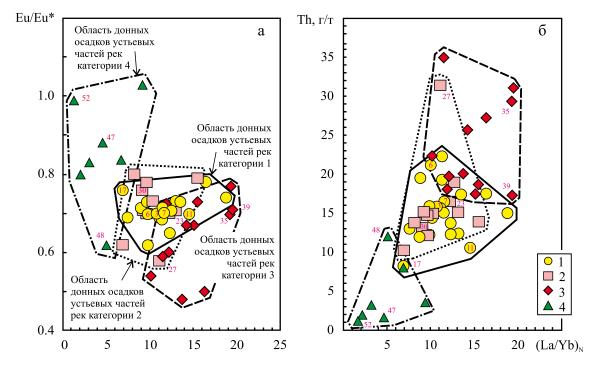


Рис. 1. Области распределения точек состава донных осадков устьевых частей различных категорий рек мира на диаграммах $(La/Yb)_N$ —Eu/Eu* (a) и $(La/Yb)_N$ —Th (б).

1 — область донных осадков устьевых частей рек категории 1 (здесь и далее арабскими цифрами на диаграммах показано положение точек типичных рек разных категорий: 3 — Миссисипи, 6 — Янцзы, 7 — Маккензи, 11 — Дунай, 17 — Фрейзер); 2 — то же рек категории 2 (23 — Сена, 27 — Мэклонг, 30 — Сефид Руд); 3 — то же рек категории 3 (35 — Карони, 39 — Аро); 4 — то же рек категории 4 (47 — Камчатка, 48 — Вайкато, 52 — Гленариф). Все по (Bayon et al., 2015).

Fig. 1. Distribution of the data points of bottom sediments of estuaries of various categories of world rivers in $(\text{La/Yb})_N$ -Eu/Eu* (a) and $(\text{La/Yb})_N$ -Th (6) diagrams.

1 – the field of bottom sediments of the estuaries of category 1 rivers (hereinafter, the arabic numerals in the diagrams show the position of the data points of typical rivers of different categories: 3 – Mississippi, 6 – Yangtze. 7 – Mackenzie, 11 – Danube, 17 – Fraser); 2 – the same category 2 rivers (23 – Seine, 27 – Meklong, 30 – Safid Rud); 3 – the same category 3 rivers (35 – Karoni, 39 – Aro); 4 – the same category 4 rivers (47 – Kamchatka, 48 – Waikato, 52 – Glenarif). All according to (Bayon et al., 2015).

РАН (аналитики – Д.В. Киселева, Н.В. Чередниченко и Л.К. Дерюгина).

ВЕНД ЗАПАДНОГО СКЛОНА СРЕДНЕГО УРАЛА

Подробная характеристика строения и состава серебрянской и сылвицкой серий западного склона Среднего Урала приведена в публикациях (Аблизин и др., 1982; Стратотип рифея..., 1983; Гражданкин и др., 2009; и др.). В соответствии с представлениями, изложенными в работе (Гражданкин, Маслов, 2015), отложения названных крупных литостратиграфических подразделений принадлежат лапландскому, редкинскому, беломорскому и котлинскому региоярусам венда/верхнего эдиакария (рис. 2). К лапландскому региоярусу/гляциогоризонту относятся танинская, гаревская, койвинская и бутонская свиты серебрянской серии. Вышележащие керносская свита серебрянской серии, а также старопечнинская и перевалокская свиты сылвицкой серии принадлежат к редкинскому региоярусу. Беломорскому региоярусу отвечают вилухинская, шурышская, черемуховская, синекаменская и коноваловская подсвиты чернокаменской свиты сылвицкой серии. Крутихинская и кобылоостровская подсвиты той же свиты, и, возможно, усть-сылвицкая свита относятся к котлинскому региоярусу.

Танинская свита (мощность до 500 м) серебрянской серии слагается редкогалечниковыми тиллитовидными конгломератами с прослоями полевошпато-кварцевых песчаников, алевролитов и алевритистых глинистых сланцев. Гаревская сви*та* (700–750 м) объединяет мелкозернистые песчаники и алевритистые глинистые сланцы с прослоями ленточно-слоистых филлитов. Койвинская свита (250–300 м) представлена тонко чередующимися филлитовидными апоалевролитовыми сланцами, алевролитами и пестроцветными известняками. Бутонская свита (300-350 м) сложена полосчатыми темно-серыми низкоуглеродистыми глинистыми сланцами с редкими прослоями алевролитов. Керносская свита (200–1200 м) объединяет песчаники с прослоями гравелитов и филлитовидных алеврито-глинистых пород. Изотопный возраст присутствующих в ее верхней части трахиандезитов дворецкого комплекса (Петров и др., 2005; и др.) оценивается в 559 ± 16 (Rb-Sr метод) или 569 ± 42 (Sm-Nd метод) млн лет (Карпухина и др., 2001). U-Pb LA-ICP-MS-изотопный возраст обломочных цирконов в песчаниках свиты изменяется от 3076 до 893 млн лет (Маслов и др., 2012).

Старопечнинская свита (200–500 м) сылвицкой серии представлена диамиктитами, песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Перевалокская свита (до 300 м) объединяет темно-серые аргиллиты, песчаники и гравелиты. U-Pb изотопный возраст цирконов из вулканических туфов этой

свиты составляет 567.2 ± 3.9 млн лет (Гражданкин и др., 2011). Вилухинская подсвита (до 200 м) чернокаменской свиты сложена чередующимися пачками зеленовато-серых песчаников и пестроцветных алевроаргиллитов. U-Pb изотопный возраст цирконов из вулканических туфов, присутствующих в нижней части подсвиты, составляет 557 ± 13 млн лет (Ронкин и др., 2006). Шурышская подсвита (170-200 м) объединяет светло- и зеленоватосерые тонкослоистые алевролиты с многочисленными прослоями песчаников. Черемуховская подсвита (30–35 м) – это преимущественно светло- и зеленовато-серые песчаники. В основании синекаменской подсвиты (до 160 м) залегает пакет песчаников, а выше присутствуют пачки различным образом переслаивающихся алевролитов, аргиллитов и песчаников. В основании коноваловской подсвиты (до 150 м) залегает толща тонкослоистых алевролитов с прослоями песчаников, а выше наблюдаются различные по своему строению пачки переслаивающихся алевролитов, аргиллитов и песчаников. Крутихинская подсвита (до 400 м) чернокаменской свиты сложена пачками песчаников и пестроцветных аргиллитов. В ее верхней части наблюдается чередование пестроцветных алевролитов и аргиллитов, темно- и зеленовато-серых алевролитов, а также коричнево-серых песчаников. Кобылоостровская подсвита (≈100 м) объединяет песчаники различной зернистости, чередующиеся с пачками зеленовато-серых алевролитов и аргиллитов. Усть-сылвицкая свита $(\bar{500}-600 \text{ м}) - \bar{\text{это}}$ в основном песчаники с маломощными прослоями алевролитов и аргиллитов.

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ВЕНДЕ ЗАПАДНОГО СКЛОНА СРЕДНЕГО УРАЛА

Среди исследователей нет единства мнений относительно обстановок накопления отложений серебрянской и сылвицкой серий и, соответственно, типов и истории формирования бассейнов, существовавших в венде в области сочленения Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и западного склона Среднего Урала. По представлениям В.Н. Пучкова (2000), время формирования отложений серебрянской серии — это преимущественно спокойная в тектоническом отношении эпоха, в течение которой преобладало накопление мелководных терригенных и карбонатных толщ шельфового типа.

Напротив, пермские специалисты (Курбацкая, 1986; Ибламинов и др., 1996; и др.) считают, что на границе рифея и венда в указанной области образовался крупный континентальный щелевой рифт. В сылвицкое время на фоне кадомских орогенических событий вверх по разрезу одноименной серии происходит постепенное нарастание полимиктово-

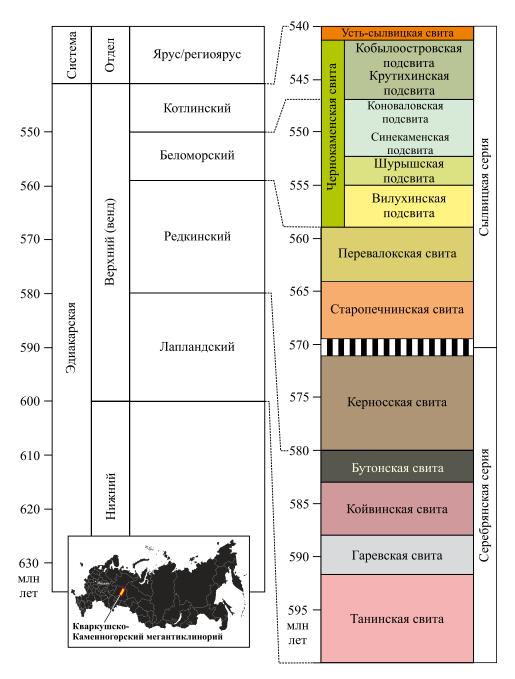


Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка отложений серебрянской и сылвицкой серий венда западного склона Среднего Урала (привязка к общей стратиграфической шкале по (Гражданкин, Маслов, 2015)).

Вертикальная черная штриховка – стратиграфический перерыв. Схема России заимствована с сайта https://sklyarov.studio/projects/vector-map-russia.

Fig. 2. Synoptic stratigraphic column of the Vendian Serebryanka and Sylvitsa groups deposits on the western slope of the Middle Urals (reference to the general stratigraphic scale according to (Grazhdankin, Maslov, 2015)).

Vertical black hatching – a stratigraphic break.

The scheme of Russia is borrowed from the site https://sklyarov.studio/projects/vector-map-russia.

