

УДК 551.1

КАТЕГОРИИ РЕК, СФОРМИРОВАВШИХ ОСАДОЧНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЕНДА И НИЖНЕГО КЕМБРИЯ ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ПО ДАННЫМ ЛИТОГЕОХИМИИ)

© 2024 г. А. В. Маслов^{а, *}, В. Н. Подковыров^{б, **}

^а Геологический институт РАН,
Пыжевский пер., 7, стр. 1, Москва, 119017, Россия

^б Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034, Россия

* e-mail: amas2004@mail.ru

** e-mail: vpodk@mail.ru

Поступила в редакцию 13.07.2023 г.

После доработки 14.08.2023 г.

Принята к публикации 04.09.2023 г.

На основе литогеохимических данных для тонкозернистых обломочных пород волынской, валдайской и балтийской серий запада Восточно-Европейской платформы (Беларусь и Волынь, отчасти Литва), реконструированы категории рек, транспортировавших тонкую алюмосиликокластику в приемные бассейны. Сделан вывод о том, что формирование осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия, развитых на указанной территории, контролировалось преимущественно речными системами, похожими на современные крупные реки (реки с площадью водосбора более 100 000 км²), и реки, дренирующие осадочные образования (реки с площадью водосбора менее 100 000 км²). Транспортируемая ими тонкая алюмосиликокластика поступала преимущественно из областей, сложенных породами кристаллического фундамента платформы и, отчасти, осадочными образованиями. Распределение фигуративных точек глинистых пород венда и нижнего кембрия на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$ с полями состава пелитовых и алевроито-пелитовых осадков приустьевых частей современных рек разных категорий показывает, что магматические породы основного состава Волынского-Брестской крупной магматической провинции поставщиками тонкой алюмосиликокластики в указанные интервалы времени, по всей видимости, не являлись.

Ключевые слова: глинистая порода, категория рек, венд, нижний кембрий, запад Восточно-Европейской платформы

DOI: 10.31857/S0024497X24010017

Перекрытые нижнекембрийскими отложениями наиболее полные в стратиграфическом отношении осадочные последовательности венда на западе Восточно-Европейской платформы (ВЭП) распространены в пределах Республики Беларусь и Волыни. На протяжении значительного времени они привлекают внимание отечественных и зарубежных специалистов разного профиля [Стратиграфия..., 1979; Палеогеография..., 1980; Rozanov, Lydka, 1987; Goryl et al., 2018; Liivamägi et al., 2018, 2021; Paszkowski et al., 2019, 2021; Środoń et al., 2019, 2022, 2023; Wojanowski et al., 2020, 2021; Poprawa et al., 2020; Голубкова и др., 2021, 2022; Derkowski et al.,

2021; Jewuła et al., 2022; Маслов, Подковыров, 2023 и др.]. С начала 2010-х гг. исследования указанных отложений проводятся в рамках крупного проекта Польской академии наук “Расшифровка эдиакарской обстановки по неизменным терригенным осадочным породам Восточно-Европейского кратона” и привели к появлению целой серии интересных публикаций.

В одной из последних работ указанной серии [Jewuła et al., 2022] кратко суммированы фациальные особенности отложений и проанализирован химический состав глинистых пород волынского (верхняя часть нижнего венда в отечественном

понимании), редкинского и котлинского стратиграфических уровней венда и раннего кембрия Западной Беларуси и Волыни, Восточной Беларуси, окрестностей г. Санкт-Петербурга и Северной Эстонии и ряда других регионов запада ВЕП). Обстановки осадконакопления на указанной территории в венде и раннем кембрии варьировали, по представлениям авторов указанной работы,

от субэвральных до мелководных. Формирование осадков происходило под влиянием нескольких крупных эстуарных систем. Важно отметить, что осадочные последовательности указанного интервала времени сложены петрогенными/первого седиментационного цикла отложениями. Соответственно, литогеохимические характеристики тонкозернистых обломочных пород и песчаников, слагающих эти последовательности, могут быть основой для расшифровки ряда основных параметров процессов осадконакопления. Считается, что источниками кластики для них выступали в основном палеопочвы и коры выветривания на эффузивах и пирокластических породах Волыньско-Брестской крупной магматической провинции (КМП) и кристаллических породах Фенноскандии, а также, возможно, Сарматии.

Названная публикация сопровождается дополнительным материалом (<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2022.106850>), среди которого есть банк данных о валовом химическом составе (основные пороодообразующие оксиды, редкие и рассеянные элементы) тонкозернистых обломочных пород (по авторам – mudstone) волыньского, редкинского и котлинского стратиграфических интервалов венда и раннего кембрия перечисленных регионов запада ВЕП. Степень насыщенности фактическим материалом указанного банка варьирует от региона к региону (где-то отсутствуют данные о фациальной природе глинистых пород, где-то нет сведений о содержании основных пороодообразующих оксидов, где-то нет информации о содержании редких и рассеянных элементов), но в целом это первый банк данных, позволяющий и другим специалистам решать интересующие их задачи. Наиболее полные сведения имеются в указанном банке для Западной, Восточной Беларуси и Волыни.

Эти материалы уже были использованы нами для расшифровки по литогеохимическим данным состава пород – источников сноса, поставивших тонкую алюмосиликокластику в области седиментации, существовавшие на территории Республики Беларуси и Волыни. В данном сообщении, основываясь на геохимических характеристиках глинистых пород (содержание Th, значения $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^*) и используя ранее разработанный нами подход [Маслов и др., 2017; Маслов, 2019; Маслов, Шевченко, 2019], мы реконструируем для той же территории (рис. 1), привлекая для котлинского этапа и данные по Литве, категории рек, транспортировавших тонкую алюмосиликокластику

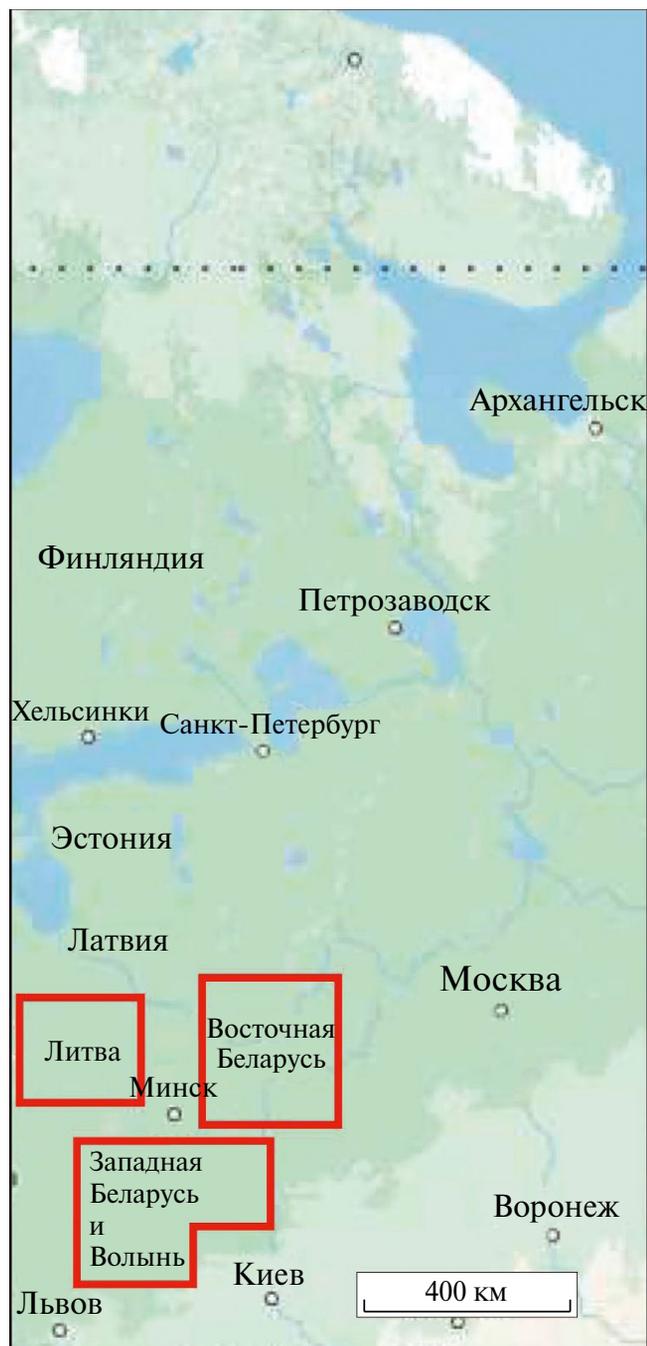


Рис. 1. Схема расположения рассматриваемых в статье регионов. Географическая основа заимствована с сайта: <https://yandex.ru/maps/?ll=166.992700%2C21.912809&z=2>

в области седиментации. Подобная работа была сделана нами для осадочных толщ верхнего венда и нижнего кембрия Московской синеклизы [Маслов, Подковыров, 2023], но при этом объектами исследования были не тесно связанные с речными системами отложения, а несколько преобразованные в маргинальном фильтре прибрежно- и мелководно-морские образования. В настоящей публикации ситуация несколько иная – выводы, основанные на геохимических характеристиках глинистых пород, могут быть верифицированы представлениями, вытекающими из результатов проведенного авторами работы [Jewiła et al., 2022] литолого-фациального анализа и палеогеографических реконструкций.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ВЕНДА И НИЖНЕГО КЕМБРИЯ

Отложения волынского этапа раннего венда формировались на территории современной Беларуси в Оршанской впадине и на склонах Белорусской антеклизы [Стратиграфическая..., 2010 и др.]. В позднем венде и раннем кембрии накопление валдайской и балтийской серий происходило в обширном Кобринско-Полоцком прогибе [Геология..., 2001; Kuzmenkova et al., 2018; Paszkowski et al., 2019; Голубкова и др., 2021; и др.].

