

УДК 551

ВЕНД И РАННИЙ КЕМБРИЙ ЮГО-ЗАПАДА, ЗАПАДА И СЕВЕРО-ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: КАТЕГОРИИ РЕЧНЫХ СИСТЕМ, ФОРМИРОВАВШИХ ОСАДОЧНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ¹

© 2024 г. А. В. Маслов¹ *, В. Н. Подковыров². **

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия

²Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: amas2004@mail.ru

**e-mail: vpodk@mail.ru

Поступила в редакцию 24.10.2023 г.

После доработки 11.12.2023 г.

Принята к публикации 26.01.2024 г.

На основе данных о геохимических характеристиках ($(La/Yb)_N$, Eu/Eu^* и содержание Th) глинистых пород Подольского Приднестровья, Юго-Восточной Польши, Беларуси и Волыни, Литвы, окрестностей г. Санкт-Петербурга, Юго-Восточного Беломорья и Арктической Норвегии реконструированы категории рек, транспортировавших тонкую алюмосиликокластику в области осадконакопления, существовавшие в венде и раннем кембрии на западе Восточно-Европейской платформы. Распределение фигуративных точек глинистых пород волынского времени на диаграмме $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* с полями состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек различных категорий позволяет считать, что для Литвы и Подольского Приднестровья одними из питающих провинций являлись палеоводосборы, сложенные вулканическими образованиями. Для Восточной Беларуси и Юго-Восточного Беломорья ощутимо влияние продуктов размыва, поставлявшихся реками, протекавшими по магматическим/метаморфическим террейнам (кристаллический фундамент). Значительную часть кластики несли и реки, дренировавшие осадочные образования, а также крупные реки, длина которых превышала 1000 км, а площадь водосбора составляла более 100000 км². Существование последних подтверждается присутствием в породах формации Жуков Юго-Восточной Польши обломочного циркона, заимствованного, по всей видимости, из пород Фенноскандии. В редкинское время наряду с крупными реками (реки категории 1) и реками, питавшимися продуктами размыва осадочных образований (реки категории 2), транспортировка кластики осуществлялась также реками, дренировавшими породы кристаллического фундамента (реки категории 3; это свойственно Беларуси и Волыни, Юго-Восточному Беломорью и Арктической Норвегии), и реками, протекавшими по районам распространения вулканических ассоциаций (реки категории 4). Распределение фигуративных точек глинистых пород котлинского этапа на графике $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* позволяет предполагать, что основными агентами транспортировки тонкой алюмосиликокластики в приемные бассейны в это время являлись крупные реки и реки, питавшиеся тонкой взвесью за счет размыва преимущественно осадочных образований. Палеоводосборы раннего кембрия были сложены, по всей видимости, как кристаллическими, так и осадочными породами. Все сказанное находится в достаточно хорошем соответствии с установленным ранее фактом постепенного роста вклада продуктов эрозии осадочных образований в формирование осадочных последовательностей венда–раннего кембрия, распространенных в полосе от Подольского Приднестровья до Арктической Норвегии.

Ключевые слова: глинистые породы, геохимия, венд, ранний кембрий, запад Восточно-Европейской платформы, категории рек

DOI: 10.31857/S0869592X24050025 EDN: ALDQWQ

ВВЕДЕНИЕ

Для венда/эдиакария и нижнего кембрия юго-запада, запада и северо-запада Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в последние годы получен уникальный массив нового фактического материала, позволивший детально рассмотреть

основные факторы, контролировавшие формирование минерального и химического состава слагающих осадочные последовательности пород,

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0869592X24050025 для авторизованных пользователей.

и реконструировать обстановки накопления осадков. В ряде работ опубликованы представительные данные о возрасте обломочного циркона в песчаниках, позволившие более корректно судить о вкладе в формирование осадочных толщ различных областей питания (Liivamägi et al., 2018, 2021; Paszkowski et al., 2019, 2021; Śröder et al., 2019, 2023; Bojanowski et al., 2021 и др.).

В публикации (Jewuła et al., 2022) приведена характеристика фациальных обстановок, минерального и химического состава глинистых пород венда/эдиакария и раннего кембрия Беларуси и Волыни, окрестностей г. Санкт-Петербурга и Северной Эстонии, Юго-Восточной Польши и Подольского Приднестровья. Авторами этой работы показано, что обстановки осадконакопления названного стратиграфического интервала варьировали от субаэральных до мелководно-морских. На севере и юге территории существовали крупные эстуарии, открывавшиеся на восток и юг. Сформированные под их контролем осадочные последовательности представлены отложениями первого седиментационного цикла, а источниками кластики для них выступали палеопочвы и коры выветривания на породах Волынского-Брестской крупной магматической провинции (КМП, от 580 ± 10 до 547 ± 6 млн лет (Krzenińska et al., 2022)), кристаллических породах Балтийского щита, а также, возможно, Сарматии. Указанная работа сопровождается банком данных о валовом химическом составе тонкозернистых обломочных пород (mudstone) для доволынского, волынского, редкинского, котлинского и раннекембрийского стратиграфических уровней большинства перечисленных выше регионов. В настоящей публикации эти материалы вместе с нашими оригинальными данными использованы для реконструкции по литогеохимическим характеристикам глинистых пород категорий речных систем, транспортировавших в венде и раннем кембрии тонкую алюмосиликокластику в области осадконакопления, существовавшие на западе ВЕП в полосе от Подольского Приднестровья до Арктический Норвегии. Тем самым мы продолжаем исследования, начало которым положено работами (Маслов, Подковыров, 2021a, 2022 и др.).

КАТЕГОРИИ РЕК, ПИТАЮЩИХ ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКОЙ ПРИЕМНЫЕ БАСЕЙНЫ

Прежде чем перейти к анализу фактического материала, рассмотрим кратко положенные в основу наших исследований представления. В публикации (Bayon et al., 2015) приведены результаты изучения более 50 специальным образом (удаление нетерригенных носителей редкоземельных элементов) подготовленных проб алевроитовых (2–63 мкм) и пелитовых (<2 мкм) фракций донных

осадков приустьевых частей современных рек. Среди последних авторы указанной работы наметили ряд категорий: 1) крупные реки (World's major rivers), т.е. реки с площадью водосборного бассейна >100000 км² (рр. Амазонка, Конго, Миссисипи, Нигер, Янцзы, Мак-Кензи, Волга, Ориноко, Дунай, Меконг, Желтая, Аму-Дарья, Сев. Двина и др.); 2) реки, дренирующие осадочные образования (rivers draining "mixed/sedimentary" formations), площадь водосборного бассейна которых составляет <100000 км² (рр. Сена (Франция), Флай (Новая Гвинея), Гуадиана (Испания и Португалия), Чубут (юг Аргентины), Мэкхлонг (запад Таиланда), Шэннон (Ирландия) и др.); 3) реки, питающиеся продуктами размыва "магматических/метаморфических" террейнов (rivers draining "igneous/metamorphic" terranes) (рр. Карони, Аро и Каура (Венесуэла), Нарва (Россия, Эстония), Кюмийоки (Финляндия), Уме (север Швеции) и др.); 4) реки, дренирующие "вулканические" провинции (rivers draining "volcanic" rocks) (рр. Камчатка (Россия), Уайкато (Новая Зеландия), Нижний Бэнн (Северная Ирландия), Мэн и Сикс Майл (Ирландия) и др.).