сти песчаников, меняется состав минералов тяжелой фракции, что, по всей видимости, так же как и для южноуральских разрезов, указывает на появление восточных источников сноса (Аблизин и

др., 1982; и др.). В разрезах старопечнинской свиты преобладают мелководно-морские и мариногляциальные образования (Климат..., 2004; и др.). В перевалокское время формировались относи-

тельно глубоководные фосфатоносные тонкозернистые терригенные осадки. Среди отложений чернокаменской свиты существенная роль принадлежит продельтовым и дельтовым фациям, отложившимся в период постепенного наступления береговой линии и обмеления бассейна (Маслов и др., 2003; Гражданкин и др., 2005). В усть-сылвицкое время накапливались преимущественно аллювиальные песчаные и песчано-алевритовые отложения (Клюжина, 1969; Маслов, 2003).

Считается, что бассейн осадконакопления, существовавший в позднем венде в области сочленения ВЕП и западного склона Среднего Урала, также как и южноуральский (Беккер, 1988; и др.), по целому ряду особенностей напоминал предгорный прогиб (The Neoproterozoic Timanide..., 2004; Гражданкин и др., 2009). В то же время Г.А. Петров (2014) считает, что разворот палеоконтинента Балтика в конце рифея-начале венда по часовой стрелке и тиманский орогенез могли привести к косой коллизии. Такое предположение "... снимает противоречия между геологическими данными о формировании в венде – раннем кембрии аккреционноколлизионного орогена и внутриплитными геохимическими характеристиками магматических пород этого возраста" (Петров, 2014, с. 78).

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПИТАЮЩИЕ ПРОВИНЦИИ

Главным источником валунно-галечникового материала конгломератов танинской свиты А.А. Кухаренко (1962) считал внутренние поднятия "Уральской геосинклинали". Позднее Ф.А. Курбацкой (1968), Ф.А. Курбацкой и Б.Д. Аблизиным (1970), Б.Д. Аблизиным с соавторами (1982) было показано, что в составе указанных конгломератов доминируют породы, сходные/тождественные породам кристаллического фундамента ВЕП, а обломки пород рифея, в том числе вулканиты щегровитского комплекса, играют подчиненную роль. Главная область размыва, по мнению названных авторов, располагалась к юго-западу и западу от Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория, часть же материала приносилась с востока. Конгломераты койвинского уровня сложены, по их данным, преимущественно обломками кварцитопесчаников, кислых изверженных пород, кремней и кварцитов; иногда в них можно видеть редкие фрагменты карбонатных пород. Конгломераты и гравелиты керносской свиты на 90-95% состоят из обломков подстилающих пород рифея. В то же время анализ типоморфных признаков и ассоциаций типов кварца в породах фундамента и песчаниках керносской свиты позволил сделать вывод, что источником его являлись преимущественно гранитогнейсы фундамента ВЕП (Аблизин и др., 1982). В конгломератах старопечнинской свиты преобладают обломки песчаников и кварцито-песчаников, сходных с породами подстилающей керносской свиты, кремней, карбонатных пород и фосфоритов, встречаются также фрагменты основных магматических пород, напоминающих породы дворецкого комплекса, и гранитоидов. В составе песчаников чернокаменской свиты в значительном количестве присутствуют обломки андезитовых и базальтовых порфиритов, трахитовых порфиритов и осадочных пород (Аблизин и др., 1982).

В целом в роли крупных питающих провинций, которые поставляли обломочный материал в дистальную зону Предтиманского предгорного бассейна в венде, могли выступать как Кольский и Волго-Уральский геоблоки ВЕП, так и Варангер-Канино-Тиманский складчато-надвиговый пояс/Тиманский ороген (Маслов и др., 2009; см. также ссылки в этой работе) и территория Камско-Бельского авлакогена, сложенного разнообразными осадочными образованиями рифея (Стратотип рифея..., 1983; Белоконь и др., 2001).

На территории Кольского геоблока присутствуют нижне- и верхнеархейские комплексы, а также нижне- и верхнепротерозойские образования (Земная кора..., 1978; Докембрийская геология..., 1988; Общая..., 2002; и др.). В состав архейских комплексов входят биотитовые, гранат-биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы и высокоглиноземистые их разности, кристаллические сланцы и ортопороды различного состава, амфиболовые, амфибол-двуслюдяные и биотитовые сланцы, амфиболиты, перидотитовые и базальтовые коматииты, расслоенные габбро-лабрадориты, диориты и плагиограниты, а также ультраметагенные гранитоиды. Породы архейского возраста слагают ≈85% территории Кольского полуострова. К нижнепротерозойским образованиям (≈10% Кольского геоблока) принадлежат биотитовые гнейсы, плагиоамфиболиты, метадациты, метариодациты, гранатбиотитовые и двуслюдяные плагиосланцы, гранатбиотитовые гнейсы и кианитовые сланцы, метатрахиандезиты, метабазальты и метапикритбазальты, с которыми связаны массивы перидотитов, пироксенитов и габбро. Породы рифейского возраста (около 3%) представлены осадочными породами, а также габбро-норитами, чарнокит-гранитами, гранодиоритами, щелочными гранитами и граносиенитами. Суммируя сказанное, можно сделать вывод, что Кольский геоблок, объединяющий преимущественно "магматические/метаморфические" террейны, в рамках классификации водосборов, предложенной в работе (Bayon et al., 2015), следует считать питающей провинцией категории 3.

В составе *Волго-Уральского геоблока* также известны нижне- и верхнеархейские образования и нижнепротерозойские комплексы (Богданова, 1986; Докембрийская геология, 1988; Минц и др., 2010; и др.). К нижнему архею здесь принад-

лежат двупироксеновые кристаллосланцы, гиперстеновые и глиноземистые плагиогнейсы, эндербитогнейсы, чарнокитоиды и аляскитовые граниты. В ряде районов присутствуют гнейсы и мигматиты, а также плагиограниты. Раннеархейский возраст имеют предположительно также метагаббро, нориты и анортозиты, шпинелевые перидотиты, пироксениты и габбро-нориты. Верхнеархейские образования представлены высокоглиноземистыми кристаллосланцами, биотитовыми и амфиболбиотитовыми гнейсами (Древние платформы..., 1977; Ситдиков, 1982; Докембрийская геология, 1988; и др.), а также плагиогранитами, гранодиоритами и кварцевыми диоритами. К нижнему протерозою в пределах Альметьевского выступа отнесены кристаллические сланцы (Докембрийская геология, 1988). В целом доля архейских инфракрустальных образований на предвендской поверхности в пределах Волго-Уральского геоблока составляет ≈65%, а позднепротерозойских супракрустальных – не более 4–5% (Маслов и др., 2009). Следовательно, и Волго-Уральский геоблок в соответствии с классификацией, предложенной в работе Г. Байона с соавторами, можно рассматривать как питающую провинцию категории 3, т. е. совокупность разнообразных по строению и составу "магматических/метаморфических" террейнов.

Варангер-Канино-Тиманский складчато-надвиговый пояс/Тиманский ороген сложен позднедокембрийскими осадочно-метаморфическими, вулканогенно-обломочными и магматическими комплексами (Белякова, Степаненко, 1991; Gee et al., 2000; Dovzhikova et al., 2004; The Neoproterozoic Timanide..., 2004; и др.). Его наиболее крупной структурой является неопротерозойский аккреционный комплекс, сложенный метаморфизованными песчаниками и сланцами, гранитами, вулканогенными и вулканокластическими образованиями, габброидами, диоритами и гранодиоритами, риолитами, риолит-порфирами и ультраосновными породами. Пространственно с аккреционным комплексом сопряжены неопротерозойские офиолиты Енганэ-Пэ и островодужные ассоциации марункеуского комплекса. Не зная, однако, процентных соотношений между всеми перечисленными типами пород, Варангер-Канино-Тиманский пояс трудно определенно отнести к какой-либо категории питающих провинций в понимании Г. Байона с соавторами; это может быть и категория 3, и категория 2. Последнее возможно при преобладании в составе пояса осадочно-метаморфических и вулканогеннообломочных образований.

Камско-Бельский авлакоген представляет собой крупную отрицательную структуру, разделяющую Пермско-Башкирский и Татарский своды. Он выполнен мощным (до 10–12 км) комплексом терригенных и карбонатных отложений рифея. Считается, что основным источником обломочного ма-

териала для рифейских последовательностей, выполняющих авлакоген, являлся Татарский свод, на территории которого распространены преимущественно породы архея. На схематической геологической карте предвендского рельефа (Белоконь и др., 2001, рис. 22) видно, что непосредственно к западу от современного Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория на предвендском срезе распространены кристаллические комплексы архея-нижнего протерозоя и осадочные образования рифея, слагающие северные фланги Камско-Бельского авлакогена. Контур, который можно условно считать палеоводосборомисточником тонкой алюмосиликокластики для серебрянской и сылвицкой серий западного склона Среднего Урала, имеет размер 300 × 300 км и примерно соответствует протяженности с севера на юг Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория, располагаясь непосредственно к западу от него, примерно на 25-30% состоит из осадочных пород рифея и приблизительно на 75-70% – из дорифейских кристаллических образований. В соответствии с классификацией Г. Байона с соавторами, такой палеоводосбор может быть, по всей видимости, отнесен к категории 1 или, что не менее вероятно, к категории 3.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАНТАНОИДОВ И Th В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ ВЕНДА

Геохимические характеристики тонкозернистых обломочных пород различных литостратиграфических подразделений (свит и подсвит) серебрянской и сылвицкой серий мы будем далее рассматривать в рамках их принадлежности к региоярусам венда (верхнего эдиакария). Средние, минимальные и максимальные содержания в указанных породах ряда лантаноидов и значения таких параметров, как $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* , приведены в табл. 1.