Основные черты литостратиграфии венда и нижнего кембрия

Волынский этап – наиболее древний стратиграфический уровень, для которого в банке данных, приведенном в публикации [Jewiła et al., 2022], есть представительная аналитическая информация – на территории Республики Беларусь и Волыни (горбашевская, ратайчицкая, лиозненская, гирская, клецкая, видиборская и другие свиты) представлен разнозернистыми аркозовыми песчаниками и гравелитами, конгломератами и глинистыми алевролитами [Геология..., 2001; Свешников и др., 2010; Paszkowski et al., 2019]. Выше залегают вулканические туфы, туффиты, туфопечаники и туфоконгломераты, базальты, андезиты, андезидациты, дациты, трахидациты, песчаники, алевролиты и глины, иногда встречаются песчано-глинистые породы с дресвяно-гравийным материалом и дресвяно-щебенчатые брекчии. Считается [Kuzmenkova et al., 2011; Shumlyanskyu et al., 2016; Paszkowski et al., 2019], что именно эти образования отвечают Волынско-Брестской КМП. Они сменяются глинами и вулканомиктовыми глинистыми алевролитами с прослоями и линзами песчаников, в некоторых районах на данном уровне встречаются также туфоалевролиты и туфопесчаники. В Литве данному этапу отвечают, по всей видимости, янюшайская и мяркиская свиты (рис. 2) [Стратиграфические..., 2010 и др.], объединяющие кварц-полевошпатовые

Уровень/этап		Республика Беларусь и Волынь	Литва
Ранний кембрий		Рытская, рудаминская, страдечская и лонтоваская свиты	Рудаминская и лонтоваская свиты
Верхний венд	Котлинский	Котлинская свита	Вилкишкяйская, скинимайская и пагиряйская свиты
	Редкинский	Низовская, селявская и черницкая свиты	Руднинкайская свита
Нижний венд	Волынский	Горбашевская, ратайчицкая, гирская, лиозненская, клецкая, видиборская и др. свиты	Янюшайская и мяркиская свиты

Рис. 2. Основные литостратиграфические подразделения волынского, редкинского, котлинского и нижнекембрийского стратиграфических уровней рассматриваемых в настоящей работе регионов

пестроцветные фангломераты, гравелиты, песчаники и алевролиты [Васильев, 1980].

На редкинском этапе, отвечающем времени накопления на территории Республики Беларуси и Волыни низовской, селявской и черницкой свит, формировались аркозовые и полевошпатово-кварцевые крупно- и грубозернистые, иногда с гравием, песчаники, алевролиты и глинистые их разности, аргиллиты, аргиллитоподобные глины и глины [Махнач, Веретенников, 2001; Махнач и др., 2005; Paszkowski et al., 2019; Jewuła et al., 2022 и др.]. На территории Литвы с названными свитами коррелируется рудникайская свита [Стратиграфические..., 2010], сложенная разнозернистыми песчаными гравелитами и гравелитистыми полевошпатово-кварцевыми песчаниками с редкими прослоями алевролитов [Васильев, 1980].

Котлинский этап (котлинская свита¹) на территории Республики Беларуси представлен также грубозернистыми, иногда с гравием, кварц-полевошпатовыми песчаниками с линзами и прослоями аргиллитоподобных глин и гравелитов, пачками переслаивания алевролитистых глин, алевролитов и аркозовых песчаников [Геология..., 2001; Махнач, Веретенников, 2001 и др.]. В Литве на названном этапе накапливались вилкишкяйская, скинимайская и пагиряйская свиты [Стратиграфические..., 2010], в разрезах которых можно видеть алевролиты и аргиллиты с подчиненными им прослоями песчаных гравелитов, песчаники и песчанистые гравелиты с прослоями алевролитов, а также алевролиты с прослоями песчаников и песчанистых гравелитов. Последняя ассоциация характерна, предположительно, для более глубоководных участков приемного бассейна [Васильев, 1980]. Имеющиеся в литературе сведения о содержании в вендских отложениях Литвы ряда редких и рассеянных элементов, к сожалению, недостаточны для наших построений.

К раннему кембрию на рассматриваемой территории принадлежат полевошпатово-кварцевые с глауконитом песчаники, алевролиты и глины, а также глины с прослоями кварцевых и полевошпатово-кварцевых алевролитов и песчаников с глауконитом и, иногда,

гравелитов, относящиеся к ровенскому (рытская и рудаминская свиты) и лонтоваскому (страдечская и лонтоваская свиты) горизонтам [Геология..., 2001]. В Литве к этому стратиграфическому уровню относятся разнозернистые полевошпатово-кварцевые песчаники с прослоями глауконит-содержащих алевролитов такого же состава и аргиллитоподобных глин (формации Геге и Вирбали), а также формации Рудамина, Лонтова и др., объединяющие темно-серые горизонтально-слоистые глины с прослоями кварцевых алевролитов и песчаников, в том числе с доломитовым цементом, зеленовато- или голубовато-серые тонко-слоистые и массивные глины [Jankauskas, 2002; Kilda, Friis, 2002; Ējupienė et al., 2005 и др.].

Обстановки накопления осадочных последовательностей и основные литофациальные ассоциации

Основными литофациальными комплексами/ассоциациями в разрезах венда и нижнего кембрия на указанной территории являются отложения аллювиальных конусов выноса, в том числе их межлопастных зон, отложения речных русел и пойменных зон, в том числе их береговых отмелей и ближних и дальних зон распространения паводковых вод, озерные и приливно-отливные образования и отложения центральных, удаленных от берегов, частей водоемов [Стратиграфия..., 1979; Васильев, 1980; Палеогеография..., 1980; Rozanov, Łydka, 1987; Бурзин, 1996; Paczesna, 2010; Paszkowski et al., 2019, 2021; Wojanowski et al., 2021; Jewuła et al., 2022 и ссылки там]. Этот вывод перекликается и с более ранними представлениями [Палеогеография..., 1980], согласно которым, например, для редкинских времен на западе Восточно-Европейской платформы были характерны группы фаций элювиально-делювиальных конусов выноса временных потоков, рек и морского (?) мелководья.

Первая из названных литофациальных ассоциаций объединяет разнообразные конгломераты, песчаники, песчанистые аргиллиты и аргиллиты с рассеянными разноразмерными обломками. Грубозернистые породы плохо отсортированы, имеют полимиктовый состав и хаотическую текстуру. Иногда в них наблюдается черепитчатое расположение обломков. Более тонкозернистые отложения также являются структурно незрелыми. Накопление их происходило, по-видимому, за счет быстрого выпадения из турбулентного потока с высокой вязкостью (селя), что типично именно для аллювиальных

¹ В публикации [Лапшевич и др., 2023, с. 19] отмечено, что “отложения котлинского горизонта в стратотипических разрезах северо-запада России и в Беларуси заметно отличаются по литологическому наполнению...”, поэтому авторы названной работы предлагают “выделить для территории Беларуси вместо невалидной в настоящее время по территориально-географическому фактору котлинской свиты новую россонскую свиту”.

конусов выноса континентальных обстановок. Почти не слоистые, содержащие существенную долю матрикса песчаники с крупными рассеянными обломками имеют переходный, между аллювиальными отложениями конусов выноса и русловыми образованиями, генезис [Jewuła et al., 2022]. Они в основном типичны для верхних частей конусов выноса. Ассоциированные с ними мелкозернистые отложения могли накапливаться в депрессиях, располагавшихся между отдельными лопастями конусов.

Ассоциация речных русел включает в себя разнообразные по гранулометрическому составу песчаники с высоким содержанием матрикса, многочисленными эрозионными поверхностями и прослоями конгломератов, содержащими в том числе и интракласты аргиллитов. Для нижних частей пластов песчаников характерна крупномасштабная косая слоистость, для верхних – горизонтальная и волнистая, а также трещины усыхания. Формирование указанных образований связано с функционированием однонаправленных потоков в континентальных условиях, вероятно, в вершинах аллювиальных конусов [Jewuła et al., 2022]. Преобладание в составе ассоциации крупно- и среднезернистых песчаников предполагает, что накопление исходных осадков имело место в обстановках разветвленной или блуждающей речной системы, возможно, в ряде случаев имевшей переходный характер между извилистой и разветвленной.

Пойменная фациальная ассоциация объединяет в основном горизонтально-слоистые аргиллиты, а также косо-, горизонтально- и волнисто-слоистые песчаники. Иногда в ассоциации с ними наблюдаются массивные аргиллиты, а также пакеты тонкого чередования алевролитов, а также пакеты тонкого чередования алевролитов, а также пакеты тонкого чередования алевролитов. Для рассматриваемых образований довольно характерна нарушенная слоистость и гидрорастительные деформации, связанные, по всей видимости, с нагрузкой от гиперконцентрированных потоков, вызванных ливневыми паводками и сильным стоком воды либо сейсмическими событиями [Jewuła et al., 2022].