Суммированные в работе (Bayon et al., 2015) данные о распределении ряда редких и рассеянных элементов в пелитовых фракциях донных осадков приустьевых зон различных категорий современных рек мы рассматриваем как отражающие состав тонкой взвеси, транспортируемой реками в приемные бассейны из различных питающих провинций. Особенности редкоземельной и Th-систематики пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек различных категорий достаточно хорошо проявлены на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ и $(La/Yb)_N - Th$ (Маслов, 2019; Маслов, Шевченко, 2019). Установлено, что граничные величины $(La/Yb)_N$ для полей состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых участков современных рек ориентировочно составляют 6–20 для рек категории 1, 6–16 для рек категории 2, 9–21 для рек категории 3 и 1–11 для рек категории 4. Аналогичные граничные величины Eu/Eu^* составляют соответственно 0.60–0.80, 0.55–0.82, 0.45–0.75 и 0.58–1.05, а содержания Th – 6–22, 9–33, 15–37 и 1–13 мкг/г. Указанные диаграммы использованы нами ранее при реконструкции категорий речных систем, поставивших тонкую алюмосиликокластику для осадочных последовательностей верхнего докембрия Западного Урала (Маслов, 2019, 2020), севера и востока ВЕП (Маслов, Подковыров, 2021a) и ряда других объектов, в том числе и для анализа особенностей формирования метаалевропелитов архея и нижнего протерозоя (Маслов, Подковыров, 2021b). В публикации (Маслов, Мельничук, 2023) на основе анализа литогеохимических характеристик глинистых пород почти 40 осадочных последовательностей неопротерозоя–ордовика и девона–голоцена показано, что принципиальных отличий между

досилурийскими реками и реками “зеленой эпохи” с точки зрения их категорий не наблюдается. В перечисленных работах рассмотрен и ряд других концептуальных вопросов применения указанных диаграмм, в том числе и то, что для наших целей могут быть использованы валовые пробы глинистых пород, не подвергшиеся какой-либо предварительной обработке (Маслов, Шевченко, 2019).

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И ЕГО ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем разделе приведены общие сведения о строении, составе и обстановках накопления отложений волынского, редкинского, котлинского и нижнекембрийского стратиграфических интервалов на территории Подольского Приднестровья, Юго-Восточной Польши, Беларуси и Волыни, Литвы, окрестностей г. Санкт-Петербурга, Юго-Восточного Беломорья и Арктической Норвегии (рис. 1), а также высказаны соображения о категориях рек, транспортировавших в области осадконакопления тонкую алюмосиликокластику. Детали строения разрезов и взаимоотношений различных стратонов при этом опущены. Палеогеографические реконструкции разной степени детальности для венда и раннего кембрия запада ВЕП опубликованы во многих работах (Палеогеография..., 1980; Аксенов, 1985; Rozanov, Łydka, 1987; Pasceśna, 2010; Paszkowski et al., 2019, 2021; Jewuła et al., 2022 и др.). Мы сочли возможным не приводить их еще раз, пусть и в красивом компьютерном оформлении, так как это с течением времени, когда основная масса первичного материала (керна скважин и др.) уже недоступна, ведет только к предельному упрощению информации. Поскольку в большинстве своем осадочные толщи венда и нижнего кембрия сложены континентальными, прибрежно-морскими и мелководно-морскими образованиями, можно предполагать, что представленные в их разрезах глинистые породы в значительной мере наследовали распределение слаборастворимых в воде редких и рассеянных элементов (Th, La, Sc, Co, Cr, V и др.), существовавшее в породах палеоводосборов (Taylor, McLennan, 1985; McLennan, 1989; McLennan et al., 1990, 1993; Интерпретация..., 2001; Geochemistry..., 2003; Маслов и др., 2018). Это позволяет, как нам представляется, считать все сделанные выводы и предположения о категориях рек венда и раннего кембрия в достаточной мере корректными.

Подольское Приднестровье. Рассматриваемый нами стратиграфический интервал представлен здесь в полном объеме и включает волынскую, могилев-подольскую, каниловскую и балтийскую серии (рис. 2). Три первые традиционно считаются вендскими, а балтийская серия рассматривается как нижнекембрийский стратон (Соколов, 1979; Вендская..., 1985; Макрофоссилии..., 2015 и др.),



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

1 – Подольское Приднестровье; 2 – Юго-Восточная Польша; 3 – Западная Беларусь и Волынь; 4 – Восточная Беларусь; 5 – Литва; 6 – окрестности г. Санкт-Петербурга; 7 – Юго-Восточное Беломорье; 8 – Арктическая Норвегия.

хотя есть и другие точки зрения (Гражданкин и др., 2011; Grytsenko, 2020). Результаты исследования U–Pb изотопного возраста и геохимических

Стратиграфический уровень	Подольское Приднестровье	Юго-Восточная Польша	Беларусь и Волянь	Литва	Окрестности г. Санкт-Петербург	Юго-Восточное Беломорье	Арктическая Норвегия
Ранний кембрий (терренуви)	Окунецкая, хмельницкая и збручская свиты	Мазовецкая формация	Рытская, рудаминская, старелеская и лонговаская свиты	Свита синих глин и др.	Вороновская (?), ломоносовская и синевская свиты	Падунская серия	Формация Брейдвика
	Даниловская, жарновская, крушановская и студеницкая свиты	Формации Лопенник/Люблин и Влодава	Котлинская свита	Свиты Пагирый, Скинимай и Вилкишис	Василеостровская свита	Ергинская свита	Нижняя часть толщи Мандрасельва
Поздний венд	Могилевская, ярышевская и нагорная свиты	Формации Семятницкая и Бялополе	Низовская, селявская и черницкая свиты	Рудинкайская свита	Старорусская свита	Ламинская, верховская и зимнегорская свиты	Толщи Лилленанет и Индрилла
	Грушкинская свита	Формации Жуков, Славатич и Тереминки	Горбаневская, ратайчицкая, гирская, клецкая и др. свиты	Янюшайская и мярнская свиты			Формации Нюборг и Моргенснес
Ранний венд							

Рис. 2. Основные подразделения волинского, редкинского, котлинского и нижнекембрийского стратиграфических уровней, рассматриваемые в настоящей работе. Серый фон – отсутствие отложений.

характеристик (ϵ_{Hf}) обломочного циркона дают ряду авторов основание считать нижнекембрийской и каниловскую серию (Paszowski et al., 2021), но пока эти представления не получили всеобщего признания.