Согласно полученным аналитическим данным, среднее содержание La в глинистых породах венда западного склона Среднего Урала варьирует от 28.05 ± 14.34 г/т (редкинский региоярус) до 50.06 ± 9.71 г/т (котлинский региоярус) (в PAAS – 38.2 г/т), что с учетом погрешностей можно рассматривать как достаточно сопоставимые величины. Несколько по-иному ведут себя средние концентрации Үb. Минимальная величина Үb_{ср} характерна для глинистых пород лапландского региояруса $(1.82 \pm 0.92 \text{ г/т})$, максимальная присуща тонкозернистым алюмосиликокластическим породам котлинского региояруса (3.35 \pm 0.41 г/т). С учетом погрешностей это различие представляется значимым. В PAAS содержание Yb -2.82 г/т. Величина Th_{ср} минимальна в глинистых породах редкинского региояруса $(8.87 \pm 4.18 \text{ г/т}, \text{ в})$ PAAS - 14.6 г/т) и максимальна в породах котлинского (16.14 ± 2.70 г/т). С учетом погрешностей

Таблица 1. Средние, минимальные и максимальные содержания лантаноидов и Th (г/т) и значения ряда их индикаторных отношений в глинистых породах региоярусов венда западного склона Среднего Урала

Table 1. Average, minimum and maximum contents of lanthanides and Th (ppm) and the values of their indicator ratios in clayey rocks of the Vendian regional stages (western slope of the Middle Urals)

Компоненты,	Региоярусы						
индикаторные отношения	Лапландский	Редкинский	Беломорский	Котлинский			
La	39.85 ± 18.89	28.05 ± 14.34	46.14 ± 14.17	50.06 ± 9.71			
	7.29–111.78	5.80–58.35	7.99–74.68	19.76–67.76			
Sm	5.54 ± 2.76	4.48 ± 2.16	$\frac{7.76 \pm 2.34}{1.000}$	8.15 ± 1.81			
	1.27–16.10	1.12–9.63	1.47–16.73	2.90–12.17			
Eu	1.12 ± 0.58	0.85 ± 0.48	1.53 ± 0.47	1.55 ± 0.34			
	0.26–3.16	0.20–2.16	0.33–3.54	0.70–2.39			
Gd	4.01 ± 2.19	3.55 ± 2.00	6.76 ± 2.11	7.23 ± 1.58			
	0.93–11.12	1.02-8.88	1.38–15.64	2.87–10.92			
Yb	1.82 ± 0.92	1.83 ± 0.92	3.12 ± 0.74	3.35 ± 0.41			
	0.36–6.42	0.61–4.14	0.92–4.43	2.23–4.38			
Th	11.63 ± 5.79	8.87 ± 4.18	15.03 ± 4.07	16.14 ± 2.70			
	1.87–38.13	0.89–17.42	1.93–22.56	6.55–22.93			
$(La/Yb)_N$	15.57 ± 5.26	10.46 ± 2.97	9.90 ± 1.66	10.03 ± 1.45			
	8.40–37.15	5.07–16.40	5.17–13.80	5.50–12.59			
Eu/Eu*	0.74 ± 0.08	0.65 ± 0.14	0.65 ± 0.04	0.62 ± 0.03			
	0.56-0.96	0.41–1.14	0.58-0.87	0.56-0.74			
n	51	27	93	28			

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное значение; п – число проанализированных образцов.

Note. The numerator is the arithmetic mean and standard deviation, the denominator is the minimum and maximum value; n – is the number of analyzed samples.

можно считать, что снизу вверх по разрезу венда Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория в глинистых породах наблюдается некоторый рост среднего содержания Тh. Минимальное значение параметра (La/Yb) $_{\rm Ncp}$ (9.90 ± 1.66) характерно для глинистых пород беломорского региояруса, а максимальное (15.57 ± 5.26) свойственно породам лапландского региояруса (для PAAS этот параметр равен 9.15). Максимальная средняя величина Eu/Eu* (0.62 ± 0.03) присуща глинистым породам котлинского региояруса, а минимальная (0.74 ± ± 0.08) — тонкозернистым обломочным образованиям лапландского региояруса. В среднем постархейском австралийском глинистом сланце величина Eu аномалии равна 0.65.

На диаграмме (La/Yb)_N—Eu/Eu* подавляющее число индивидуальных точек состава глинистых пород венда западного склона Среднего Урала сосредоточено в зоне перекрытия областей донных осадков устьевых частей рек категорий 1, 2 и 3 и лишь немногие точки тонкозернистых обломочных пород беломорского региояруса локализованы в том числе в области донных осадков рек категории 4, а точки глинистых пород лапландского региояруса — в области осадков современных рек категории 3 (рис. 3а). При рассмотрении распределения на названном графике средних для глинистых пород различных региоярусов точек состава видно, что точки редкинского, беломорского и котлинско-

го региоярусов локализованы весьма компактно в зоне перекрытия составов донных осадков устьевых частей рек категорий 1, 2 и 3, а средняя точка глинистых пород лапландского региояруса хотя и отстоит от них, но также находится в зоне перекрытия составов донных осадков устьевых частей рек категорий 1 и 3 (рис. 36). В целом средний состав глинистых пород лапландского региояруса западного склона Среднего Урала близок к составу донных осадков устьевой части такой современной реки, как Дунай, а трех других региоярусов — напоминает состав донных осадков рр. Миссисипи, Янцзы и Маккензи.

На диаграмме (La/Yb)_N-Th индивидуальные точки состава глинистых пород серебрянской и сылвицкой серий также в основном сосредоточены в зоне перекрытия областей состава осадков устьевых зон современных рек категорий 1 и 2 (рис. 4а). Положение полей, образуемых здесь точками глинистых пород различных региоярусов, на этом графике несколько различается. Так, точки тонкозернистых обломочных пород беломорского и котлинского региоярусов формируют поля с практически 100%-м перекрытием, тяготеющие к средним точкам осадков устьевых зон таких современных рек, как Миссисипи и Маккензи. Поле точек глинистых пород лапландского региояруса смещено от них несколько вправо, а индивидуальные точки состава тонкозернистых обломочных образований ред-

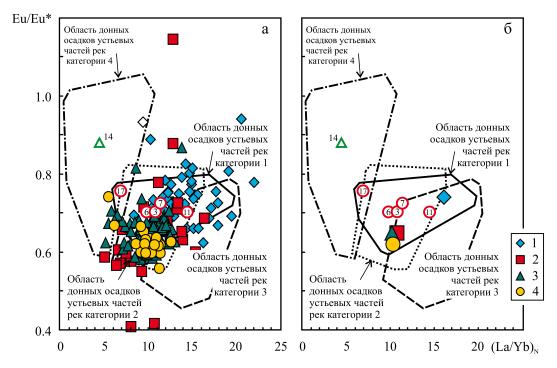


Рис. 3. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород различных региоярусов венда западного склона Среднего Урала на диаграмме (La/Yb)_N–Eu/Eu*.

Региоярусы: 1 – лапландский, 2 – редкинский, 3 – беломорский, 4 – котлинский. Остальные условные обозначения – см. рис. 1.

Fig. 3. The position of the individual (a) and average (6) data points of clayey rocks of various Vendian regional stages of the western slope of the Middle Urals on the (La/Yb)_N–Eu/Eu* diagram.

Regional stages: 1 – Laplandian, 2 – Redkinian, 3 – Belomorian, 4 – Kotlinian. Other symbols – see Fig. 1.

кинского региояруса расположены в значительной своей части ниже. Это ведет к тому, что глинистые породы данного подразделения оказываются сосредоточенными как в поле донных осадков устьевых зон рек категории 1, так и в поле осадков рек категории 4. Область распределения индивидуальных точек беломорского яруса на данном графике захватывает поля составов донных осадков устьевых частей рек всех четырех категорий по классификации Г. Байона с соавторами.

Средние точки состава глинистых пород беломорского и котлинского региоярусов на диаграмме $(\text{La/Yb})_N$ —Тh локализованы в зоне перекрытия полей донных осадков категорий 1 и 2, тогда как средние точки тонкозернистых обломочных образований лапландского и редкинского региоярусов расположены в поле донных осадков устьевых частей рек категории 1, тяготея соответственно к точкам состава устьевых отложений таких современных рек, как Дунай и Фрейзер (Каскадные горы, Канада) (рис. 46).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Выполненный нами ранее анализ медианных величин Th/Cr, Th/Sc и ряда других индика-

торных отношений в глинистых породах среднеуральского сегмента поздневендского Предтиманского предгорного прогиба показал, что формирование их происходило за счет смешения как кислой, так и основной алюмосиликокластики, однако доля последней, по всей видимости, была относительно небольшой (Гражданкин и др., 2010; Маслов и др., 2013). Эти же исследования позволили считать, что подавляющее большинство выполняющих дистальные зоны названного предгорного бассейна (Мезенская и Шкаповско-Шиханская впадины, западный склон Среднего Урала) глинистых пород сопоставимо с таким референтным объектом, как постархейский австралийский глинистый сланец (РААЅ) (Маслов и др., 2009). Следовательно, примитивные архейские инфракрустальные субстраты, доминирующие в составе Кольского и Волго-Уральского мегаблоков ВЕП (см. выше), вероятно, не принимали какого-либо существенного участия в формировании осадочного выполнения Предтиманского предгорного прогиба. Соответственно, основными источниками обломочного материала для названного прогиба могли быть кадомский Варангер-Канино-Тиманский складчатонадвиговый пояс/Тиманский ороген и/или территория Камско-Бельского авлакогена, на довендский

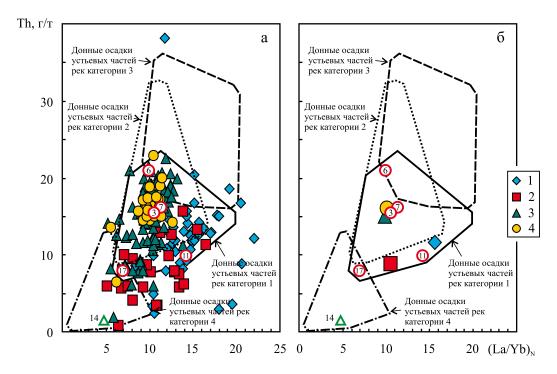


Рис. 4. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород различных региоярусов венда западного склона Среднего Урала на диаграмме (La/Yb)_N—Th.

Условные обозначения – см. рис. 1 и 3.