Озерная ассоциация сложена красновато-бурыми и/или пестроцветными горизонтально-слоистыми аргиллитами, тонкая слоистость в которых подчеркнута субмиллиметровыми пропластками алевролитов или мелкозернистых песчаников. Иногда среди аргиллитов можно видеть маломощные прослои слюдястых волнисто-слоистых песчаников.

Приливно-отливная фациальная ассоциация представлена широким спектром отложений – от конгломератов и различной размерности песчаников до пачек тонкого волнисто- или линзовидно-слоистого чередования песчаников, алевролитов и глинистых пород (гетеролиты) и собственно пачек аргиллитов. Встречающиеся здесь пакеты песчаников сложены кварцевыми или полевошпатовыми разностями с грубой и/или среднемасштабной косой и горизонтальной слоистостью; в основании их наблюдаются прослои конгломератов, а на разных уровнях внутри пакетов эрозионные поверхности. Совокупность текстурно-структурных особенностей описанных образований позволяет авторам работы [Jewuła et al., 2022] считать, что формирование их происходило как в пределах песчаных отмелей пологих приливно-отливных побережий, на макроприливных берегах открытых воронкообразных эстуариев, а также смешанных приливно-отливных равнинах, где встречались и своеобразные приливно-отливные ручьи.

Фациальная ассоциация центральных частей крупных заливов или верхнего шельфа включает горизонтально-слоистые аргиллиты и аргиллиты с прослоями песчаных их разностей и тонкими интервалами мелкозернистых песчаников. Слоистость в аргиллитах часто подчеркнута субмиллиметровыми пропластками слюдястых алевролитов. Встречаются прослои песчаных аргиллитов с линзами алевролитов и очень тонкозернистых песчаников. В наиболее типичном виде, по мнению авторов работы [Jewuła et al., 2022], эта фациальная ассоциация представлена за пределами исследуемой нами территории (калюские слои, Подолия).

Описанные фациальные ассоциации группируются на рассматриваемой нами территории в три обстановки осадконакопления: 1) проксимальные (кора выветривания, конусы выноса с межлопастными отложениями и русла рек); 2) пойменно-озерные и 3) дистальные (приливно-отливные области и удаленные от побережий центральные части приемных бассейнов). Анализ их пространственных сочетаний от этапа к этапу с учетом представлений предшественников позволил авторам публикации [Jewuła et al., 2022] создать несколько палеогеографических схем (рис. 3).

В волынское время на территории Польши, Украины, Западной Беларуси и северо-восточной Литвы преобладали континентальные условия. Здесь преобладали отложения аллювиальных конусов выноса, а также русловые

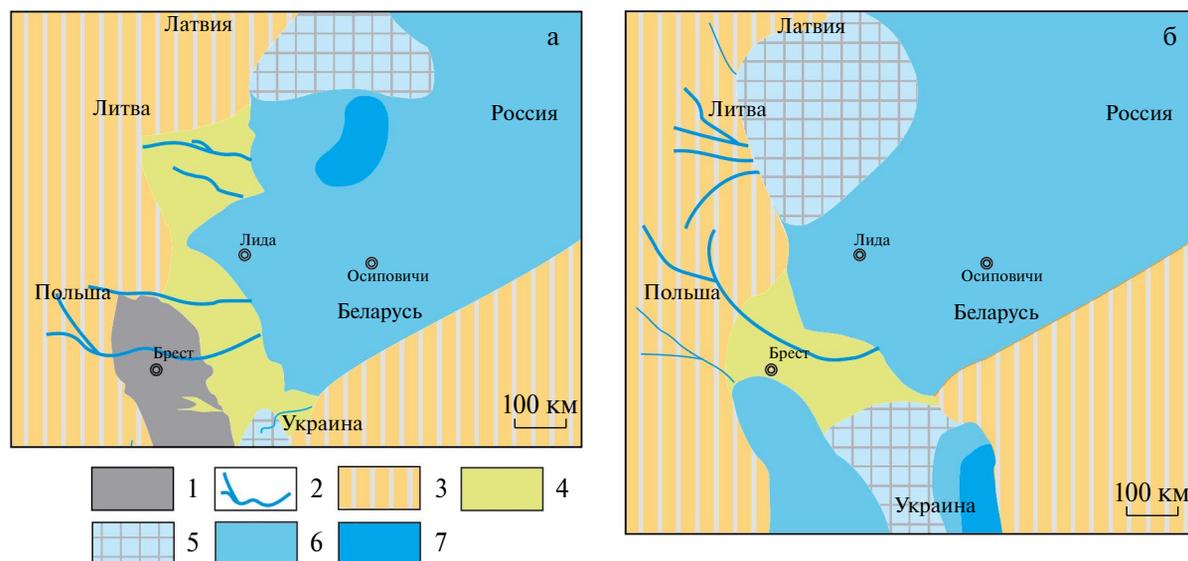


Рис. 3. Схематическая палеогеографическая ситуация редкинского и котлинско-раннекембрийского времени, по данным работы [Jewuła et al., 2022], с изменениями и упрощениями

1 – Волинско-Брестская КМП; 2 – предполагаемое положение речных артерий; 3 – область отсутствия осадконакопления; 4 – континентальные фации (русла и пойменные области); 5 – области, периодически заливавшиеся трансгрессировавшим морем; 6 – приливно-отливные равнины; 7 – бассейновые фации.

и пойменные образования [Палеогеография..., 1980; Jewuła et al., 2022]. Весьма показательно, что мяркисская свита Литвы залегает в виде тонкого прерывистого чехла на породах кристаллического фундамента, будучи сложенной, по-видимому, элювиальными, коллювиальными, пролювиальными и прибрежно(?)-морскими отложениями [Палеогеография..., 1980]. Основываясь на датировках обломочного циркона, выделенного из аркозовых конгломератов жуковской свиты, подстилающей волинские базальты, авторы публикаций [Nabryn et al., 2020; Jewuła et al., 2022 и ссылки там], считают, что источники кластики в это время располагались на Фенноскандинавском щите. В Восточной Беларуси, отвечавшей центральной части приемного бассейна, преобладало накопление приливно-отливных и бассейновых фациальных ассоциаций.

Предполагается [Палеогеография..., 1980], что к редкинскому времени (или в редкинское время) на рассматриваемой территории и восточнее существовал обширный эпиконтинентальный бассейн. Его окружали “плоские возвышенности Балтийского, Сарматского и Белорусско-Мазурского островов, находившихся на месте приподнятых участков фундамента Восточно-Европейской платформы” [Палеогеография..., 1980, с. 15]. На редкинском

уровне роль приливно-отливных отложений в разрезах Восточной и Западной Беларуси растет. Подобного типа образования фиксируются, по данным [Jewuła et al., 2022], также в Эстонии и окрестностях г. Санкт-Петербурга, т.е. там, где раньше их не было. По мнению авторов названной работы, это указывает на продвижение “переходных” обстановок на запад и юг. Континентальные фациальные ассоциации в редкинское время сохраняются в Литве, Западной Беларуси и на Волини, а на территории Польши преобладал размыв ранее накопившихся образований. Основная масса кластики (примечательно, что этот вывод сделан задолго до появления какой-либо информации о возрасте популяций обломочного циркона в песчаниках) поступала в бассейн редкинское время, по всей видимости, с выступов Белорусско-Мазурского щита [Палеогеография..., 1980].

В котлинское время и раннем кембрии наблюдается дальнейшее увеличение площади приливно-отливных отложений, в то же время в ряде мест в Западной Беларуси, на Волини и в Польше сохраняются условия для продолжения проксимальной седиментации. Основным источником кластики в котлинское время, по данным региональных палеогеографических реконструкций, оставалось, по всей видимости,

Белорусско-Мазурское поднятие [Палеогеография..., 1980]. Считается, что на территории Западной Беларуси и юго-востоке Литвы в течение значительной части котлинского времени формировались континентальные отложения, а также песчаные и песчано-глинистые осадки прибрежных, периодически заливавшихся морем, равнин.

В конце котлинского времени проходит регрессия морского бассейна, после чего накапливались терригенные отложения следующего – рещинского (ровенского) трансгрессивно-регрессивного этапа. Отложения лонтоваского этапа залегают на подстилающих породах ровенского горизонта почти везде несогласно [Палеогеография..., 1980]. Предполагается, что суша лонтоваского времени была сложена в той или иной мере не только кристаллическими породами, но и осадочными (в том числе глинистыми) породами верхнего венда и ровенского горизонта нижнего кембрия. Это приводило к поступлению в области седиментации больших объемов тонкой пелитовой взвеси. В конце лонтоваского времени произошла обширная регрессия, охватившая всю территорию ВЕП.

Пространственное сочетание фациальных ассоциаций, по-видимому, указывает на существование в рассматриваемый нами период крупной эстуарной системы, открытой на восток, и расширявшейся с течением времени на юго-восток [Jewuła et al., 2022]. Эти представления не противоречат и более ранним палеогеографическим реконструкциям [Стратиграфия..., 1979; Палеогеография..., 1980; Rozanov, Lydka, 1987; Бурзин, 1996 и ссылки там] и выводам, основанных на данных изучения возраста популяций обломочного циркона [Paszkowski et al., 2019, 2021].