В основании разреза залегают красноцветные гравелиты, грубозернистые аркозовые песчаники, конгломераты, брекчии, а также сероцветные аргиллиты и алевролиты с покровами базальтов грушкинской свиты (мощность 0–50–70 м) волинской серии (Великанов, 1985). По данным (Великанов, 1976; Палеогеография..., 1980), низы грушкинской свиты – это преимущественно элювиально-коллювиально-пролювиальные образования. Выше обнажены породы могилевской, ярышевской и нагорянской свит могилев-подольской серии (новоднестровский горизонт = редкинский горизонт). Могилевская свита (мощность до 100 м) объединяет разномерные аркозовые песчаники и гравелиты, пакки тонкого переслаивания темно-серых аргиллитов и тонкозернистых песчаников, а также полевошпатово-кварцевые или кварцевые мелко-среднезернистые песчаники и пестроцветные слюдистые аргиллиты. Ярышевская свита (мощность ~100 м) включает глинистые средне- и мелкозернистые полевошпатово-кварцевые песчаники и алевролиты, темно- и зеленовато-серые аргиллиты, иногда с тонкими линзами песчаников и пропластками бентонитовых глин, крупно- и грубозернистые аркозовые песчаники, кремнистые туфоаргиллиты и туффиты, зеленовато-синевато-серые аргиллиты и алевролиты с прослоями глинистых и карбонатных песчаников. Нагорянская свита (мощность 70 м) сложена в нижней части гравелитами и полевошпатово-кварцевыми песчаниками, зеленовато-серыми аргиллитами, алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, их слюдистыми разностями, чередующимися с алевролитами и аргиллитами, а в верхней части – темно-серыми тонкослоистыми аргиллитами с конкрециями фосфоритов.

Каниловская серия (ушицкий горизонт = котлинский горизонт) объединяет даниловскую, жарновскую, крушановскую и студеницкую свиты (Великанов, 1985 и др.). Даниловская свита (мощность 55 м) представлена в нижней части зеленовато-серыми мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами, а в верхней части – пестрыми и буровато-серыми аргиллитами и алевролитами. Жарновская свита (мощность ~40 м) объединяет разномерные песчаники, пакеты и пакки чередования зеленовато-серых песчаников, алевролитов и аргиллитов, а также пестроцветные аргиллиты и алевролиты. Крушановская свита (мощность до 45 м) включает в нижней части мелко- и среднезернистые песчаники и толщу переслаивания зеленовато-серых песчаников, алевролитов и аргиллитов, а в верхней – чередование буровато-серых

алевролитов, аргиллитов и песчаников, среди которых есть редкие линзы известняков и фосфатных аргиллитов. Студеницкая свита (мощность ~60 м) представлена внизу переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов, а сверху — тонким чередованием аргиллитов и алевролитов.

На каниловской серии согласно залегают породы балтийской серии (окунецкая, хмельницкая и збручская свиты). Окунецкая свита (мощность 15–17 м) представлена серыми и зеленовато-серыми аргиллитами с прослоями и линзами алевролитов и мелкозернистых песчаников. Хмельницкая свита (мощность 50–65 м) сложена темно- и зеленовато-серыми аргиллитами с прослоями алевролитов и глауконит-кварцевых песчаников. Збручская свита (мощность до 45 м) включает мелкозернистые кварцевые песчаники, пестроцветные аргиллиты и алевролиты, среди которых есть и конгломераты (Макрофоссилии..., 2015).

Могилевская свита накапливалась в аллювиальных, дельтовых и прибрежно-морских обстановках (Великанов, 1985; Великанов, Мельничук, 2014; Paszkowski et al., 2021 и др.). По данным (Великанов, 1985 и ссылки в этой работе), ярышевская свита объединяет мелководно-морские и лагунные отложения. Нагорянская свита, а также каниловская и балтийская серии сложены преимущественно прибрежно-морскими и мелководно-морскими отложениями (Маслов, Подковыров, 2022 и ссылки там). Распределение различных по генезису отложений в разрезах волынского, редкинського и котлинского регионарусов, а также нижнего кембрия Подольского Приднестровья и других рассматриваемых нами регионов в достаточно упрощенном виде показано на рис. 3.

Источниками обломочного циркона для отложений венда Подольского Приднестровья выступали, по приведенным в публикации (Francovschi et al., 2023 и ссылки там) данным, комплексы пород архея и палеопротерозоя Сарматии и Белорусского кристаллического массива. Циркон с возрастом ~1780 млн лет поступал за счет эрозии пород Коростенского анортозит-мангерит-чарнокит-гранитового (АМСГ) комплекса и Прут-Новогольской КМП. Возможными источниками обломочного циркона с возрастом 1660–1450 млн лет могли являться АМСГ-образования Фенноскандинавии, циркона с возрастом ~620–535 млн лет — Волынская/Волыньско-Брестская КМП, а также, возможно, магматические породы Лаврентии и Амазонии, включенные позднее в состав орогенов Санта-Крус или Скифского.

Для Подольского Приднестровья мы располагаем 222 оригинальными результатами анализа валового химического состава, полученного методом “мокрой химии” (банк данных PRECED, ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург), и данными о содержании редких и рассеянных элементов (метод