Fig. 4. The position of the individual (a) and average (δ) data points of clayey rocks of various Vendian regional stages of the western slope of the Middle Urals on the (La/Yb)_N-Th diagram.

Legend – see Fig. 1 and 3.

срез которой были выведены на значительной площади осадочные последовательности рифея.

В пользу сказанного свидетельствуют и результаты замеров ориентировки директивных текстур в отложениях венда Юго-восточного Беломорья (Гражданкин, 2003), и данные о Nd модельном возрасте глинистых пород различных сегментов Предтиманского предгорного прогиба. Так, аргиллиты Юго-восточного Беломорья имеют Nd модельный возраст от 1.73-1.71 до 1.57-1.53 млрд лет (Маслов и др., 2008). Тонкозернистые терригенные породы сылвицкой серии Среднего Урала характеризуются значениями T_{DM} в интервале 1.77–1.73 млрд лет (Маслов и др., 2005). Это резко отличается от медианных величин Т_{DM} для инфракрустальных образований Балтийского щита (≈2.9 млрд лет) и Волго-Уральского геоблока (2.8–2.4 млрд лет) (Петров и др., 2007). Рассмотрение моделей смешения (Маслов и др., 2008) также позволяет предполагать, что роль кристаллических комплексов двух названных геоблоков как источников тонкой алюмосиликокластики для Предтиманского предгорного бассейна в позднем венде была небольшой.

Распределение индивидуальных и средних точек глинистых пород различных региоярусов венда западного склона Среднего Урала на диаграммах

 $(La/Yb)_N$ -Eu/Eu* и $(La/Yb)_N$ -Th вполне однозначно, на наш взгляд, указывает на то, что реки, поставлявшие участвующий в их составе тонкозернистый обломочный/взвешенный материал, принадлежали в основном к категориям 1 и 2. Следовательно, их водосборы были сложены преимущественно или в существенной мере осадочными породами, а размер водосборных бассейнов был достаточно большим (от почти 100 тыс. κm^2 до 1 млн κm^2 и более). Определенный вклад в формирование этого материала вносили, вероятно, и выведенные к дневной поверхности магматические и метаморфические породы Волго-Уральского мегаблока, т. е. те районы или структуры, которые в рамках классификации Г. Байона с соавторами относятся к категории "igneous/metamorphic terranes".

Для того чтобы читатель нагляднее представлял себе возможный характер водосборных пространств, поставлявших в венде тонкую алюмосиликокластику в область сочленения восточных районов ВЕП и Среднего Урала, приведем обобщенное описание водосборов упомянутых нами выше современных рек — Миссисипи, Маккензи, Дуная и Фрейзера, с составом донных осадков устъевых частей которых в той или иной мере сопоставимы глинистые породы венда Среднего Урала.

Водосборный бассейн р. Миссисипи (площадь около 3 млн км²) ограничен на востоке докембрийско-палеозойскими образованиями Аппалачей, на севере – Канадским щитом, а на западе – литологически и тектонически сложно построенными Скалистыми горами. Значительная часть Великих Равнин, по которым протекает р. Миссисипи, сложена на западе мезозойско-кайнозойскими осадочными образованиями и преимущественно фанерозойскими осадочными породами на востоке. В целом на территории водосбора доминируют морские (≈75%) и континентальные (около 20%) осадочные породы (Peucker-Ehrenbrink et al., 2010).

Водосборный бассейн р. Маккензи (площадь более 1.8 млн км²) объединяет такие разные по своему геологическому строению провинции, как Кордильеры, Внутренняя платформа и Канадский щит (Millot et al., 2003). Кордильеры сложены в основном домезозойскими осадочными и метаморфическими породами, роль изверженных образований среди них невелика. Внутренняя платформа представлена преимущественно глинистыми сланцами, песчаниками, известняками и эвапоритами. На территории Канадского щита на дневную поверхность выведены кристаллические породы. По данным (Reeder et al., 1972), примерно 70% площади водосборного бассейна р. Маккензи приходится на долю осадочных пород, кристаллические породы занимают несколько более 20% его территории, и около 10% – это кислые магматические породы, вулканиты и ультрабазиты.

Водосборный бассейн р. Дунай (площадь более 800 тыс. км²) включает на западе (Шварцвальд и др.) преимущественно метаморфические/кристаллические образования. Такого же рода комплексы свойственны центральной части Альп, Центральной цепи Карпат и ряду районов Стара-Планины. От предгорий Альп на территории Германии до северных и восточных районов Карпатской дуги, а также северных отрогов Стара-Планины в его пределах распространены флишевые осадочные отложения. В Динаридах на дневную поверхность выведены в основном известняки и доломиты мезозойского возраста (Belz et al., 2004; Loczy et al., 2012).

Водосборный бассейн р. Фрейзер (площадь ≈220 тыс. км²) охватывает часть Северо-Американских Кордильер и Берегового Хребта. На востоке бассейна в пределах Предгорного пояса Скалистых гор преобладают в разной степени метаморфизованные верхнедокембрийские и кембрийские обломочные и карбонатные породы. Присутствуют здесь также гранитоиды. В центральной части водосбора на дневную поверхность выведены вулканиты и осадочные породы позднетриасовораннетретичного возраста и гранитоиды. На западе, в Береговом Хребте, доминируют мезозойскокайнозойские изверженные и метаморфические образования. В целом в пределах водосбора р. Фрей-

зер преобладают вулканические породы (\approx 42%), доля осадочных образований составляет порядка 36%, а кислых интрузивных пород – около 15% (Cameron et al., 1995; Peucker-Ehrenbrink et al., 2010).

Таким образом, практически во всех перечисленных примерах (за исключением бассейна р. Фрейзер) на территории водосборов преобладают или играют существенную роль осадочные образования. С учетом распределения точек состава глинистых пород серебрянской и сылвицкой серий на диаграммах $(La/Yb)_N$ —Eu/Eu* и $(La/Yb)_N$ —Thэто позволяет думать, что и во время формирования осадочных последовательностей венда западного склона Среднего Урала состав водосборов мог быть примерно таким же. Следовательно, реки, дренировавшие питающие провинции, сложенные исключительно или в основном вулканическими породами (категория 4) или магматические/метаморфические террейны (категория 3, наиболее типичные примеры – Кольский и Волго-Уральский геоблоки ВЕП), не играли, как представляется на основе имеющейся информации, какой-либо заметной роли при формировании осадочных толщ серебрянской и сылвицкой серий.

Все сказанное выше дает основание думать, что основными источниками тонкой алюмосиликокластики, сопоставимой по своему составу с составом донных отложений приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2, для отложений серебрянской и сылвицкой серий венда западного склона Среднего Урала могли быть либо осадочные образования рифея северной части Камско-Бельского авлакогена (однако доля их в "условном контуре", как показано выше, не очень велика), либо Варангер-Канино-Тиманский складчатонадвиговый пояс/Тиманский ороген.

Анализируя полученные данные, мы исходим из того, что состав прибрежных и мелководноморских осадков морских бассейнов в значительной мере сходен с составом донных отложений приустьевых частей рек, и не принимаем во внимание тех возможных трансформаций состава речных взвесей, что имеют место в маргинальных фильтрах. Обоснованно ли это? Напомним, что, в соответствии с представлениями А.П. Лисицына, маргинальный фильтр представляет собой пояс (от сотен километров для крупных рек до сотен метров для мелких), в пределах которого происходит смешение речных и морских вод. В маргинальном фильтре речная вода "... подвергается сложному воздействию разнообразных сорбентов, организмов, биофильтрации и ряду других характерных только для этой области процессов, что приводит к глубоким ее преобразованиям, к удалению почти всех взвешенных в воде веществ, многих металлов как в растворенных, так и во взвешенных формах, органического вещества и др." (Лиси-

цын, 1994, с. 735). В маргинальных фильтрах, по оценке А.П. Лисицына, осаждается более 90% осадочного вещества, металлов и солей, поступающих с суши. Кроме того, считается, что "...на границе река-море происходит коренное изменение структуры стока и для большинства элементов: основная часть элементов, находящихся во взвешенной форме, на 90-95% выпадает в осадок в маргинальном фильтре" (Лисицын, 1994, с. 743). А падение уровня океана во время оледенений ведет к существенному смещению устьев рек в сторону внешних районов шельфа и перемещению осадочного материала маргинальных фильтров в море. Таким образом, основными процессами в маргинальных фильтрах являются механическое выпадение взвеси с удалением элементов, входящих в кристаллические решетки минералов, сорбция элементов из растворов новообразованными оксигидратами железа, частицами органики и ее флоккулами, возникшими при смешении речных и морских вод, а также биоассимиляция и биофильтрация. Все это ведет к существенному разделению химических элементов (Лисицын, 1994).

Вместе с тем все сказанное наиболее отчетливо проявлено, на наш взгляд, по-видимому, при сопоставлении таких структур первого порядка, как континент и океан. На более низких уровнях "осадочной пирамиды", например в системах типа "речное устье — прибрежное/шельфовое мелководье морского бассейна", дифференциация осадков по их геохимическим особенностям выражена не столь резко. Это достаточно хорошо видно

на примере распределения значений исследуемых нами в данной работе параметров (содержание Th, $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^*) во взвеси и поверхностных донных осадках маргинального фильтра р. Сев. Двина (дельта + Двинский залив + граница последнего с Бассейном) (табл. 2, рис. 5).

Параметр (La/Yb)_N в северодвинской взвеси, рассчитанный нами по данным работы (Шевченко и др., 2010), варьирует от 9.7 до 10.9 (приводимые здесь и ниже значения получены при нормировании по хондриту (Taylor, McLennan, 1985)). Расчет по материалам из публикации (Bayon et al., 2015) дает для донных отложений устьевой части р. Сев. Двина величины (La/Yb)_N, равные 13.2 (пелит) и 11.5 (алеврит). Поверхностные донные осадки двинской дельты характеризуются средним значением указанного параметра -7.0 ± 1.4 , для отложений Двинского залива оно составляет 7.3 ± 1.2 . Таким образом, при прохождении маргинального фильтра р. Сев. Двина наблюдается в целом, однако, довольно незначительное падение величин (La/Yb)_N в алевритопелитовых поверхностных осадках.