Из сказанного следует достаточно простой вывод о том, что формирование осадочных последовательностей конца раннего венда, а также всего позднего венда и раннего кембрия на рассматриваемой территории происходило, как это обычно и бывает, под влиянием речных систем. Менее определенно можно судить о составе пород их водосборов и, соответственно, категориях рек в терминологии авторов работы [Bayon et al., 2015] (см. далее). Здесь нет ответа на ряд вопросов. Например, были ли водосборы указанных речных систем сложены преимущественно или исключительно кристаллическими породами фундамента ВЕП? Играли ли в их строении какую-либо роль породы осадочные, и если играли, то какую? Оказывали ли существенное влияние на формирование всех или какой-то части рассматриваемых нами толщ основные породы

Волыньско-Брестской КМП? Вопросов подобного плана можно задать еще много. Инструментов же для поиска ответов на них до недавнего времени, кроме хорошо известного многим комплексного литолого-фациального анализа, не было.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Общая характеристика валового химического состава глинистых пород

Для волыньско-нижекембрийского интервала Западной Беларуси и Волыни, а также Восточной Беларуси в работе [Jewuła et al., 2022, дополнительные материалы] приведено соответственно 102 и 103 анализа валового химического состава аргиллитов. При этом максимальное содержание SiO_2 для аргиллитов первого из названных регионов составляет 99.3, второго – 91.8 мас. %. Это предполагает, что в составе выборок кроме собственно глинистых и алевроитоглинистых пород присутствуют также алевролиты и песчаники. Для части анализов отсутствуют данные о фациальной природе аргиллитов и, как было сказано выше, сведения о содержании основных породообразующих оксидов или редких и рассеянных элементов. Учитывая это, мы ограничились исследованием пород с содержанием $\text{SiO}_2 \leq 66$ мас. % и полной информацией о валовом химическом составе. В результате анализируемая далее выборка аргиллитов Западной Беларуси и Волыни включает 80, Восточной Беларуси – 57 и Литвы (только аргиллиты котлинского региона) – 12 образцов. Среднее, минимальное и максимальное содержание ряда компонентов аргиллитов разных регионов и разного возраста и величины некоторых характерных для них индикаторных соотношений оксидов и элементов приведены в табл. 1.

Среднее содержание SiO_2 в анализируемых нами выборках варьирует от 49.2 ± 7.2 мас. % (редкинский стратиграфический уровень, Западная Беларусь и Волынь) до 58.2 ± 3.7 мас. % (котлинский уровень того же региона). Величина Al_2O_3 _{среднее} меняется от 15.5 ± 6.0 мас. % (нижний кембрий, Западная Беларусь и Волынь) до 20.1 ± 4.5 мас. % (котлинский уровень, Восточная Беларусь). Среднее содержание Fe_2O_3^* (суммарное железо в виде Fe_2O_3) в глинистых породах волыньского и редкинського стратиграфических уровней Западной Беларуси и Волыни примерно в 2 раза больше, чем содержание данного компонента в аргиллитах других выборок (соответственно 14.1 ± 9.0 и 13.1 ± 5.6 мас. % против $7.0 \pm 3.0 \dots 8.6 \pm 2.7$ мас. %).

Таблица 1. Среднее, минимальное и максимальное содержание ряда компонентов и значение некоторых индикаторных отношений в глинистых породах различных стратиграфических уровней венда и нижнего кембрия Западно-Европейской платформы (территория Республики Беларусь и Вольны)

Компонент, отношение	Регионы										Литва
	Западная Беларусь и Вольны			Восточная Беларусь				Литва			
	Вольнский	Редкинский	Котлинский	Стратиграфические уровни (регионы)	Нижний кембрий	Редкинский	Котлинский		Котлинский		
SiO ₂ , мас. %	51.73±9.10 29.80–61.40	49.24±7.16 39.17–65.20	58.23±3.67 53.80–63.40	56.25±7.34 33.70–63.10	52.73±4.06 44.70–62.80	55.75±5.31 46.10–65.70	57.76±3.92 50.25–63.31				
Al ₂ O ₃	17.36±3.01 13.10–22.39	18.15±2.53 9.42–22.70	18.12±4.63 11.40–24.50	15.54±5.98 2.33–22.80	19.81±2.90 8.91–23.80	20.14±4.52 6.51–23.90	19.63±3.00 15.70–24.30				
Fe ₂ O ₃ *	14.11±8.98 6.70–40.40	13.10±5.65 2.72–28.19	6.98±2.99 3.25–13.50	7.87±3.28 3.09–14.02	8.56±2.67 1.32–15.69	7.53±3.66 3.01–16.03	7.57±2.34 5.36–13.09				
CaO	1.31±1.29 0.26–5.00	1.26±3.00 0.14–20.10	1.20±2.05 0.16–6.21	3.66±6.44 0.17–22.30	1.02±2.36 0.12–11.40	1.43±3.30 0.09–13.20	0.59±0.38 0.22–1.58				
K ₂ O	3.72±1.56 1.49–6.91	3.71±1.21 2.17–6.83	4.78±1.90 2.86–8.08	4.19±1.28 1.40–5.72	3.95±0.43 3.30–5.10	3.60±0.52 2.97–4.76	4.19±1.66 1.10–5.79				
Th, мкг/г	14.37±6.03 6.39–23.50	15.42±4.55 5.98–26.30	18.97±4.15 13.30–24.30	15.82±11.70 6.31–52.80	22.49±5.87 13.10–39.50	15.77±2.59 11.00–19.70	20.71±8.96 14.40–45.80				
La	65.51±27.91 17.50–105.00	74.26±19.81 41.30–120.00	65.32±25.23 19.70–105.00	67.45±64.72 30.10–278.00	82.41±19.48 38.40–139.00	54.04±13.41 35.20–80.70	66.52±24.03 49.70–130.00				
Sm	12.38±8.13 5.74–37.90	14.34±5.51 7.09–40.00	15.79±19.12 4.86–66.40	32.52±83.72 5.25–311.00	12.58±4.23 7.47–27.70	9.20±2.63 5.80–15.50	10.13±2.95 7.81–16.60				
Eu	2.75±1.84 1.16–8.43	3.18±1.13 1.72–7.41	3.16±3.85 1.36–13.40	6.94±18.09 1.05–67.10	2.30±0.82 1.18–5.23	1.82±0.60 1.05–3.27	1.84±0.46 1.43–2.77				
Gd	12.45±8.38 5.59–32.50	11.93±4.93 6.04–32.60	13.99±19.91 5.26–67.00	30.66±81.89 4.40–303.00	9.16±3.26 4.75–18.20	7.14±2.11 4.40–13.10	7.89±2.23 5.97–12.40				
Yb	4.38±1.53 2.44–7.22	4.63±0.95 2.78–7.27	4.06±1.60 2.73–8.00	5.88±8.40 2.98–33.80	3.84±0.81 2.12–5.65	3.91±0.72 3.17–5.78	3.68±0.60 2.97–4.94				
log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0.47±0.13 0.30–0.66	0.43±0.11 0.28–0.80	0.52±0.12 0.34–0.68	0.61±0.27 0.42–1.38	0.43±0.10 0.33–0.80	0.46±0.16 0.32–0.94	0.47±0.09 0.32–0.60				
log(Fe ₂ O ₃ */K ₂ O)	0.56±0.37 0.02–1.43	0.52±0.32 –0.26–0.99	0.16±0.26 –0.14–0.67	0.26±0.21 –0.22–0.52	0.31±0.21 –0.42–0.68	0.28±0.24 –0.20–0.73	0.29±0.31 –0.03–0.86				
(La/Yb) _N	10.53±4.64 4.85–21.31	10.95±2.57 6.61–18.35	11.24±4.07 4.70–17.71	9.37±3.36 5.22–16.45	14.90±3.65 5.25–22.60	9.44±2.16 6.39–12.73	12.03±2.74 9.39–19.44				
Eu/Eu*	0.75±0.04 0.69–0.82	0.75±0.06 0.59–0.83	0.69±0.05 0.61–0.78	0.68±0.06 0.58–0.79	0.66±0.08 0.51–0.85	0.68±0.07 0.58–0.80	0.63±0.03 0.59–0.67				
n	13	45	9	13	42	15	12				

Примечание. В числителе – среднее арифметическое содержание (значение) и стандартное отклонение; в знаменателе – минимальное и максимальное содержание (значение); n – количество проанализированных образцов.

Максимальное среднее содержание СаО составляет 3.7 ± 6.4 мас. % (нижний кембрий, Западная Беларусь и Волынь), тогда как минимальное равно 0.6 ± 0.4 мас. % и характерно для глинистых пород котлинского яруса Литвы. Среднее содержание K_2O варьирует от 3.6 ± 0.5 мас. % (котлинский региоярус, Восточная Беларусь) до 4.8 ± 1.9 мас. % (тот же стратиграфический уровень, Западная Беларусь и Волынь).

Среднее содержание Th отвечает интервалу $14.4 \pm 6.9 \dots 22.5 \pm 5.9$ мкг/г; в таком референтном объекте, как PAAS, содержание Th составляет 14.6 мкг/г [Taylor, McLennan, 1985]. Максимальное содержание Th в глинистых породах котлинского региояруса в Литве достигает 45.8 мкг/г, а в аргиллитах нижнего кембрия Западной Беларуси и Волыни оно еще выше (52.8 мкг/г).