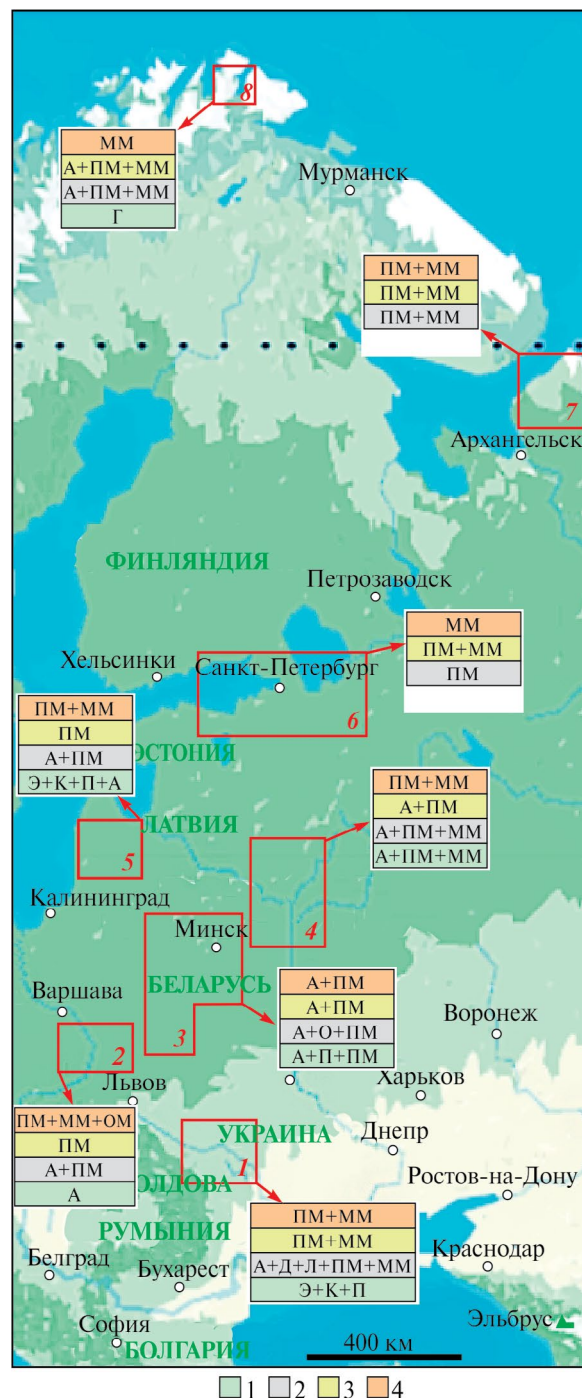


Рис. 3. Генезис отложений, составляющих разрезы различных регионарусов венда и нижнего кембрия юго-запада, запада и северо-запада Восточно-Европейской платформы (пояснения см. в тексте).

Отложения: Г — гляциальные; Э — элювиальные; К — коллювиальные; П — пролювиальные; А — аллювиальные (русловые, пойменные и др.); О — озерные; Л — лагунные; Д — дельтовые; ПМ — прибрежно-морские, в том числе приливо-отливные; ММ — мелководно-морские; ОМ — открытых частей бассейна. 1 — волынский стратиграфический уровень; 2 — редкинський регионарус; 3 — котлинський регионарус; 4 — нижний кембрий. Прямоугольники с белым фоном — нет данных. Остальные условные обозначения см. рис. 1.

масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС), исследования проведены в ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург) в 50 образцах глинистых пород. Все перечисленные аналитические материалы, как и аналогичные данные для других рассматриваемых нами регионов, представлены в (ДМ² табл. 1).

На диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (диаграмма НКМ–ФМ (Юдович, Кетрис, 2000)) точки состава глинистых пород венда–раннего кембрия Подольского Приднестровья сосредоточены в основном в полях I (преимущественно каолиновые глины), II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины) и V (хлорит-смектит-иллитовые глины); несколько точек присутствует также в поле IV (хлорит-иллитовые глины) (рис. 4а). Распределение фигуративных точек глинистых пород на диаграмме

Zr/Sc–Th/Sc (McLennan et al., 1993) показывает, что они сложены материалом первого седиментационного цикла (рис. 4б). Таким образом, литогеохимические характеристики глинистых пород должны быть достаточно хорошо сопоставимы с аналогичными характеристиками пород-источников слагающей их тонкой алюмосиликокластики. На диаграмме Cr/Th–Th/Sc (Condie, Wronkiewicz, 1990) с линией смешения продуктов размыва кислых и основных магматических пород, показанной в соответствии с представлениями (Bracciali et al., 2007), точки состава глинистых пород волынского стратиграфического интервала расположены так, что можно предполагать присутствие в них как преимущественно кислой, так и основной тонкой алюмосиликокластики (рис. 4в). Примерно так же распределены здесь фигуративные точки глинистых пород редкинско и котлинского региоярусов, хотя для большинства последних характерно преобладание кислой алюмосиликокластики. При анализе результатов, полученных с помощью

² ДМ – дополнительные материалы.

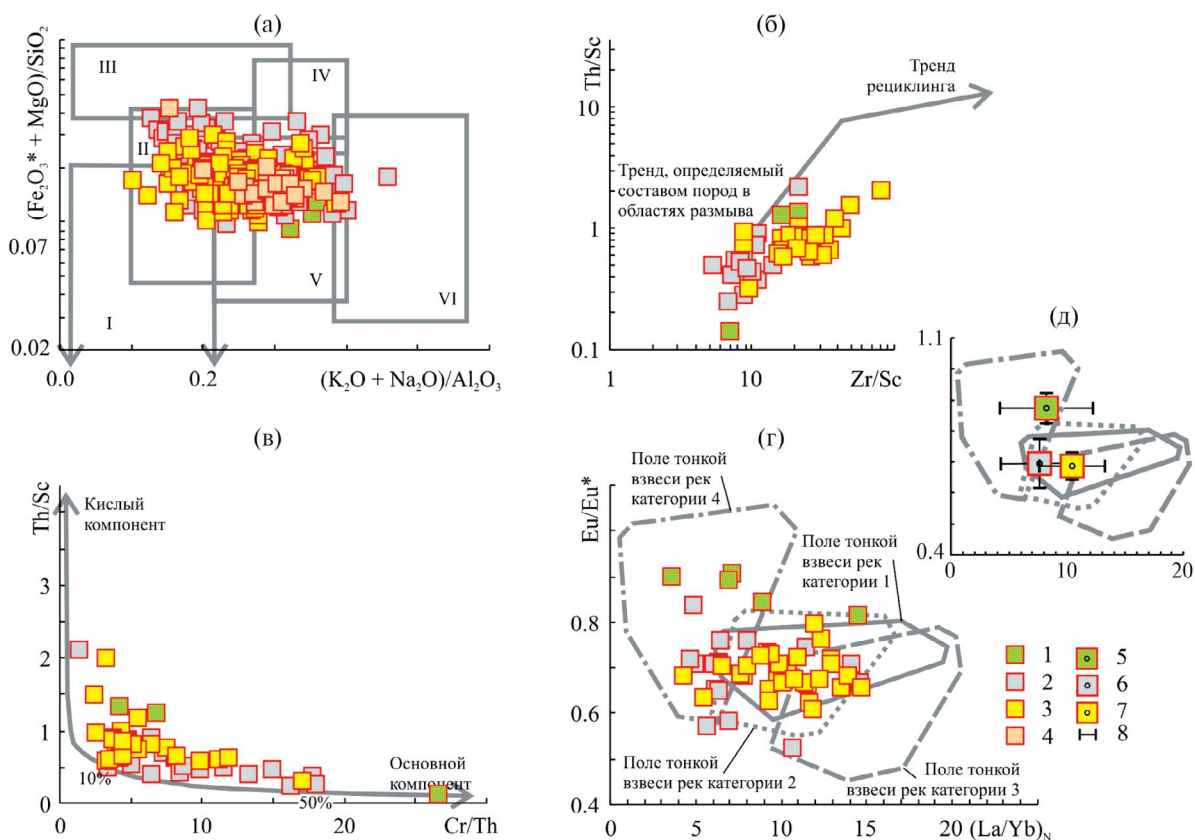


Рис. 4. Распределение фигуративных точек глинистых пород венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграммах $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (а), Zr/Sc–Th/Sc (б), Cr/Th–Th/Sc (в), $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (г, д). 1–4 – глинистые породы (1 – волынской серии, 2 – редкинско-котлинского региояруса, 3 – котлинского региояруса, 4 – нижнего кембрия); 5–7 – усредненные точки состава глинистых пород (5 – волынской серии, 6 – редкинско-котлинского уровня, 7 – котлинского уровня); 8 – стандартное отклонение ($\pm 1\sigma$).