Средняя величина Eu аномалии во взвеси р. Сев. Двина, рассчитанная по данным (Шевченко и др., 2010), составляет 0.70 (по данным работы (Вауоп et al., 2015) – 0.73). В поверхностных донных осадках северодвинской дельты величина Eu/Eu* изменяется от 0.7 до 1.1 (среднее – 0.9 \pm 0.1), в осадках Двинского залива разброс минимальных и максимальных значений Eu аномалии также составляет 0.7–1.1, а на границе залива и Бассейна – 0.7–1.0

Таблица 2. Средние, минимальные и максимальные содержания Th (Γ/T) и значения ряда индикаторных отношений нормированных по хондриту лантаноидов во взвеси р. Сев. Двина и поверхностных донных осадках ее дельты и некоторых районов Белого моря

Table 2. Average, minimum and maximum contents of Th (ppm) and the values of indicator ratios of lanthanides normalized to chondritis in suspended particulate matter of North Dvina River and bottom sediments of its delta and some areas of the White Sea

Компоненты, индикаторные отношения		Районы			
		П	IV	V	VI
(La/Yb) _N	Минимум	9.7	4.1	5.5	6.5
	Максимум	10.9	10.4	9.3	15.4
	Среднее	_	7.0	7.3	9.8
	CO	_	1.4	1.2	3.5
Eu/Eu*	Минимум	_	0.7	0.7	0.7
	Максимум	_	1.1	1.1	1.0
	Среднее	0.7	0.9	0.8	0.8
	CO	_	0.1	0.1	0.1
Th	Минимум	5.0	0.7	1.9	2.3
	Максимум	7.3	9.2	9.8	12.7
	Среднее	_	3.5	5.1	8.4
	СО	_	2.7	2.5	4.5

Примечание. СО – стандартное отклонение, прочерк – значение не рассчитывалось.

Note. CO - standard deviation, dash - the value was not calculated.

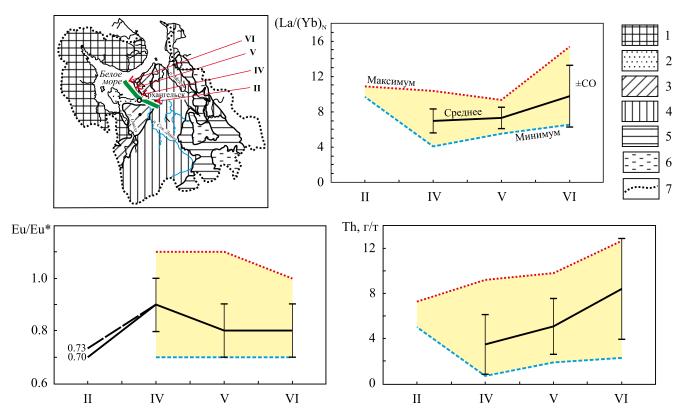


Рис. 5. Вариации средних, минимальных и максимальных величин (La/Yb)_N, Eu/Eu* и содержания Th во взвеси и поверхностных донных осадках различных районов системы "р. Сев. Двина–Белое море" (районы и схема водосборного бассейна, по (Маслов и др., 2014)).

1 – архей и протерозой, 2 – венд, 3 – карбон, 4 – пермь, 5 – триас, 6 – юра; 7 – граница водосбора. II – нижнее течение р. Сев. Двина, IV – дельта р. Сев. Двина, V – Двинский залив, VI – граница Двинского залива и Бассейна. СО – стандартное отклонение.

Fig. 5. Variations in the average, minimum, and maximum values of (La/Yb)_N, Eu/Eu* and the Th content in suspended matter and surface bottom sediments of various regions of the "North Dvina River-White Sea" system (regions and the scheme of the North Dvina drainage basin, according to (Maslov et al., 2014)).

1 – Archean and Proterozoic, 2 – Vendian, 3 – Carboniferous, 4 – Permian, 5 – Triassic, 6 – Jurassic; 7 – catchment boundary. II – the lower course of the North Dvina River, IV – North Dvina delta, V – Dvina Bay, VI – the border of the Dvina Bay and the Basin. CO – standard deviation.

(среднее -0.8 ± 0.1). Анализ приведенных значений показывает, что маргинальный фильтр р. Сев. Двина на величины Eu аномалии в поверхностных донных осадках принципиально не влияет, хотя, конечно, многое при этом зависит от представительности и достоверности аналитических данных.

Содержание Th во взвеси р. Сев. Двина варьирует, по данным (Шевченко и др., 2010), от 5.0 до 7.3 г/т. В поверхностных осадках северодвинской дельты среднее содержание Th составляет 3.5 ± 2.7 , в осадках Двинского залива -5.1 ± 2.5 , и на границе залива и Бассейна -8.4 ± 4.5 г/т. С учетом погрешностей эти значения также представляются сопоставимыми.

Таким образом, представляется возможным думать, что параметры нормированных по хондриту спектров распределения РЗЭ (такие как $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^*) и содержание Th в глинистых отложени-

ях прибрежных и мелководных/шельфовых зон современных морских бассейнов (и, по-видимому, мелководных/шельфовых бассейнов седиментации геологического прошлого) в целом принципиально не отличаются от аналогичных геохимических характеристик тонкозернистых алюмосиликокластических осадков приустьевых частей рек, питавших эти бассейны тонким (пелитовым и алевритовым) взвешенным материалом. Это, в свою очередь, позволяет считать, что, основываясь на геохимических особенностях прибрежно- и мелководноморских глинистых пород тех или иных осадочных последовательностей, мы можем с определенным успехом реконструировать состав слагавших палеоводосборы источников тонкозернистого обломочного материала, а также их категории в рамках классификации Г. Байона с соавторами (Вауоп et al., 2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Абстрагируясь в той или иной мере от некоторой эволюции геохимических характеристик различных комплексов пород, слагавших водосборы в докембрии и фанерозое, а также считая, что в маргинальных фильтрах разделение химических элементов хотя и происходит, но не ведет к принципиальным различиям между геохимическими особенностями речных взвесей, с одной стороны, и прибрежно- и мелководно-морских осадков шельфовых морей, с другой, мы можем, по всей видимости, думать, что такие параметры глинистых пород шельфовых зон морских бассейнов геологического прошлого, как (La/Yb)_N и Eu/Eu*, а также содержание Th, в целом принципиально не отличаются от аналогичных геохимических характеристик пелитовых и алевритовых осадков приустьевых частей рек, питавших указанные бассейны тонким алюмосиликокластическим материалом. Это позволяет предполагать, что, основываясь на геохимических особенностях прибрежно- и мелководноморских глинистых пород тех или иных осадочных последовательностей, мы можем с определенным успехом реконструировать состав/категорию палеоводосборов-источников слагающего их тонкозернистого обломочного материала. Понятно, что при таком подходе необходимо пренебречь изменением соотношений в истории Земли различных комплексов пород на водосборах (Холодов, 2001; и др.). Возможно, однако, что если мы исследуем геологические объекты, не слишком кардинально отличающиеся друг от друга по возрасту слагающих их осадочных толщ, то и эта проблема в определенной мере будет микширована.

При условии корректности сделанных выше допущений, можно заключить, что распределение точек глинистых пород различных региоярусов венда западного склона Среднего Урала на диаграммах $(La/Yb)_N$ –Eu/Eu* и $(La/Yb)_N$ –Th указывает на принадлежность рек, поставлявших для них тонкую алюмосиликокластику, к категориям 1 (крупные реки/world's major rivers) и 2 (реки, дренирующие осадочные образования/rivers draining "mixed/ sedimentary" formations). Водосборы рек таких категорий в настоящее время имеют достаточно большие размеры. Маловероятно, что они захватывали всю территорию современного Камско-Бельского авлакогена, где общая площадь рифейских осадочных образований на довендском срезе достигает 150-170 тыс. км², так как названный авлакоген "открывается" в основном в сторону структур современного западного склона Южного Урала. Непосредственно же к западу от Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория на довендском срезе преобладают кристаллические комплексы архея-нижнего протерозоя, а доля осадочных образований рифея в северной части Камско-Бельского авлакогена не превышает в таком условном палеводосборе 25–30%. Следовательно, как и ранее (Маслов и др., 2008, 2009, 2013), можно предполагать, что осадочные последовательности Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория могут быть основном сложены материалом, поступавшим с востока, из объединявшего разнообразные (осадочно-метаморфические, вулканогеннообломочные и магматические) комплексы пород и активно воздымавшегося и разрушавшегося кадомского Варангер-Канино-Тиманского складчатонадвигового пояса/Тиманского орогена. И в первом и во втором случаях определенный, а возможно и заметный, вклад в формирование осадочных последовательностей венда вносили магматические и метаморфические породы фундамента ВЕП, слагавшие структуры, которые в рамках классификации Г. Байона с соавторами, относятся к категории "igneous/metamorphic terranes". Это достаточно хорошо видно как из распределения фигуративных точек глинистых пород различных региоярусов венда на диаграммах (La/Yb)_N-Eu/Eu* и (La/Yb)_N-Th, так и из материалов минералогопетрографических исследований присутствующих в их разрезах конгломератов и песчаников (Аблизин и др., 1982; и др.).

Благодарности

Автор благодарен рецензенту, советы и замечания которого способствовали успешному завершению работы над рукописью, а также искренне признателен Н.С. Глушковой, подготовившей все иллюстрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аблизин Б.Д., Клюжина М.Л., Курбацкая Ф.А., Курбацкий А.М. (1982) Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала. М.: Наука, 140 с.

Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Недра, 288 с.

Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. (2001) Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: Звезда, 108 с.

Белякова Л.Т., Степаненко В.И. (1991) Магматизм и геодинамика байкалид фундамента Тимано-Печорской синеклизы. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (12), 106-117.