Средняя сумма редкоземельных элементов (РЗЭ) в глинистых породах волынской серии Западной Беларуси и Волыни составляет 289.2 ± 111.6 мкг/г. В аргиллитах редкинско-го и котлинского региоярусов этого региона значение $\Sigma PZЭ$ заметно выше (соответственно 367.8 ± 91.5 и 246.5 ± 221.1 мкг/г). Глинистые породы нижнего кембрия Западной Беларуси и Волыни обладают средней величиной $\Sigma PZЭ$ 228.7 ± 87.3 мкг/г (для PAAS сумма РЗЭ составляет 184.8 мкг/г). Глинистые породы редкинско-го горизонта Восточной Беларуси характеризуются сопоставимой величиной $\Sigma PZЭ$ с аргиллитами этого уровня западной части Республики Беларусь (375.5 ± 94.7 мкг/г), тогда как аргиллиты котлинского стратиграфического уровня, как и в Западной Беларуси и Волыни, характеризуются заметно более низким значением $\Sigma PZЭ_{\text{среднее}}$ (252.6 ± 59.7 мкг/г). Для глинистых пород котлинского региояруса Литвы данный параметр равен 304.6 ± 104.1 мкг/г.

Средние для глинистых пород разных стратиграфических уровней венда и нижнего кембрия значения $(La/Yb)_N$ (здесь и далее для нормирования использован хондрит из монографии [Taylor, McLennan, 1985]) достаточно высокие и варьируют от 9.4 ± 3.4 (нижний кембрий, Западная Беларусь и Волынь) до 14.9 ± 3.6 (редкинский уровень, Восточная Беларусь). Примечательно, что в ряду от аргиллитов волынского уровня к аргиллитам нижнего кембрия на территории Западной Беларуси и Волыни какого-либо заметного роста данного параметра не наблюдается. Свойственное аргиллитам волынского этапа среднее значение $(La/Yb)_N$, равное 10.5 ± 4.6 , дает основание предполагать, что на палеоводосборах волынского времени преобладали

породы, близкие по составу кислым магматическим образованиям, хотя достаточно низкие величины этого параметра в ряде индивидуальных образцов (4.9, 5.8, 7.4, ...) свидетельствуют и о присутствии в источниках сноса основных разностей. В качестве последних могли выступать, как предполагают многие авторы, породы Волынского-Брестской КМП. На участие в составе палеоводосборов, поставивших тонкую алюмосиликокластиду в область седиментации, существовавшую в волынское и редкинское время на территории Западной Беларуси и Волыни основных магматических пород, указывают и свойственные глинистым породам указанных этапов средние величины Eu/Eu^* (соответственно 0.75 ± 0.04 и 0.75 ± 0.06). Для глинистых пород других рассматриваемых нами выборок Eu аномалия имеет более выраженные средние значения (например, редкинский уровень Восточной Беларуси – 0.66 ± 0.08 , котлинский уровень Литвы – 0.63 ± 0.03).

Положение точек состава аргиллитов на классификационных диаграммах

На классификационной диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Fe_2O_3^*/K_2O)$ [Herron, 1988] фигуративные точки исследуемых нами глинистых пород расположены преимущественно в полях вакк, сланцев и Fe-сланцев (рис. 4а).

На диаграмме $K/Al - Mg/Al$ [Turgeon, Brumsack, 2006] подавляющая часть фигуративных точек глинистых пород венда и нижнего кембрия Беларуси, Волыни и Литвы, характеризующаяся значениями $Mg/Al < 0.2$, распределена в полосе от составов, близких к каолиновым глинам, до составов, сопоставимых с иллитовыми глинами, обогащенными, по всей видимости, тонкорастертым калиевым полевым шпатом (см. рис. 4б).

На классификационной диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (диаграмма НКМ–ФМ [Юдович, Кетрис, 2000]) точки состава глинистых пород рассматриваемых нами выборок расположены в основном в полях II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины) и V (хлорит-смектит-иллитовые глины). Некоторая, достаточно немногочисленная, часть точек присутствует также в других полях диаграммы (см. рис. 4в), но в целом какой-либо выраженной дифференциации состава глинистых пород разных стратиграфических уровней разреза не наблюдается.

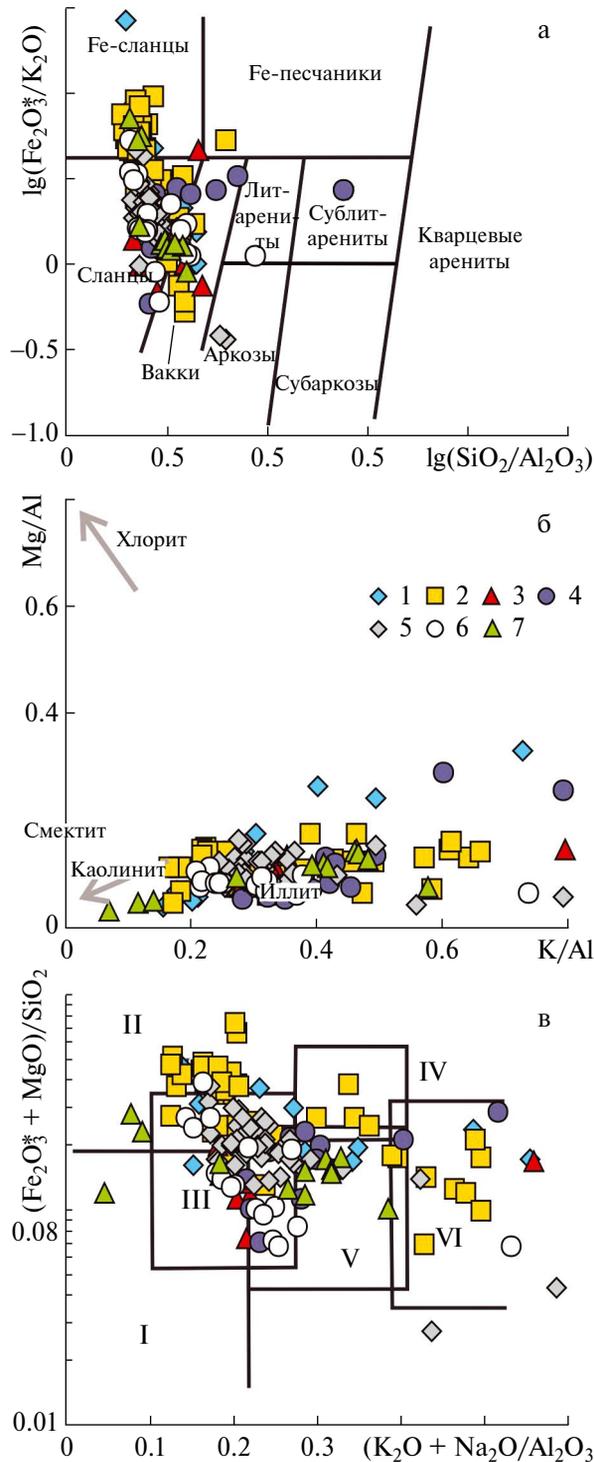


Рис. 4. Положение фигуративных точек состава глинистых пород Западной Беларуси и Волыни (1 – волынский этап, 2 – редкинский этап, 3 – котлинский этап, 4 – нижний кембрий), Восточной Беларуси (5 – редкинский этап, 6 – котлинский этап) и Литвы (7 – котлинский этап) на диаграммах $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ (а), K/Al – Mg/Al (б) и $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $(\text{Fe}_2\text{O}_3^*+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ (в) (глины): I – преимущественно каолиновые; II – преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита; III – преимущественно хлоритовые с примесью Fe-иллита; IV – хлорит-иллитовые; V – хлорит-смектит-иллитовые; VI – иллитовые со значительной примесью тонкорастертых полевых шпатов.

ОБСУЖДЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И ВЫВОДЫ

Ранее нами были предложены диаграммы $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N - Th$ и $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ [Маслов и др., 2017; Маслов, 2019; Маслов, Шевченко, 2019], на которых по данным из публикации [Bayon et al., 2015] показаны поля состава тонкозернистых донных осадков устьевых частей современных рек разных категорий: 1) крупных рек (World's major rivers), т.е. рек с площадью водосборного бассейна более 100 000 км²; 2) рек, дренирующих осадочные образования (rivers draining "mixed/sedimentary" formations), площадь водосборного бассейна которых составляет менее 100 000 км²; 3) рек, питающихся продуктами размыва магматических/метаморфических террейнов (rivers draining

igneous/metamorphic terranes); 4) рек, дренирующих вулканические провинции (rivers draining volcanic rocks). Различные аспекты использования этих диаграмм рассмотрены в публикациях [Маслов, 2020; Маслов, Подковыров, 2021а, 2021б, 2021в и др.] на примерах осадочных толщ дорифея, рифея и венда, а также палеозоя и мезозоя.