(а): Глинистые породы: 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 дисперсных полевых шпатов.

данной диаграммы, следует, однако, иметь в виду, что размыв осадочных образований может создавать впечатление присутствия в областях питания существенной доли кислых магматических пород. В то же время аргиллиты в наших выборках являются породами первого седиментационного цикла, поэтому ожидать заметного вклада в их состав рециклированного материала нет особых оснований.

На диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (здесь нормирование проведено на хондрит (Taylor, McLennan, 1985), а расчет Eu -аномалии выполнен по формуле $Eu_N/\sqrt{Sm_N \cdot Gd_N}$) с полями состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых зон современных рек различных категорий точки состава глинистых пород волинского уровня в основном расположены в поле пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категории 4, питающихся продуктами размыва пород “вулканических” провинций (рис. 4г). Фигуративные точки глинистых пород редкинско-го региояруса можно видеть как в поле пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категории 4, так и в полях пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 (крупные реки) и 2 (реки, дренирующие области распространения осадочных пород). Точки состава глинистых пород котлинского региояруса сосредоточены на данном графике в основном в поле пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных крупных рек и рек, питающихся продуктами размыва осадочных пород. Наиболее ярко указанная тенденция проявлена при сравнении положения на указанной диаграмме усредненных точек состава глинистых пород венда (рис. 4д). Все сказанное находится в довольно хорошем соответствии с результатами исследований, полученными общегеологическими методами.

Ранее в публикации (Маслов, Подковыров, 2022) показано, что распределение средних точек состава аргиллитов разных свит волинской, могилев-подольской и каниловской серий Подольско-го Приднестровья на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ с полями состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых участков современных рек дает основание считать, что во время накопления тонкозернистых осадков грушкинской свиты в области сноса преобладали вулканические породы. В могилевское и ярышевское время доля их предположительно снизилась, и поступавшая в область осадконакопления тонкая алюмосиликокластика представляла смесь продуктов размыва вулканических и осадочных пород, транспортировавшуюся реками категорий 4 (реки, дренирующие вулканические комплексы), 1 (крупные реки) и 2 (реки, текущие преимущественно по областям развития осадочных пород). В нагорянское и даниловское время поставщиками основной массы осадочного

материала в бассейн являлись, по всей видимости, крупные реки и реки, дренировавшие осадочные породы, а во время накопления жарновской и студеницкой свит на палеоводосборах присутствовали также породы кристаллического фундамента ВЕП.

Юго-Восточная Польша. Венд-нижнекембрийская последовательность здесь также представлена терригенными, вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями. Разрез начинается полимиктовыми конгломератами и крупнозернистыми песчаниками с подчиненными им коричневыми аргиллитами и мелкозернистыми песчаниками формации Жуков (мощность до 58 м) (Paczeńska, 2014). Выше следует формация Славатыч (мощность ~317 м); она представлена базальтами, туфами, туфо-лавовыми агломератами и брекчиями базальтов, туфоконгломератами, туфопесчаниками и туффитами (Стратиграфия..., 1979; Paczeńska, 2014 и др.). Обе формации принадлежат волинской серии (Poręga et al., 2020 и ссылки там) (рис. 2). Инофациальным аналогом формации Славатыч рядом авторов (Poręga et al., 2020 и ссылки там) считается формация Теремиски (мощность ~10 м), сложенная полимиктовыми конгломератами с редкими прослоями туфов. Накопление указанных образований связано с формированием Волинской/Волинско-Брестской КМП.

Залегающая выше семятычская формация (мощность 21–111 м), которая в работе (Стратиграфия..., 1979) часто именуется “аркозовой свитой”, обладает заметной фациальной изменчивостью. В одних ее разрезах присутствуют крупнозернистые шоколадно-коричневые и пестроцветные песчаники и полимиктовые конгломераты, в других наблюдаются средне- и мелкозернистые аркозовые песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов. Южный ареал формации объединяет мелкозернистые песчаники и аргиллиты; доля последних здесь выше, чем в других районах. Перекрывающая ее формация Бялополе (мощность 28–90 м) — это преимущественно светло- и темно-серые мелкозернистые кварцевые песчаники, алевролиты и аргиллиты. Данный стратон сопоставляется с верхней частью семятычской формации (Paczeńska, 2014). Обе формации относятся к редкинскому региоярусу.

Котлинский стратиграфический уровень представлен формациями Лопенник/Люблин и Влодава; в верхней части последней проводится граница венда/эдиакария и кембрия (Moczyłowska, 2008; Paczeńska et al., 2008). Формация Лопенник/Люблин (мощность 21–109 м) сложена пакетами и пачками тонкого чередования мелкозернистых часто с диагональной, линзовидной и горизонтальной слоистостью песчаников (доля их в разрезах свиты снижается в юго-западном направлении) и темно-серых аргиллитов и алевролитов. Формация Влодава (мощность 64–101 м) объединяет

песчаники различной зернистости с глауконитом, а также прослой аргиллитов и глин (Paczeńska, 2014).

К нижнему кембрию (терренувию) на рассматриваемой территории принадлежит мазовецкая формация (мощность до 130 м) (Francovschi et al., 2023), объединяющая глауконит-кварцевые песчаники с интервалами чередования глинистых пород и песчаников.

По данным (Paczeńska, Poprawa, 2005; Poprawa, Paczeńska, 2002; Paczeńska, 2010, 2014), накопление формаций Жуков и Теремиски происходило в обстановках разветвленных рек и аллювиальных конусов. Семятычская формация — результат осадконакопления в обстановках аллювиальных конусов, разветвленных и анастомозирующих рек (реки такого типа имеют несколько русел, которые разделяются и вновь соединяются друг с другом, образуя сетчатую структуру). Формация Бялополе объединяет отложения сублиторальных каналов и междурусловых отмелей. Формация Лопенник/Люблин накапливалась в основном в условиях смешанных, песчано-илистых приливных отмелей. Нижняя и средняя (эдиакарская) части формации Влодава — отложения смешанных и илистых приливных отмелей. Верхняя (нижнекембрийская) ее часть формировалась в мелководно-морских обстановках при преобладании волнения (Paczeńska, 2014). Мазовецкая формация накапливалась в прибрежных и открыто-морских обстановках (Paczeńska, Poprawa, 2005).