Богданова С.В. (1986) Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента). М.: Наука, 224 с.

Гражданкин Д.В. (2003) Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-восточном Беломорье. *Стратиграфия*. *Геол. корреляция*, **11**(4), 3-34.

Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В. (2011) Котлинский горизонт на Южном Урале. *Докл. АН*, **440**(2), 201-206.

Гражданкин Д.В., Маслов А.В. (2015) Место венда в международной стратиграфической шкале. *Геология* и *геофизика*, **56**(4), 703-717.

- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т. (2009) Строение и этапы формирования вендских отложений сылвицкой серии западного склона Среднего Урала. Стратиграфия. Геол. корреляция, 17(5), 20-40.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. Осадочные системы сылвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Мастилл Т.М.Р., Крупенин М.Т. (2005) Беломорская биота эдиакарского типа на Среднем Урале. *Докл. АН*, **401**(6), 784-788.
- Докембрийская геология. (1988) (Отв. ред. Д.В. Рундквист, Ф.П. Митрофанов). Л.: Наука, 440 с.
- Древние платформы Евразии. (1977) (Отв. ред. К.В. Боголепов, О.А. Вотах). Новосибирск: Наука, 312 с.
- Земная кора восточной части Балтийского щита. (1978) (Отв. ред. К.О. Кратц). Л.: Наука, 232 с.
- Ибламинов Р.Г., Курбацкая Ф.А., Лебедев Г.В. (1996) Металлогения рифея и венда западного склона Северного и Среднего Урала. Геология и минерагения докембрия северо-востока Европейской платформы и севера Урала. Тез. докл. Сыктывкар: Геопринт, 76-77.
- Интерпретация геохимических данных. (2001) (Отв. ред. Е.В. Скляров). М.: Интермет Инжиниринг, 288 с.
- Карпухина Е.В., Первов В.А., Журавлев Д.З. (2001) Петрология субщелочного вулканизма индикатора поздневендского рифтогенеза, западный склон Урала. *Петрология*, **9**(5), 480-503.
- Климат в эпохи крупных биосферных перестроек. (2004) (Отв. ред. М.А. Семихатов, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 299 с.
- Клюжина М.Л. (1969) Литология и условия образования ашинской серии Среднего Урала. Дис. ... канд. геолмин. наук. Свердловск: ИГГ УФАН СССР, 220 с.
- Курбацкая Ф.А. (1968) Корреляция терригенных толщ верхнего докембрия западного склона Среднего Урала и условия их образования. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь: Пермский госуниверситет, 25 с.
- Курбацкая Ф.А. (1986) О строении и развитии зоны сочленения западного Урала и Восточно-Европейской платформы в позднем докембрии. Докембрийские вулканогенно-осадочные комплексы Урала. Свердловск: УНЦ РАН, 50-59.
- Курбацкая Ф.А., Аблизин Б.Д. (1970) К палеогеографии терригенных толщ верхнего докембрия западного склона Среднего Урала (западная подзона Вишерско-Чусовского антиклинория). Геология и петрография западного Урала. Пермь: Изд-во Пермского госуниверситета, 109-126.
- Кухаренко А.А. (1962) Литология и условия формирования ашинской серии западного склона Среднего Урала. *Вопросы литологии и палеогеографии*. Уч. записки ЛГУ. Сер. геол. наук, **310**, 245-274.
- Лисицын А.П. (1994) Маргинальный фильтр океанов. *Океанология*, **34**(5), 735-747.
- Маслов А.В. (2003) Текстурные особенности пород усть-сылвицкой свиты верхнего венда в типовом разрезе: к интерпретации условий формирования. *Ежегодник-2002*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 65-69.
- Маслов А.В., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. (2012) U-Рb-систематика обломоч-

- ных цирконов из отложений серебрянской серии Среднего Урала. *Литология и полез. ископаемые*, (2), 180-196.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Крупенин М.Т. (2003) Седиментационные особенности пород и условия формирования осадочных последовательностей нижней подсвиты чернокаменской свиты венда в бассейне р. Сылвица. *Ежегодник-2002*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 70-82.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П. (2009) Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского форландового бассейна Тиманского орогена. *Геохимия*, (12), 1294-1318.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Крупенин М.Т. (2013) Особенности изменения ряда литогеохимических характеристик тонкозернистых обломочных пород позднего венда Мезенского палеобассейна. *Литосфера*, (3), 25-42.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. (2008) Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна. Литология и полез. ископаемые, (3), 290-312.
- 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. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2005) Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аргиллитах венда западного склона Среднего Урала. Докл. АН, 401(5), 668-672.
- Маслов А.В., Шевченко В.П. (2019) Систематика редких земель и Тh во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики. *Геохимия*, **64**(1), 59-78. DOI: 10.31857/S0016-7525201959-78
- Маслов А.В., Шевченко В.П., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Шевченко Н.В. (2014) Особенности распределения элементов-примесей и редкоземельных элементов в современных донных осадках нижнего течения р. Северной Двины и Белого моря. Литология и полез. ископаемые, (6), 463-492. DOI: 10.7868/S0024497X1406007X
- Маслов А.В., Школьник С.И., Летникова Е.Ф., Вишневская И.А., Иванов А.В., Страховенко В.Д., Черкашина Т.Ю. (2018) Ограничения и возможности литогеохимических и изотопных методов при изучении осадочных толщ. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 383 с.
- Минц М.В., Сулейманов А.К., Бабаянц П.С., Белоусова Е.А., Блох Ю.И., Богина М.М., Буш В.А., Докукина К.А., Заможняя Н.Г., Злобин В.Л., Каулина Т.В., Конилов А.Н., Михайлов В.О., Натапов Л.М., Пийп В.Б., Ступак В.М., Тихоцкий С.А., Трусов А.А., Филиппова И.Б., Шур Д.Ю. (2010) Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и Татсейс. М.: Геокарт; ГЕОС.

- T. 1, 408 c. T. 2, 400 c.
- Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России. Объяснительная записка. (2002) (Отв. ред. Ф.П. Митрофанов, В.З. Негруца). Апатиты: КНЦ РАН, 13 с.
- Петров Г.А. (2014) Признаки позднедокембрийской обстановки скольжения плит на Среднем Урале. Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Мат-лы XLVI Тектонич. совещ. Т. II. М.: ГЕОС, 74-78.
- Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. (2005) Допалеозойское магматические комплексы Кваркушско-Каменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике. *Литосфера*, (4), 42-69.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Иванова Т.В., Изотов В.Г., Козлов П.С., Лепихина О.П. (2007) Sm-Nd систематика кристаллических пород фундамента востока Русской платформы как ключ к реконструкции источников сноса для верхнедокембрийских осадочных ассоциаций Западного Урала: первые результаты исследований. Новые идеи в науках о Земле. Мат-лы VIII Междунар. конф. Т. 1. М.: РГГРУ, 254-257.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Гилем, 146 с.
- Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Петров Г.А., Матуков Д.И., Суслов С.Б., Синдерн С., Крамм У., Лепихина О.П. (2007) "In situ" U-Pb (SHRIMP) датирование цирконов граносиенитов Троицкого массива (Кваркушско-Каменногорский мегантиклинорий, Средний Урал). Докл. АН, 412(1), 87-92.
- Ситдиков Б.С. (1982) Раннедокембрийские метаморфические комплексы кристаллического фундамента востока Русской плиты в пределах Волжско-Камской антеклизы. Геология, петрология и корреляция кристаллических комплексов Европейской части СССР. Л.: Недра, 147-158.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
- Холодов В.Н. (2001) Роль геохимии осадочного процесса в развитии литологии. *Проблемы литологии, геохимии и осадочного рудогенеза*. М.: Наука, 54-92.
- Шевченко В.П., Покровский О.С., Филиппов А.С., Лисицын А.П., Бобров В.А., Богунов А.Ю., Завернина Н.Н., Золотых Е.О., Исаева А.Б., Кокрятская Н.М., Коробов В.Б., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Политова Н.В. (2010) Об элементном составе взвеси реки Северная Двина (бассейн Белого моря). Докл. АН, 430(5), 686-692.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2011) Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 742 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. (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

- Belz J.U., Goda L., Buzas Z., Domokos M., Weber J. (2004) Das Abflussregime der Donau und ihres Einzugsgebietes, Regionale Zusammenarbeit der Donaulander im Rahmen des IHP der UNESCO. Bundesamt für Gewasserkunde, Koblenz/Baja. 152 p.
- Bouchez J., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L., Dutra-Maia P. (2011) Grain size control of river suspended sediment geochemistry: clues from Amazon River depth profiles. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **12**, Q03008. https://doi.org/10.1029/2010GC003380
- Cameron E.M., Hall G.E.M., Veizer J., Krouse H.R. (1995) Isotopic and elemental hydrogeochemistry of a major fiver system: Fraser River, British Columbia, Canada. *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, **122**, 149-169. https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00007-9
- 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**, 305-327. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X
- Dovzhikova E., Pease V., Remizov D. (2004) Neoproterozoic island arc magmatism beneath the Pechora Basin, NW Russia. *GFF*, **126**, 353-362. DOI: 10.1080/11035890401264353
- Dupre B., Gaillardet J., Rousseau D., Allegre C.J. (1996) Major and trace elements of river-borne material: the Congo Basin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**, 1301-1321. https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00043-9
- Garzanti E., Ando S., France-Lanord C., Censi P., Vignola P., Galy V., Lupker M. (2008) Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments 2. Suspendedload silt (Ganga–Brahmaputra, Bangladesh). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 302, 107-120. https://doi.org/10.1016/j. epsl.2010.11.043
- Gee D., Beliakova L., Pease V., Larionov A., Dovshikova L. (2000) New, single zircon (Pb-evaporation) ages from Vendian intrusions in the basement beneath the Pechora Basin, northeastern Baltica. *Polarforschung*, **68**, 161-170.
- Goldstein S.J., Jacobsen S.B. (1988) Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: implications for crustal evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **87**, 249-265. https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90013-1
- Goldstein S.L., O'Nions R.K., Hamilton P.J. (1984) A Sm-Nd isotopic study of atmospheric dusts and particulates from major river systems. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **70**, 221-236. https://doi.org/10.1016/0012-821X(84)90007-4
- Inorganic Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. (2003) (Ed. D.R. Lentz). *Geol. Ass. Canada. GeoText 4*, 184 p.
- Kamber B.S., Greig A., Collerson R.D. (2005) A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1041-1058. https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.08.020
- Loczy D., Stankoviansky M., Kotarba A. (Eds) Recent Landform Evolution: The Carpatho-Balkan-Dinaric Region. Springer Science & Business Media, 2012. 462 p.
- McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. (Eds M.J. Johnsson, A. Basu). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 284, 21-40. DOI:

- https://doi.org/10.1130/SPE284-p21
- McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T., Maynard J.B. (1990) Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 2015-2050. https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90269-O
- Millot R., Gaillardet J., Dupre B., Allegre C.J. (2003) Northern latitude chemical weathering rates: Clues from the Mackenzie River Basin, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67, 1305-1329. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(02)01207-3
- Peucker-Ehrenbrink B., Miller M.W., Arsouze T., Jeandel C. (2010) Continental bedrock and riverine fluxes of strontium and neodymium isotopes to the oceans. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, Q03016, doi:10.1029/2009GC002869.
- Reeder S.W., Hitchon B., Levinson A.A. (1972) Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada I. Factors controlling inorganic composition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **36**, 825-865. https://doi.org/10.1016/0016-7037(72)90053-1
- Stummeyer J., Marchig V., Knabe W. (2002) The composition of suspended matter from Ganges–Brahmaputra sediment dispersal system during low sediment transport season. *Chem. Geol.*, **185**, 125-147. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00396-5
- 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.
- The Neoproterozoic Timanide orogen of Eastern Baltica. (2004) (Eds D.G. Gee, V. Pease). Geol. Soc., London. Memoirs, 30, 255 p.
- Viers J., Dupre B., Gaillardet J. (2009) Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database. *Sci. Total Environ.*, **407**, 853-868. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.053

REFERENCES

- Ablizin B.D., Klyuzhina M.L., Kurbatskaya F.A., Kurbatsky A.M. (1982) *Verkhnii rifei i vend zapadnogo sklona Srednego Urala* [Upper Riphean and Vendian of the western slope of the Middle Urals]. Moscow, Nauka Publ., 140 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
- Becker Yu.R. (1988) *Molassy dokembriya* [Molasses of Precambrian]. Leningrad, Nedra Publ., 288 p. (In Russian)
- Belokon' T.V., Gorbachev V.I., Balashova M.M. (2001) Stroenie i neftegazonosnost' rifeisko-vendskikh otlozhenii vostoka Russkoi platformy [The structure and oil and gas potential of the Riphean-Vendian deposits of the east part of the Russian platform]. Perm, Zvezda Publ., 108 p. (In Russian)
- Belz J.U., Goda L., Buzas Z., Domokos M., Weber J. (2004)

- Das Abflussregime der Donau und ihres Einzugsgebietes, Regionale Zusammenarbeit der Donaulander im Rahmen des IHP der UNESCO. Bundesamt für Gewasserkunde, Koblenz/Baja. 152 p.
- Belyakova L.T., Stepanenko V.I. (1991) Magmatism and geodynamics of the Baikalides of the Timan-Pechora syneclise basement. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geol.*, (12), 106-117. (In Russian)
- Bogdanova S.V. (1986) Zemnaya kora Russkoi plity v rannem dokembrii (na primere Volgo-Ural'skogo segmenta) [The Earth's crust of the Russian Plate in Early Precambrian (by the example of the Volga-Ural segment)]. Moscow, Nauka Publ., 224 p. (In Russian)
- Bouchez J., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L., Dutra-Maia P. (2011) Grain size control of river suspended sediment geochemistry: clues from Amazon River depth profiles. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q03008. https://doi.org/10.1029/2010GC003380
- Cameron E.M., Hall G.E.M., Veizer J., Krouse H.R. (1995) Isotopic and elemental hydrogeochemistry of a major fiver system: Fraser River, British Columbia, Canada. *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, **122**, 149-169. https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00007-9
- 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**, 305-327. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X
- Dokembriiskaya geologiya [Precambrian geology]. (1988) (Ed. D.V. Rundqvist, F.P. Mitrofanov). Leningrad, Nauka Publ., 440 p. (In Russian)
- Dovzhikova E., Pease V., Remizov D. (2004) Neoproterozoic island arc magmatism beneath the Pechora Basin, NW Russia. *GFF*, **126**, 353-362. DOI: 10.1080/11035890401264353
- Drevnie platformy Evrazii [Ancient platforms of Eurasia]. (1977) (Ed. K.V. Bogolepov, O.A. Votakh). Novosibirsk, Nauka Publ., 312 p. (In Russian)
- Dupre B., Gaillardet J., Rousseau D., Allegre C.J. (1996) Major and trace elements of river-borne material: the Congo Basin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**, 1301-1321. https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00043-9
- Garzanti E., Ando S., France-Lanord C., Censi P., Vignola P., Galy V., Lupker M. (2008) Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments 2. Suspended-load silt (Ganga – Brahmaputra, Bangladesh). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 302, 107-120. https://doi.org/10.1016/j. epsl.2010.11.043
- Gee D., Beliakova L., Pease V., Larionov A., Dovshikova L. (2000) New, single zircon (Pb-evaporation) ages from Vendian intrusions in the basement beneath the Pechora Basin, northeastern Baltica. *Polarforschung*, **68**, 161-170.
- Goldstein S.J., Jacobsen S.B. (1988) Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: implications for crustal evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **87**, 249-265. https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90013-1
- Goldstein S.L., O'Nions R.K., Hamilton P.J. (1984) A Sm-Nd isotopic study of atmospheric dusts and particulates from major river systems. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **70**, 221-236. https://doi.org/10.1016/0012-821X(84)90007-4
- Grazhdankin D.V. (2003) Structure and depositional environment of the Vendian Complex in the southeastern

- White Sea area. Stratigr. Geol. Correl., 11(4), 313-331.
- Grazhdankin D.V., Marusin V.V., Meert J., Krupenin M.T., Maslov A.V. (2011) Kotlin regional stage in the South Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **440**(1), 1222-1226. DOI: 10.1134/S1028334X11090170
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2015) The room for the Vendian in the international chronostratigraphic chart. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**, 549-559. http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2015.03.007
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T. (2009) Structure and depositional history of the Vendian Sylvitsa Group in the western flank of the Central Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **17**(5), 476-492.
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2010) Osadochnye sistemy sylvitskoi serii (verkhnii vend Srednego Urala) [Sedimentary Systems of the Sylvitsa Group (Upper Vendian of the Middle Urals)]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 280 p. (In Russian)
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Mustill T.M.R. (2005) The Ediacaran White Sea biota in the Central Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **401**(3), 382-385.
- Iblaminov R.G., Kurbatskaya F.A., Lebedev G.V. (1996) Metallogeny of Riphean and Vendian of the western slope of the Northern and Middle Urals. *Geologiya i mineralogiya dokembriya severo-vostoka Sibirskoi platformy i severa Urala* [Geology and mineralogy of Precambrian northeast of the European platform and the north of the Urals]. Abstract volume. Syktyvkar, Geoprint Publ., 76-77. (In Russian)
- Inorganic Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments (2003) (Ed. D.R. Lentz). *Geol. Ass. Canada. GeoText 4*, 184 p.
- Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh [Interpretation of geochemical data]. (2001) (Ed. E.V. Sklyarov). Moscow, Intermet Engineering Publ., 288 p. (In Russian)
- Kamber B.S., Greig A., Collerson R.D. (2005) A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1041-1058. https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.08.020
- Karpukhina E.V., Pervov V.A., Zhuravlev D.Z. (2001) Petrology of the subalkaline volcanism in the western slope of the Urals mountains an indicator of the Late Vendian rifting. *Petrology*, **9**(5), 415-436.
- Kholodov V.N. (2001 The role of sedimentary process geochemistry in the development of lithology. *Problemy litologii, geokhimii osadochnogo rudogeneza* [Problems of lithology, geochemistry and sedimentary ore genesis]. Moscow, Nauka Publ., 54-92. (In Russian)
- Klimat v epokhu krupnykh biosfernykh perestroek [Climate during major biosphere reconstructions]. (2004) (Ed. M.A. Semikhatov, N.M. Chumakov). Moscow, Nauka Publ., 299 p. (In Russian)
- Klyuzhina M.L. (1969) Litologiya i usloviya obrazovaniya ashinskoi serii Srednego Urala. Dis. ... kand. geol.-min. nauk [Lithology and formation conditions of the Asha Group of the Middle Urals]. Cand. geol. and min. nauk diss. Sverdlovsk, IGG UFAN USSR, 220 p. (In Russian)
- Kuharenko A.A. (1962) Lithology and conditions for the formation of the Asha Group of the western slope of the Middle Urals. *Voprosy litologii i paleogeografii* [Questions of lithology and paleogeography]. *Scientific notes of Leningrad State University. Ser. geol. sciences*,