Далее мы попытаемся, используя аналитические материалы из работы [Jewuła et al., 2022], посмотреть, как распределяются на указанных диаграммах фигуративные точки тонкозернистых обломочных пород разных стратиграфических уровней и фациальных ассоциаций, и, соответственно, решить вопрос о категориях рек, поставивших в бассейн, существовавший

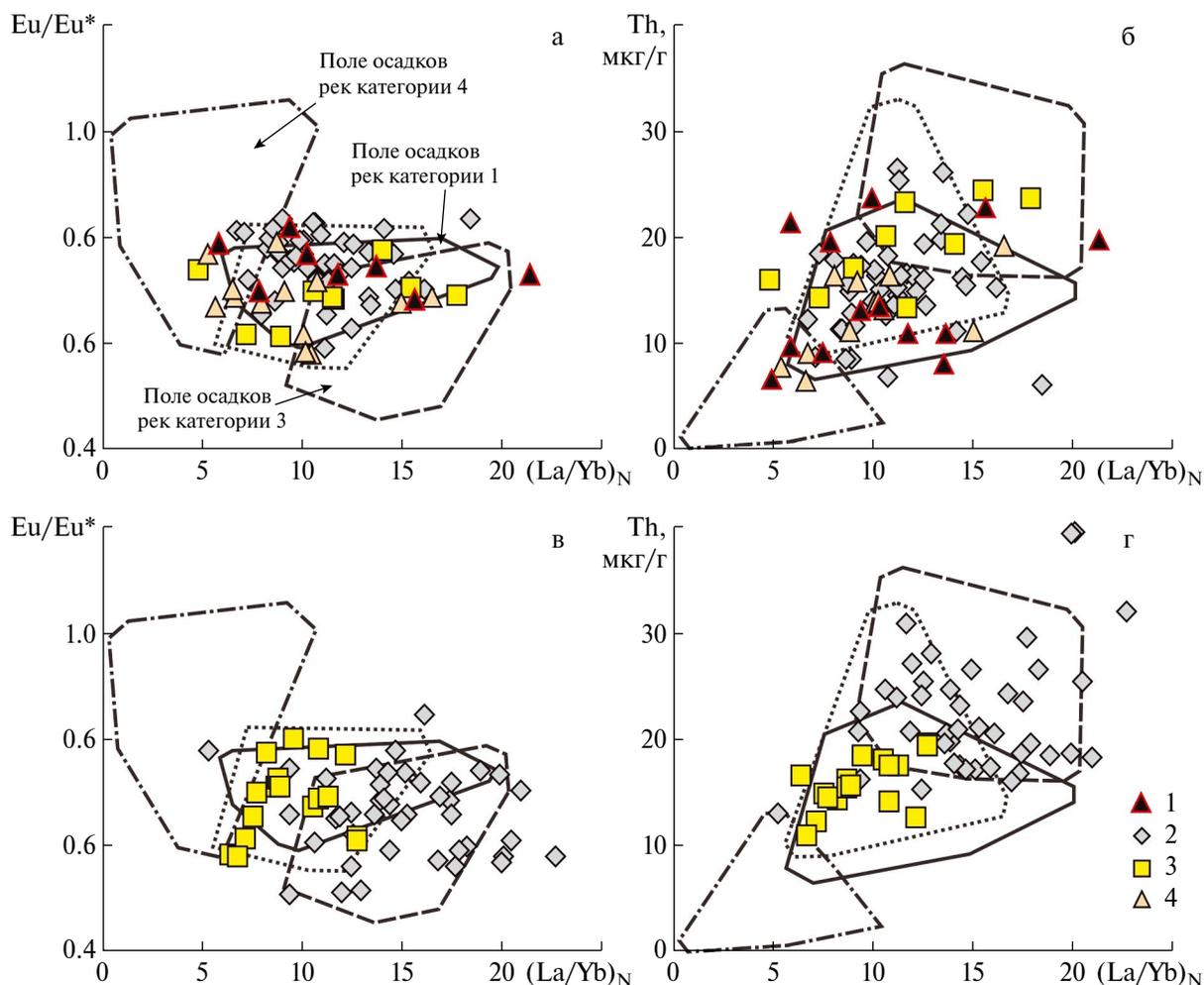


Рис. 5. Распределение точек состава аргиллитов венда и нижнего кембрия Западной Беларуси и Волыни (а, б) и Восточной Беларуси (в, г) на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$. Аргиллиты: 1 – волынского этапа; 2 – редкинського этапа; 3 – котлинського этапа; 4 – нижнього кембрія.

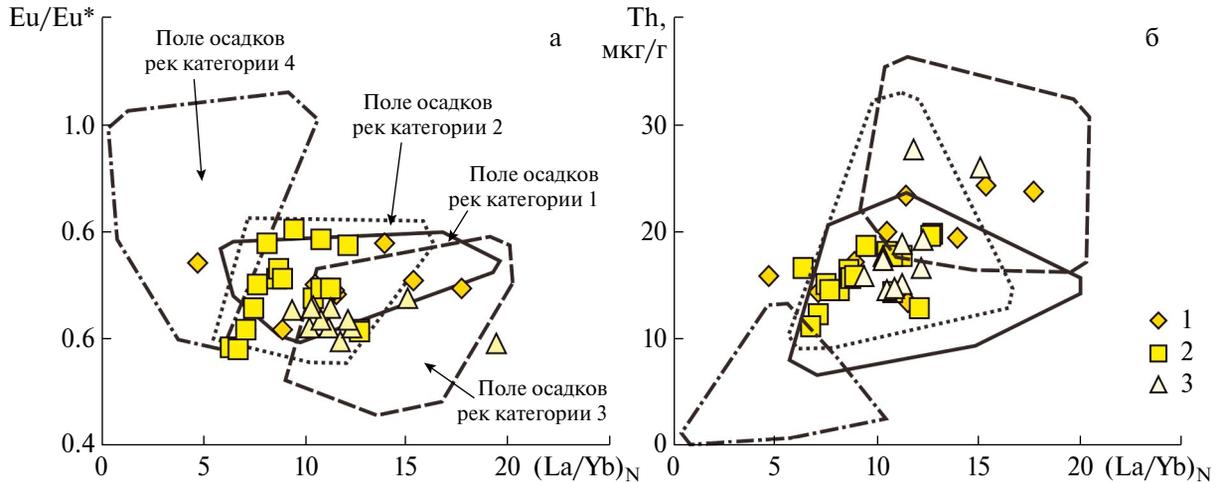


Рис. 6. Распределение фигуративных точек аргиллитов котлинского этапа, представляющих разные регионы запада ВЕП.

1 – Западная Беларусь и Волынь; 2 – Восточная Беларусь; 3 – Литва.

в венде и раннем кембрии на западе ВЕП, тонкую алюмосиликокластику.

Фигуративные точки тонкозернистых обломочных пород развитых на территории Западной Беларуси и Волыни волынской, валдайской и балтийской серий на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* и $(La/Yb)_N$ –Th сосредоточены преимущественно в полях состава пелитовых и алевроито-пелитовых осадков приустьевых участков современных рек категорий 1 и 2 (рис. 5а, 5б). Каких-либо принципиальных различий между областями точек состава глинистых пород волынского, редкинско-котлинского этапов на обоих графиках нет. Это позволяет считать, что именно подобного типа водные артерии поставляли тонкую алюмосиликокластику в приемные бассейны венда и раннего кембрия, существовавшие на данной территории. Несколько иначе распределены на указанных диаграммах фигуративные точки глинистых пород редкинско-котлинского региона, распространенных на территории Восточной Беларуси. Точки аргиллитов редкинско-котлинского региона сосредоточены преимущественно в поле тонкозернистых осадков приустьевых частей современных рек категории 3, а фигуративные точки аргиллитов котлинского региона локализованы, как и точки одновозрастных им образований Западной Беларуси и Волыни, в основном в области перекрытия полей тонкозернистых осадков приустьевых частей рек категорий 1 и 2 (см. рис. 5в, 5г).

Из всего сказанного можно сделать вывод, что в редкинское время в область осадконакопления,

существовавшую в Восточной Беларуси, тонкая алюмосиликокластика поступала в результате размыва преимущественно пород кристаллического фундамента ВЕП, а в котлинское время, как и позднее – в лонтоваское, в области размыва присутствовали или доминировали и осадочные породы. Важно также отметить, что точки состава глинистых пород волынского этапа расположены на рассматриваемых диаграммах не в поле тонкозернистых осадков современных рек категории 4, где они, исходя из возможного присутствия на палеоводосборах основных пород Волыньско-Брестской КМП, должны были быть, а в области перекрытия полей тонкозернистых осадков современных рек категорий 1 и 2. По всей видимости, как это следует и из результатов исследования популяций обломочного циркона в песчаниках волынского этапа [Jewuła et al., 2022 и ссылки там], реки указанного времени были весьма крупными и транспортировали кластику не с юго-запада (в современных координатах), т.е. из области распространения комплексов пород Волыньско-Брестской КМП, а с севера и северо-востока – из Фенноскандии.

Сходство категорий речных систем котлинского этапа хорошо видно и при сравнении положения фигуративных точек аргиллитов указанного времени, представляющих Западную Беларусь и Волынь, Восточную Беларусь и Литву, на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* и $(La/Yb)_N$ –Th (рис. 6). На обоих графиках точки аргиллитов всех трех регионов сосредоточены

преимущественно в области перекрытия полей тонкозернистых осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2. Другими словами, реки того времени были крупными водными артериями, которые аккумулировали тонкую алюмосиликокластику с обширных водосборных пространств, сложенных, скорее всего, различными породными ассоциациями.