Основываясь на датировках обломочного циркона, выделенного из конгломератов формации Жуков, авторы публикаций (Nabryn et al., 2020; Jewuła et al., 2022 и ссылки там) считают, что источники кластики в это время располагались на Балтийском щите. В публикации (Francovschi et al., 2023) показано, что накопление осадочных толщ конца эдиакария—начала кембрия на территории Юго-Восточной Польши контролировалось поступлением обломочного материала в основном со стороны Балтийского щита (свекофенниды, Дано-полонский ороген и др.). В доминопольское время на фоне крупной тектонической перестройки произошло изменение системы питания — материал в бассейн осадконакопления стал поступать как из областей развития пород свеко-норвежского и свеко-феннского орогенов, так и с территории Карельско-Кольского кратона. Источником кластики в это время являлся, вероятно, и неопротерозойский ороген на юго-западе Балтики.

Котлинский стратиграфический уровень венда и нижний кембрий Юго-Восточной Польши охарактеризованы данными о валовом химическом составе (методы рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и ИСП-МС) 19 образцов глинистых пород, заимствованными из публикации (Jewuła et al., 2022). Фигуративные точки глинистых пород на диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$

расположены в полях I (преимущественно каолиновые глины), II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины) и V (хлорит-смектит-иллитовые глины) (рис. 5а). Локализация их на графике $Zr/Sc - Th/Sc$ указывает на доминирование в составе тонкой алюмосиликокластики материала первого седиментационного цикла (рис. 5б). Он поступал в область осадконакопления в основном в результате эрозии кислых магматических пород, как можно предположить на основе распределения фигуративных точек глинистых пород котлинского региояруса и нижнего кембрия на диаграмме $Cr/Th - Th/Sc$ (рис. 5в). На диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ точки котлинских аргиллитов локализованы в полях состава пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2, а также в поле пелитовых фракций донных осадков рек категории 3 (реки, питающиеся материалом размыва магматических и метаморфических террейнов). Примерно такое же распределение характерно и для фигуративных точек глинистых пород нижнего кембрия, но представляется, что они все же несколько сдвинуты в сторону полей состава пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2 (среднее значение $(La/Yb)_N$ для них составляет 10.0 ± 1.5 , тогда как для котлинских аргиллитов — 10.4 ± 1.9) (рис. 5г). Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что в конце венда и начале кембрия источниками тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей Юго-Восточной Польши являлись комплексы кристаллических пород фундамента ВЕП и осадочные образования, продукты размыва которых транспортировались в приемные бассейны достаточно крупными речными артериями.

На территории **Беларуси и Волыни** к венду и нижнему кембрию принадлежат вильчанская, волынская, валдайская и балтийская серии (Геология..., 2001; Стратиграфические..., 2010) (рис. 2). В публикации (Jewuła et al., 2022) аналитические данные для глинистых пород вильчанской серии отсутствуют, поэтому далее мы охарактеризуем три другие серии. В указанной работе данные по химическому составу аргиллитов приведены отдельно для: 1) Западной Беларуси и Волыни и 2) Восточной Беларуси. Такой подход используем и мы.

Отложения волынского этапа (горбашевская, ратайчицкая, лиозненская, гирская, клецкая, ви-диборская и другие свиты) представлены в нижней части крупно- и разномерными аркозовыми песчаниками и гравелитами, конгломератами и глинистыми алевролитами (Геология..., 2001; Свешников и др., 2010; Paszkowski et al., 2019). По данным (Палеогеография..., 1980), горбашевская свита объединяет речные и пролювиальные отложения. Выше залегают вулканические туфы, туффиты, туфопесчаники и туфоконгломераты,

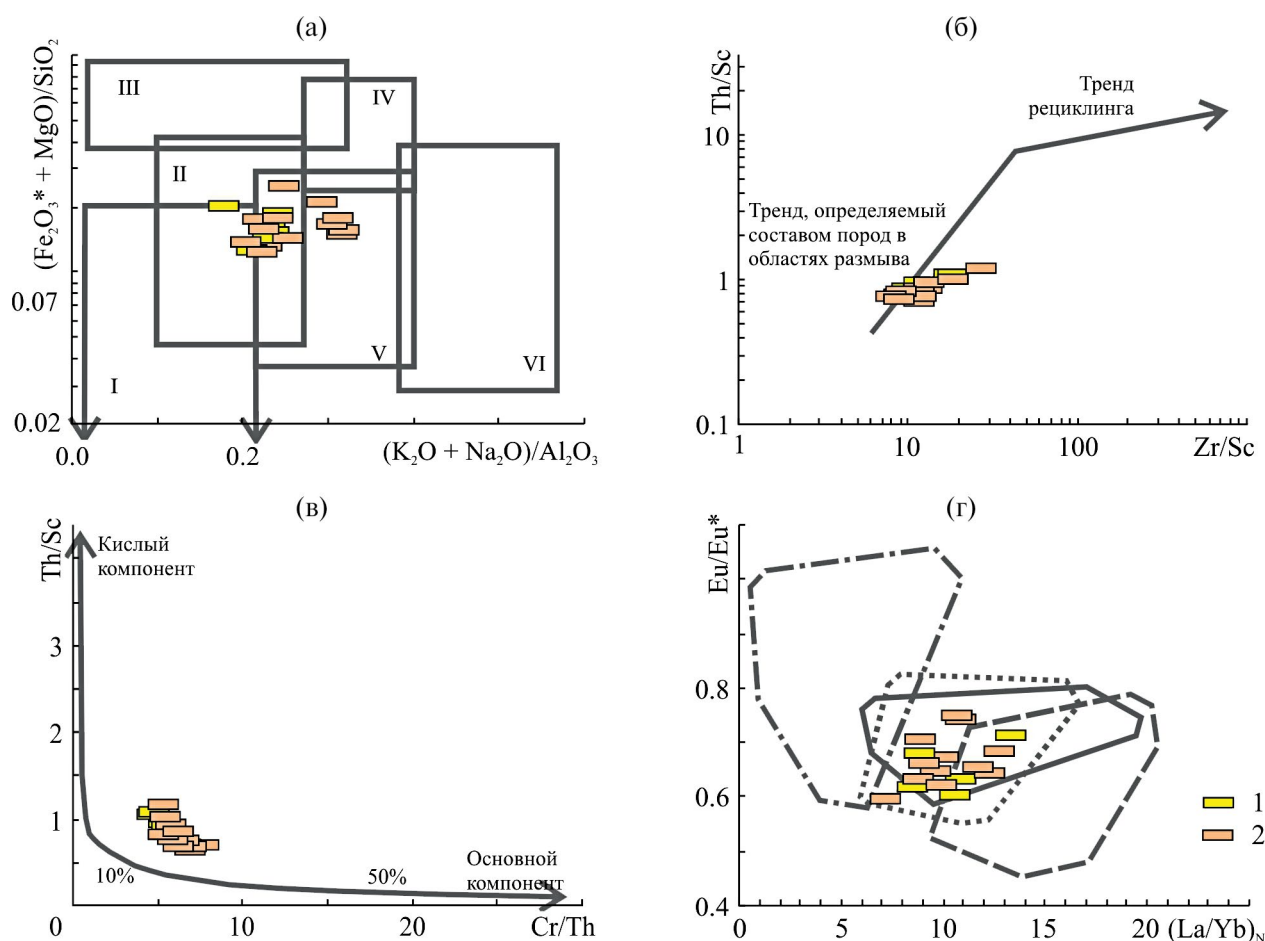


Рис. 5. Распределение точек состава аргиллитов венда и нижнего кембрия Юго-Восточной Польши на диаграммах $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (а), $Zr/Sc - Th/Sc$ (б), $Cr/Th - Th/Sc$ (в), $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (г).