- **310**, 245-274. (In Russian)
- Kurbatskaya F.A. (1968) Korrelyatsiya terrigennykh tolshch verkhnego dokembriya zapadnogo sklona Srednego Urala i usloviya ikh obrazovaniya. Dis. ... kand. geolmin. nauk [Correlation of terrigenous strata of the upper Precambrian of the western slope of the Middle Urals and the conditions of their formation]. Cand. geol. and min. nauk diss. Perm, Perm State University, 25 p. (In Russian)
- Kurbatskaya F.A. (1986) On the structure and development of the junction zone of the Western Urals and the East European Platform in Late Precambrian. *Dokembriiskie vulkanogenno-osadochnye kompleksy Urala* [Precambrian volcanic-sedimentary complexes of the Urals]. Sverdlovsk, UNTs RAN, 50-59. (In Russian)
- Kurbatskaya F.A., Ablizin B.D. (1970) On the paleogeography of terrigenous strata of the upper Precambrian of the western slope of the Middle Urals (western subzone of the Visher-Chusovsky anticlinorium). *Geologiya i petrografiya zapadnogo Urala* [Geology and petrography of the western Urals]. Perm, Perm State University Publ., 109-126. (In Russian)
- Lisitsyn A.P. (1994) Marginal filter of the oceans. *Okeanologiya*, **34**(5), 735-747. (In Russian)
- Loczy D., Stankoviansky M., Kotarba A. (Eds) (2012) Recent Landform Evolution: The Carpatho-Balkan-Dinaric Region. Springer Science and Business Media, 462 p.
- Maslov A.V. (2003) Textural features of rocks of the Ust-Sylvitskaya Formation of the Upper Vendian in a typical section: on the interpretation of formation conditions. *Ezhegodnik-2002*. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 65-69. (In Russian)
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Krupenin M.T. (2003) Sedimentary features of rocks and conditions for the formation of sedimentary sequences of the lower subformation of the Vendian Chernokamensky Formation in the Sylvitsa river basin. *Ezhegodnik-2002*. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 70-82. (In Russian)
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Podkovyrov V.N., Krupenin M.T. (2013) Unique features of changes of several lithogeochemical characteristics of the Upper Vendian fine-grained clastic rocks in the Mezen paleobasin. *Litosfera*, (3), 25-42. (In Russian)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Petrov G.A., Ronkin Y.L., Lepikhina O.P., Grazhdankin D.V., Podkovyrov V.N., Isherskaya M.V., Gareev E.Z. (2009) Provenance composition and features of geological evolution of the Late Vendian foreland basin of the Timan orogen. *Geochem. Int.*, 47(12), 1212-1233.
- Maslov A.V., Melnichuk O.Yu., Mizens G.A., Titov Yu.V., Chervyakovskaya M.V. (2020) Provenance reconstructions. Article 2. Litho- and isotope-geochemical approaches and methods. *Litosfera*, **20**(1), 40-62. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62. (In Russian)
- Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Grazhdankin D.V., Podkovyrov V.N. (2008) Composition of sediment provenances and patterns in geological history of the Late Vendian Mezen Basin. *Lithol. Miner. Resour.*, 43(3), 260-280.
- Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Petrov G.A., Kornilova A.Yu., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2005) Systematics of rare earth elements and model Nd age of Vendian mudstones on the western slope of the central

- Urals. Dokl. Earth Sci., 401(3), 456-459.
- 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. *Geochem. Int.*, 57(1), 56-73. DOI: 10.1134/S0016702919010075
- Maslov A.V., Shevchenko V.P., Podkovyrov V.N., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Novigatsky A.N., Filippov A.S., Shevchenko N.V. (2014) Specific features of the distribution of trace and rare earth elements in recent bottom sediments in the lower course of the Severnaya Dvina River and White Sea. *Lithol. Miner. Resour.*, **49**(6), 433-460. DOI: 10.1134/S0024490214060078
- Maslov A.V., Shkol'nik S.I., Letnikova E.F., Vishnevskaya I.A., Ivanov A.V., Strakhovenko V.D., Cherkashina T.Yu. (2018) *Ogranicheniya i vozmozhnosti litogeokhimicheskikh i izotopnykh metodov pri izuchenii osadochnykh tolshch* [Limitations and possibilities of lithogeochemical and isotopic methods in the study of sedimentary strata]. Novosibirsk, IGM SB RAS, 383 p. (In Russian)
- Maslov A.V., Vovna G.M., Kiselev V.I. Ronkin Y.L., Krupenin M.T., (2012) U-Pb systematics of detrital zircons from the Serebryanka Group of the Central Urals. *Lithol. Miner. Resour.*, 47(2), 160-176.
- McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. (Eds M.J. Johnsson, A. Basu). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **284**, 21-40. DOI: https://doi.org/10.1130/SPE284-p21
- McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T., Maynard J.B. (1990) Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 2015-2050. https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90269-O
- Millot R., Gaillardet J., Dupre B., Allegre C.J. (2003) Northern latitude chemical weathering rates: Clues from the Mackenzie River Basin, Canada. *Geochim. Cosmochim.* Acta, 67, 1305-1329. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(02)01207-3
- Mints M.V., Suleymanov A.K., Babayants P.S., Belousova E.A., Bloch Yu.I., Bogina M.M., Bush V.A., Dokukina K.A., Zamozhnaya N.G., Zlobin V.L., Kaulina T.V., Konilov A.N., Mikhailov V.O., Natapov L.M., Piip V.B., Stupak V.M., Tikhotsky S.A., Trusov A.A., Filippova I.B., Shur D.Yu. (2010) Glubinnoe stroenie, evolutsiya i poleznye iskopaemye rannedokembriiskogo fundamenta Vostochno-Evropeyskoi Interpretatsiya materialov po opornomu profilu 1-YEV, profilyam 4V i Tatseis [The deep structure, evolution and minerals of the Early Precambrian foundation of the East European platform: Interpretation of materials on the support profile 1-EB, profiles 4B and Tatsays]. Moscow, Geocart, GEOS Publ. V. 1, 408 p. V. 2, 400 p. (In Russian)
- Obshchaya stratigraficheskaya shkala nizhnego dokembriya Rossii. Ob''yasnitel'naya zapiska [General stratigraphic scale of the Lower Precambrian of Russia]. Explanatory Note. (Eds F.P. Mitrofanov, V.Z. Negruta). (2002) Apatity, KSC RAS, 13 p. (In Russian)
- Petrov G.A. (2014) Signs of a Late Precambrian setting for

- plate sliding in the Middle Urals. *Tektonika skladchatykh* poyasov Evrazii: skhodstvo, razlichiya, kharakternye cherty goroobrazovaniya, regional'nye obobshcheniya. Materialy XLVI Tektonicheskogo sovtshchaniya [The tectonics of the folded belts of Eurasia: similarities, differences, characteristic features of recent mountain building, regional generalizations. Proceedings of the XLVI Tectonic Meeting]. V. II. Moscow, GEOS Publ., 74-78. (In Russian)
- Petrov G.A., Maslov A.V., Ronkin Yu.L. (2005) Prepaleozoic magmatic complexes of Kvarkush-Kamennogorsky anticlinorium (Middle Urals): new data on geochemistry and geodynamics. *Litosfera*, (4), 42-69. (In Russian)
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Maslov A.V., Ivanova T.V., Izotov V.G., Kozlov P.S., Lepikhina O.P. (2007) Sm-Nd systematics of crystalline rocks of the eastern basement of the Russian Platform as a key to reconstruction of drift sources for the Upper Precambrian sedimentary associations of the Western Urals: first research results. *Novye idei v naukakh o Zemle*. Materialy VIII Mezhdunarodnoi konferentsii [VIII International Conference "New Ideas in Earth Sciences"]. Reports. V. 1. Moscow, RGGRU Publ., 254-257. (In Russian)
- Peucker-Ehrenbrink B., Miller M.W., Arsouze T., Jeandel C. (2010) Continental bedrock and riverine fluxes of strontium and neodymium isotopes to the oceans. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, Q03016, doi:10.1029/2009GC002869
- Puchkov V.N. (2000) Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Gilem Publ., 146 p. (In Russian)
- Reeder S.W., Hitchon B., Levinson A.A. (1972) Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada – I. Factors controlling inorganic composition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **36**, 825-865. https://doi.org/10.1016/0016-7037(72)90053-1
- Stratotip Rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya [Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology]. (1983) (Eds B.M. Keller, N.M. Chumakov). Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russian)
- Ronkin Y.L., Maslov A.V., Petrov G.A., Matukov D.I., Suslov S.B., Sindern S., Kramm U., Lepikhina O.P. (2007) In situ U-Pb (SHRIMP) dating of zircons from granosyenite of the Troitsk pluton, Kvarkush-Kamennogorsk anticlinorium, central Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **412**(1), 11-16
- Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Filippov A.S., Lisitsyn A.P., Bobrov V.A., Bogunov A.Yu., Zavernina N.N., Zolotykh E.O., Isaeva A.B., Kokryatskaya N.M., Korobov V.B., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N., Politova N.V. (2010) On the elemental composition of suspended matter of the Severnaya Dvina River (White Sea region). *Dokl. Earth Sci.*, 430(2), 228-234.
- Sitdikov B.S. (1982) Early Precambrian metamorphic complexes of the crystalline basement of the east of the Russian Plate within the Volga-Kama Anteclise. *Geologiya*, petrologiya i korrelyatsiya kristallicheskikh kompleksov Evropeiskoi chasti SSSR [Geology, petrology and correlation of crystalline complexes of the European part of the USSR]. Leningrad, Nedra Publ., 147-158. (In Russian)
- Stummeyer J., Marchig V., Knabe W. (2002) The composition of suspended matter from Ganges–Brahmaputra sediment

- dispersal system during low sediment transport season. *Chem. Geol.*, **185**, 125-147. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00396-5
- 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.
- The Neoproterozoic Timanide orogen of Eastern Baltica. (2004) (Eds D.G. Gee, V. Pease). Geol. Soc., London. Memoirs, 30, 255 p.
- Viers J., Dupre B., Gaillardet J. (2009) Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights

- from a new database. *Sci. Total Environ.*, **407**, 853-868. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.053
- Yudovich Y.E., Ketris M.P. (2011) Geokhimicheskie indikatory litogeneza (litologicheskaya geokhimiya) [Geochemical indicators of lithogenesis (lithological geochemistry)]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 742 p. (In Russian)
- Zemnaya kora vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita [The earth crust of the eastern part of the Baltic shield]. (1978) (Ed. K.O. Kratz). Leningrad, Nauka Publ., 232 p. (In Russian)