Наконец, наиболее представительная информация о валовом химическом составе тонкозернистых обломочных пород разных фациальных ассоциаций имеется в публикации [Jewuła et al., 2022] для фаций русел, отложений аллювиальных конусов выноса и межлопастных их зон, а также отложений пойменных и приливно-отливных областей редкинского уровня. На диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ все их точки состава тяготеют к классификационным полям вакк, сланцев и железистых сланцев (рис. 7а), т.е. это породы, в которых глинистый компонент, основной адсорбент РЗЭ и других редких и рассеянных элементов, играет преобладающую или существенную роль.

На диаграмме $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Eu}/\text{Eu}^*$ практически все фигуративные точки указанных выше фациальных ассоциаций сосредоточены в полях тонкозернистых донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2 (см. рис. 7б). Такая же ситуация наблюдается и на графике $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Th}$ (см. рис. 7в). Это позволяет считать, что в редкинское время тонкая алюмосиликокластика транспортировалась из областей мобилизации в приемный(ные) бассейн(ы) крупными реками с распространенными на водосборах разнообразными породными ассоциациями (современные реки категории 1) и/или реками, водосборы которых были сложены преимущественно осадочными породами (современные реки категории 2).

Приведенные данные и их обсуждение позволяют считать, что формирование осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия, развитых на территории Республики Беларуси и рядом расположенных районов Литвы, контролировалось преимущественно крупными речными системами, похожими на современные реки категорий 1 (крупные реки с площадью водосборного бассейна более $100\,000 \text{ км}^2$) и 2 (реки, дренирующие осадочные образования, площадь водосборного бассейна которых составляет менее $100\,000 \text{ км}^2$) в терминологии авторов публикации [Bayon et al., 2015]. Транспортируемая ими в приемный бассейн тонкая алюмосиликокластика поступала преимущественно из областей, сложенных породами кристаллического фундамента ВЕП и в той или иной мере содержавших также породы осадочные. Последние

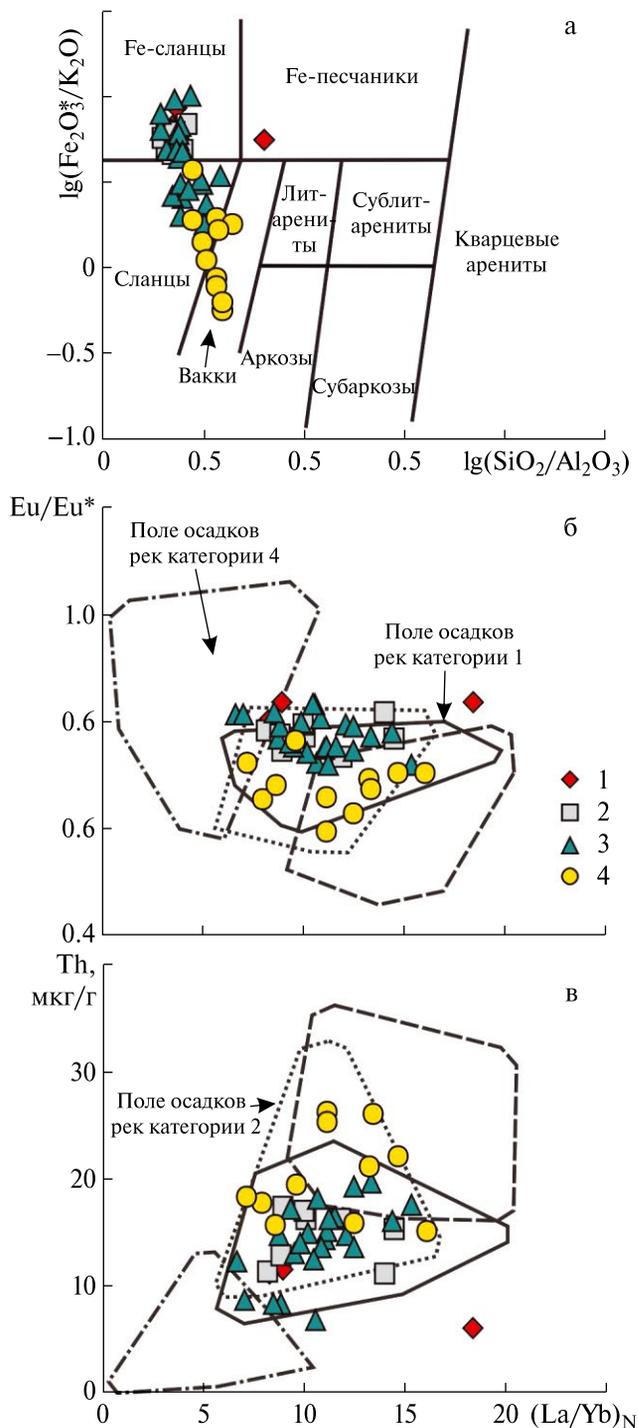


Рис. 7. Локализация точек состава аргиллитов разных фациальных ассоциаций редкинского уровня на диаграммах $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ (а), $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Eu}/\text{Eu}^*$ (б) и $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Th}$ (в) Ассоциации: 1 – речных русел; 2 – аллювиальных конусов выноса и межлопастных депрессий; 3 – пойменных зон; 4 – приливно-отливных равнин.

предположительно могли иметь рифейский возраст, но в основной своей массе были, как это следует из материалов предшественников [Палеогеография..., 1980 и ссылки там], вендскими. Распределение фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород венда и нижнего кембрия на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$ с полями состава пелитовых и алеврито-пелитовых осадков приустьевых частей современных рек разных категорий показывает, что магматические породы основного состава, слагавшие Волыноско-Брестскую КМП, поставщиками существенного объема тонкой алюмосиликокластики в области осадконакопления в указанные интервалы времени, скорее всего, не являлись.

И еще один момент, на который мы хотели бы в заключение обратить внимание. В материалах 36-й международной встречи седиментологов, прошедшей в июне 2023 г. в г. Дубровнике (Хорватия), в тезисах польских коллег с ярким названием «“It’s a trap!” – critical assessment of geochemistry-based proxies in reconstructing past environments» высказаны сомнения в корректности выводов о палеообстановках формирования осадочных толщ, получаемых без должного учета данных о минералогии глинистых пород и их тонкой фракции, а также седиментологических наблюдений [Jewula et al., 2023]. Мы согласны с обозначенными в указанной краткой заметке опасениями о том, что содержание и распределение таких часто используемых в палеорекострукциях элементов, как K, B, Ga, Rb и Cs, в основном контролируются относительными количествами калиевого полевого шпата, иллита и смектита, а также каолинита, гематита и ряда других минералов и, таким образом, не являются индикаторами среды геологического прошлого. Вместе с тем, исходя из своего опыта и опыта наших предшественников, мы полагаем, что реконструкции состава пород – источников тонкой алюмосиликокластики или категорий рек, транспортировавших ее из областей эрозии в приемные бассейны, основанные на разнообразных литогеохимических приемах и подходах, все же имеют право на существование.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне признательны М. И. Тучковой за помощь в подборе литературы и анонимным рецензентам, советы и замечания которых во многом способствовали улучшению стиля представления материалов и выводов работы. Иллюстрации к статье выполнены Н. С. Глушковой.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены в рамках госзадания ГИН РАН (тема FMMG-2023-0004) и ИГГД РАН (тема FMUW-2021-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев В.А.* Литологические особенности вендских отложений Литвы // Литология и полез. ископаемые. 1980. № 2. С. 61–68.
- Геология Беларуси / Отв. ред. А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- Голубкова Е.Ю., Кузьменкова О.Ф., Кушим Е.А. и др.* Распространение микрофоссилий в отложениях венда Оршанской впадины Восточно-Европейской платформы, Беларусь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2021. Т. 29. № 6. С. 24–38.
- Голубкова Е.Ю., Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г. и др.* Палеонтологическая характеристика верхневендских-нижнекембрийских отложений в разрезе скважины Северо-Полоцкая Восточно-Европейской платформы, Беларусь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 6. С. 3–20.
- Лапцевич А.Г., Голубкова Е.Ю., Кузьменкова О.Ф. и др.* Котлинский горизонт верхнего венда Беларуси: литологическое расчленение и биостратиграфическое обоснование // Литасфера. 2023. № 1. С. 17–25.
- Маслов А.В.* К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала // Изв. вузов. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 28–36.
- Маслов А.В.* Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений серебрянской и сыльвицкой серий венда (Средний Урал) // Литосфера. 2020. Т. 20. № 6. С. 751–770.
- Маслов А.В.* Типы рек-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений юры и нижнего мела запада Западно-Сибирского мегабассейна // Изв. вузов. Геология и разведка. 2020. Т. 63. № 4. С. 52–61.
- Маслов А.В., Козина Н.В., Шевченко В.П. и др.* Систематика редкоземельных элементов в современных донных осадках Каспийского моря и устьевых зон рек мира: опыт сопоставления // Докл. АН. 2017. Т. 475. № 2. С. 195–201.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н.* Геохимия глинистых пород верхнего венда–нижнего кембрия центральной части Московской синеклизы (некоторые традиционные и современные подходы) // Литология и полез. ископаемые. 2023. № 4. С. 365–386.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н.* Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей венда северной и восточной