1 – аргиллиты котлинского региояруса, 2 – аргиллиты нижнего кембрия. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

базальты, андезиты, андезидациты, дациты, песчаники, алевролиты и глины. В ряде разрезов присутствуют песчано-глинистые породы с древесно-гравийным материалом и древесно-щебенчатые брекчии. Вверх они сменяются глинами и глинистыми алевролитами с прослоями разнозернистых и мелкогравийных песчаников. В большинстве пород присутствует переотложенный вулканогенный материал, иногда встречаются туфо-алевролиты и туфопесчаники (Геология..., 2001). Формирование всех перечисленных образований связано с Волынской/Волынско-Брестской КМП (Kuzmenkova et al., 2011; Shumlyansky et al., 2016; Paszkowski et al., 2019).

На протяжении редкинское времени (низовская, селявская и черницкая свиты) на территории Волыни и Беларуси формировались аркозовые и полевошпатово-кварцевые крупно- и грубозернистые, иногда с гравием, песчаники, алевролиты и их глинистые разновидности, аргиллиты и глины; иногда среди них встречаются измененные пепловые туфы (Махнач, Веретенников, 2001; Махнач и др., 2005).

Отложения котлинского этапа (котлинская свита) включают грубозернистые и гравийные кварц-полевошпатовые песчаники с линзами и прослоями аргиллитоподобных глин и гравелитов, пачки переслаивания алевритистых глин, алевролитов и аркозовых песчаников различной зернистости.

По данным (Paszkowski et al., 2019), источником основной части обломочного циркона для развитых на территории Беларуси отложений волынского, редкинського и котлинского этапов являлась Сарматия; часть кристаллов с мезопротерозойскими возрастaми поступала за счет размыва гранитов и гнейсов Данополюнского орогена и гранитов рапакиви Юго-Западной Фенноскандии. Еще одним источником кластики (обломочный циркон с возрастом 579–545 млн лет) представляется Волынская/Волынско-Брестская КМП.

К раннекембрийскому этапу на рассматриваемой территории принадлежат полевошпатово-кварцевые с глауконитом песчаники, алевролиты и глины, сменяющиеся глинами с прослоями

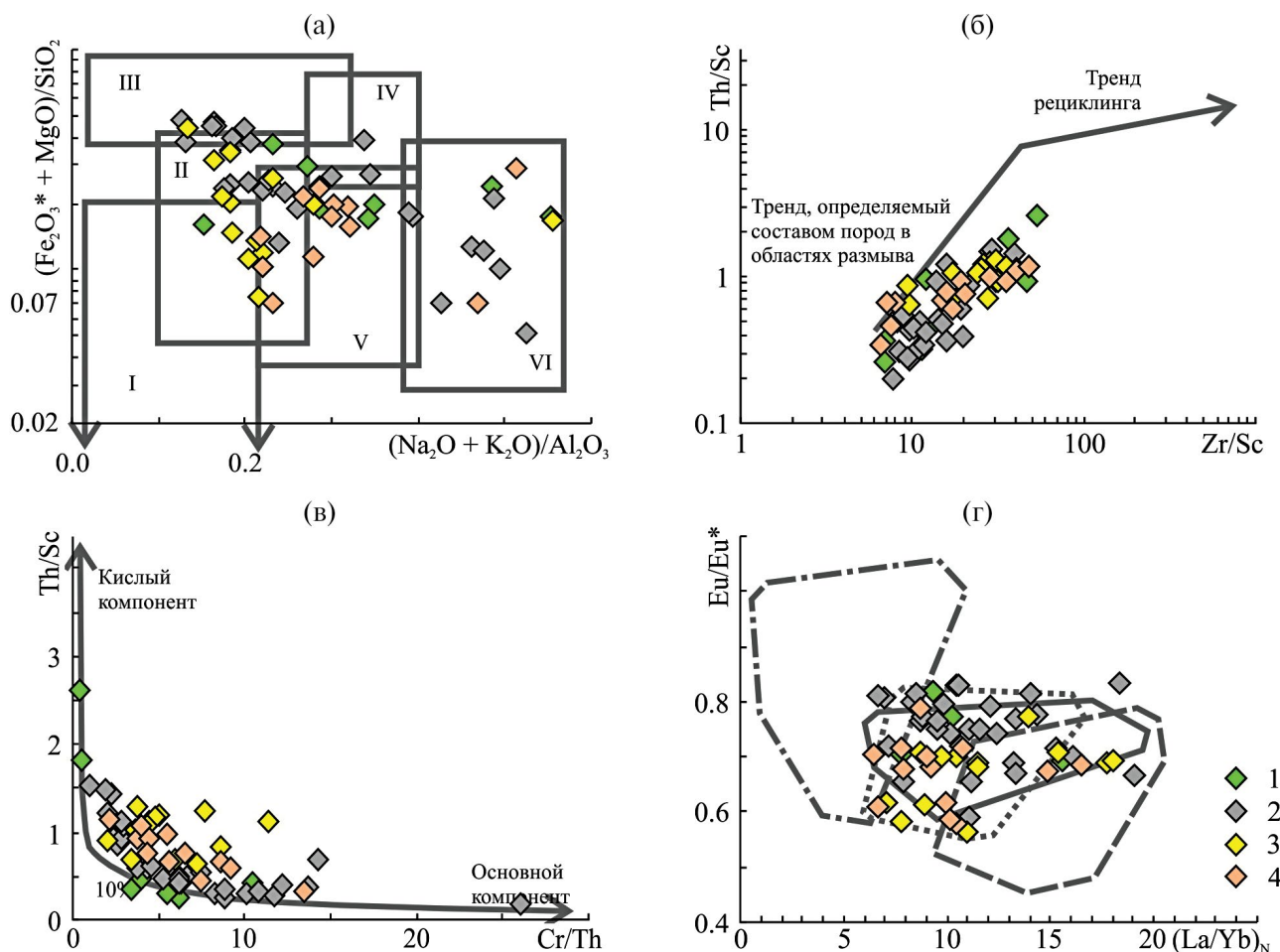


Рис. 6. Распределение фигуративных точек глинистых пород венда и нижнего кембрия Западной Беларуси и Волыни на диаграммах $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (а), $Zr/Sc - Th/Sc$ (б), $Cr/Th - Th/Sc$ (в), $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (г). 1 – глинистые породы волынской серии; 2 – аргиллиты редкинського регіонарусу; 3 – аргиллиты котлинського регіонарусу; 4 – глинистые породы нижнего кембрия. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

кварцевых и полевошпатово-кварцевых алевролитов и песчаников с глауконитом и, иногда, гравелитов (рытская, рудаминская, страдечская и лонтоваская свиты) (Геология..., 2001; Стратиграфические..., 2010). Источниками обломочного материала для них могли быть породы Тиманского орогена или Скифский террейн (Paszkowski et al., 2019).