- частей Восточно-Европейской платформы // Литология и полез. ископаемые. 2021а. № 1. С. 3–27.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Металлевропелиты ранне-го докембрия: РЗЭ-Тh-систематика как ключ к реконструкции источников слагающей их тонкой алюмосиликокластики // Литология и полез. ископаемые. 2021б. № 3. С. 216–242.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Типы рек, питавших в рифее седиментационные бассейны юго-восточной окраины Сибирской платформы: эскиз реконструкции // Тихоокеанская геология. 2021в. Т. 40. № 4. С. 99–117.
- Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Тh во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий / классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. 2019. Т. 64. № 1. С. 59–78.
- Махнач А.С., Веретенников Н.В. Венд Беларуси – один из приоритетных стратотипов вендской системы Восточно-Европейской платформы // Докл. НАН Беларуси. 2001. Т. 45. № 2. С. 123–126.
- Махнач А.С., Веретенников Н.В., Шкуратов В.И. и др. Стратиграфическая схема вендских отложений Беларуси // Літасфера. 2005. № 1. С. 36–43.
- Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы / Отв. ред. Б. М. Келлер, А. Ю. Розанов. М.: Наука, 1980. 118 с.
- Свешников К.И., Деревская Е.И., Приходько В.Л., Косовский Я.А. Петрохимическая структура толщи ранневендских базальтоидов юго-запада Восточно-Европейской платформы // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. 2010. № 1. С. 77–84.
- Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси. Объяснительная записка. Минск: БелНИГРИ, 2010. 282 с.
- Стратиграфия верхнедокембрийских и кембрийских отложений запада Восточно-Европейской платформы / Отв. ред. Б. М. Келлер, А. Ю. Розанов. М.: Наука, 1979. 236 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C. et al. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17–38.
- Bojanowski M.J., Goryl M., Kremer B. et al. Pedogenic siderites fossilizing Ediacaran soil microorganisms on the Baltica paleocontinent // Geology. 2020. V. 48. P. 62–66.
- Bojanowski M.J., Marciniak-Maliszewska B., Środoń J., Liivamägi S. Extensive non-marine depositional setting evidenced by carbonate minerals in the Ediacaran clastic series of the western East European Craton // Precambrian Res. 2021. V. 365. 106379.
- Burzin M.B. Late Vendian (Neoproterozoic III) microbial and algal communities of the Russian Platform: Models of facies-dependent distribution, evolution and reflection of basin development // Riv. Ital. di Paleontol. Stratigr. 1996. V. 102. P. 307–316.
- Derkowski A., Środoń J., Goryl M. et al. Long-distance fluid migration defines the diagenetic history of unique Ediacaran sediments in the East European Craton // Basin Res. 2021. V. 33. P. 570–593.
- Ėyþienė J., Dliaupa S., Lazauskienė J. et al. Characterization of the Lower Cambrian Blue Clays for deep geological disposal of radioactive waste in Lithuania // Geologija. 2005. № 52. P. 11–21.
- Goryl M., Marynowski L., Brocks J.J. et al. Exceptional preservation of hopanoid and steroid biomarkers in Ediacaran sedimentary rocks of the East European Craton // Precambrian Res. 2018. V. 316. P. 38–47.
- Habryn R., Krzeminska A., Krzeminski L. Detrital zircon age data from the conglomerates in the Upper Silesian and Małopolska Blocks and their implications for the pre-Variscan tectonic evolution (S. Poland) // Geol. Quart. 2020. V. 64. P. 321–341.
- Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core orlog data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
- Jankauskas T. Cambrian stratigraphy of Lithuania. Vilnius, 2002. 256 p.
- Jewuła K., Środoń J., Kędzior A. et al. “It’s a trap!” – critical assessment of geochemistry-based proxies in reconstructing past environments // 36th IAS International Meeting of Sedimentology. Abstract book. Dubrovnik: IAS, 2023. P. 412.
- Jewuła K., Środoń J., Kędzior A. et al. Sedimentary, climatic, and provenance controls of mineral and chemical composition of the Ediacaran and Cambrian mudstones from the East European Craton // Precambrian Res. 2022. V. 381. 106850.
- Kilda L., Friis H. The key factors controlling reservoir quality of the Middle Cambrian Deimena Group sandstone in West Lithuania // Bul. Geol. Soc. Denmark. 2002. V. 49. P. 25–39.
- Kuzmenkova O.F., Laptsevich A.G., Streltsova G.D., Minenkova T.M. Riphean and Vendian of the conjugation zone of the Orsha depression and Zhlobin saddle (Bykhov parametric borehole) // Проблемы геологии Беларуси и смежных территорий. Минск: Строймедиапроект, 2018. С. 101–104.
- Kuzmenkova O.F., Shumlyanskiy L.V., Nosova A.A. et al. Petrology and correlation of trap formations of the Vendian in the adjacent areas of Belarus and Ukraine // Літасфера. 2011. Т. 35. № 2. С. 3–11.
- Liivamägi S., Środoń J., Bojanowski M.J. et al. Paleosols on the Ediacaran basalts of the East European Craton: a unique record of paleoweathering with minimum diagenetic overprint // Precambrian Res. 2018. V. 316. P. 66–82.
- Liivamägi S., Środoń J., Bojanowski M.J. et al. Precambrian paleosols on the Great Unconformity of the East European Craton: an 800 million year record of Baltica’s climatic conditions // Precambrian Res. 2021. V. 363. P. 106327
- Paczesna J. The evolution of late Ediacaran riverine-estuarine system in the Lublin-Podlasie slope of the East European Craton, Southeastern Poland // Polish Geol. Inst. Spec. Pap. 2010. № 27. P. 1–96.

Paszkowski M., Budzyn B., Mazur S. et al. Detrital zircon U–Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, Belarus // *Precambrian Res.* 2019. V. 331. 105352.

Paszkowski M., Budzyn B., Mazur S. et al. Detrital zircon U–Pb and Hf constraints on provenance and timing of deposition of the Mesoproterozoic to Cambrian sedimentary cover of the East European Craton, part II: Ukraine // *Precambrian Res.* 2021. V. 362. 106282.

Poprawa P., Krzeminska E., Paczesna J., Armstrong R. Geochronology of the Volyn volcanic complex at the western slope of the East European Craton – Relevance to the Neoproterozoic rifting and the break-up of Rodinia/Pannotia // *Precambrian Res.* 2020. V. 346. 105817.

Rozanov A.Y., Lydka K. (Eds) Palaeogeography and Lithology of the Vendian and Cambrian of the Western East-European Platform. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, 1987. 114 p.

Shumlyansky L.V., Nosova A., Billstrom K. et al. The U–Pb zircon and baddeleyite ages of the Neoproterozoic Volyn Large Igneous Province: implication for the age of the mag-

matism and the nature of a crustal contaminant // *GFF.* 2016. V. 138. P. 17–30.

Środoń J., Condon D.J., Golubkova E. et al. Ages of the Ediacaran Volyn-Brest trap volcanism, glaciations, paleosols, Podillya Ediacaran soft-bodied organisms, and the Redkino-Kotlin boundary (East European Craton) constrained by zircon single grain U–Pb dating // *Precambrian Res.* 2023. V. 386. 106962.

Środoń J., Gerdes A., Kramers J., Bojanowski M. Age constraints of the Sturtian glaciation on western Baltica based on U–Pb and Ar–Ar dating of the Lapichi Svita // *Precambrian Res.* 2022. V. 371. 106595.

Środoń J., Kuzmenkova O.F., Stanek J.J. et al. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton // *Precambrian Res.* 2019. V. 325. P. 217–235.

Taylor S.R., McLennan S. M. The Continental Crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.

Turgeon S., Brumsack H.-J. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy // *Chem. Geol.* 2006. V. 234. P. 321–339.

CATEGORIES OF RIVERS THAT FORMED VENDIAN AND LOWER CAMBRIAN SEDIMENTARY SEQUENCES, WESTERN PART OF EAST EUROPEAN PLATFORM (ACCORDING TO LITHOGEOCHEMISTRY DATA)

A. V. Maslov^{1, *}, V. N. Podkovyrov^{2, **}

¹ *Geological Institute RAS, Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017, Russia*

² *Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, Makarov emb., 2, St. Petersburg, 199034, Russia*

* e-mail: amas2004@mail.ru

** e-mail: vpodk@mail.ru

Based on lithogeochemical data for fine-grained clastic rocks of the Volyn, Valdai and Baltic series of the west of the East European Platform (Belarus and Volyn, partly Lithuania), categories of rivers that transported fine-grained aluminosiliciclastics to the sinks were reconstructed. It is concluded that the formation of Vendian and Lower Cambrian sedimentary sequences developed in this area was controlled mainly by river systems similar to modern large rivers (rivers with a catchment area > 100000 km²) and rivers draining sedimentary formations (rivers with a catchment area < 100000 km²). The fine-grained aluminosiliciclastics transported by them came mainly from areas composed of rocks of the crystalline basement of the platform and, in part, sedimentary formations. The distribution of data points of Vendian and Lower Cambrian clay rocks on the diagrams (La/Yb)_N–Eu/Eu* and (La/Yb)_N–Th with fields of composition of pelitic and silty-pelitic sediments in the estuarine parts of modern rivers of different categories shows that mafic rocks of the Volyn-Brest large igneous province, apparently, were not suppliers of fine-grained aluminosiliciclastics in the indicated time intervals.

Keywords: clay rock, category of rivers, Vendian, Lower Cambrian, western part of the East European Platform