По данным авторов публикаций (Палеогеография..., 1980; Аксенов, 1985; Jewuła et al., 2022 и ссылки там), накопление отложений волынского этапа на территории Западной Беларуси и Волыни происходило в пролювиальных, аллювиальных и прибрежно-морских обстановках. В разрезах редкинського уровня наблюдаются аллювиальные, озерные и прибрежно-морские образования, а для котлинско-нижнекембрийского интервала характерны и аллювиальные, и прибрежно-морские отложения. В Восточной Беларуси для волынского и редкинського времени характерны аллювиальные

(в том числе русловые и пойменные), прибрежно-морские (в том числе приливно-отливные) и мелководно-морские образования, тогда как позднее здесь формировались как аллювиальные, так и прибрежно-морские/приливно-отливные осадочные ассоциации.

Для венда и нижнего кембрия Западной Беларуси и Волыни в нашем распоряжении имеется 65 результатов РФА и ИСП МС анализа валового химического состава глинистых пород, заимствованных из работы (Jewuła et al., 2022). Фигуративные точки глинистых пород на графике $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ в основном расположены в полях I (преимущественно каолинитовые глины), II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины), III (преимущественно хлоритовые с примесью Fe-иллита глины) и V (хлорит-смектит-иллитовые глины). Около 15% точек состава аргиллитов, в основном редкинського регіонарусу, присутствует и в поле VI (иллитовые

со значительной примесью дисперсных полевых шпатов глины) (рис. 6а). Исходя из распределения точек состава аргиллитов венда и нижнего кембрия на диаграмме $Zr/Sc-Th/Sc$ (рис. 6б), мы считаем, что они сложены преимущественно материалом первого седиментационного цикла. Такого же мнения придерживаются и авторы публикации (Jewuła et al., 2022). Положение фигуративных точек глинистых пород всего рассматриваемого нами стратиграфического интервала на диаграмме $Cr/Th-Th/Sc$ примерно такое же, как и глинистых пород сходного возраста Подольского Приднестровья, но есть и некоторые отличия. Так, и глинистые породы волынского времени, и более молодые тонкозернистые обломочные породы сложены в основном продуктами размыва магматических пород кислого состава. Доля основной тонкой алюмосиликокластики в них не превышает 30%, тогда как в глинистых породах редкинско-котлинского региояруса Подольского Приднестровья количество ее достигает и 50%. Аргиллиты волынского стратиграфического уровня в Западной Беларуси и Волыни также сложены преимущественно продуктами размыва кислых магматических пород (рис. 6в). На диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ подавляющее число фигуративных точек глинистых пород волынской, валдайской и балтийской серий сконцентрировано в полях состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых участков современных рек категорий 1 и 2 (рис. 6г). При этом небольшая часть точек расположена и в областях перекрытия указанных полей как с полем состава пелитовой фракции приустьевых частей современных рек категорий 3 (реки, дренирующие террейны, сложенные магматическими и метаморфическими породами), так и с полем 4 (реки, питающиеся продуктами размыва пород вулканических областей). Это позволяет предполагать, что слагающая осадочные толщи венда и нижнего кембрия данного субрегиона тонкая алюмосиликокластика транспортировалась в приемные бассейны как крупными реками и реками, питавшимися продуктами размыва осадочных пород, так и реками, дренировавшими комплексы пород кристаллического фундамента и породы вулканических областей. В качестве последней могла, очевидно, выступать Волынская/Волыньско-Брестская КМП, но, как мы отмечали выше, роль ее не была, вероятно, значительной.

Глинистые породы волынского, редкинско-котлинского стратиграфических уровней венда Восточной Беларуси представлены в нашей выборке 73 результатами РФА и ИСП-МС анализов, заимствованными из работы (Jewuła et al., 2022). На диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3-(Fe_2O_3^*+MgO)/SiO_2$ точки состава аргиллитов волынского времени расположены в основном в области перекрытия полей IV (хлорит-иллитовые глины) и V (хлорит-сметит-иллитовые глины) (рис. 7а). Фигуративные точки глинистых

пород редкинско-котлинского уровней, характеризующихся меньшими значениями $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$, чем волыньские аргиллиты, сосредоточены преимущественно в полях I (преимущественно каолиновые глины), II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины) и V. Так же как и глинистые породы венда и нижнего кембрия других регионов, аргиллиты Восточной Беларуси являются породами первого седиментационного цикла, как это следует из расположения их точек состава на графике $Zr/Sc-Th/Sc$ (рис. 7б). Распределение фигуративных точек аргиллитов волынской и валдайской серий на диаграмме $Cr/Th-Th/Sc$ (рис. 7в) свидетельствует о преобладании в их составе продуктов размыва кислых магматических образований, доля которых превышает, вероятно, 80%. Это сопоставимо с долей такой алюмосиликокластики в глинистых породах венда-нижнего кембрия Юго-Восточной Польши, Литвы и окрестностей г. Санкт-Петербурга. На диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ точки состава глинистых пород волынского этапа расположены в поле состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категории 3 и области перекрытия его с полями такой же фракции донных осадков рек категорий 1 и 2 (рис. 7г). Примерно такое же распределение наблюдается и для фигуративных точек глинистых пород редкинско-котлинского региояруса. Точки котлинских аргиллитов Восточной Беларуси обладают несколько меньшими величинами $(La/Yb)_N$ и вследствие этого в основном присутствуют в полях состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 (крупные реки) и 2 (реки, питающиеся в основном продуктами эрозии осадочных пород). Это хорошо видно по расположению усредненных точек состава аргиллитов всех рассматриваемых нами уровней (рис. 7д).

Ранее уже было установлено, что процессы накопления осадочных толщ волынской, валдайской и балтийской серий на территории Беларуси контролировались преимущественно речными системами, похожими на современные крупные реки и реки, дренирующие осадочные образования (Маслов, Подковыров, 2024). 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 фракций донных осадков приустьевых частей различных категорий современных рек позволило также предположить, что магматические породы основного состава Волынской/Волыньско-Брестской КМП не были источниками существенного объема тонкой алюмосиликокластики.

В Литве рассматриваемый нами стратиграфический интервал представлен преимущественно отложениями котлинского региояруса и нижнего кембрия (Геология..., 1961; Jankauskas et al., 2002;

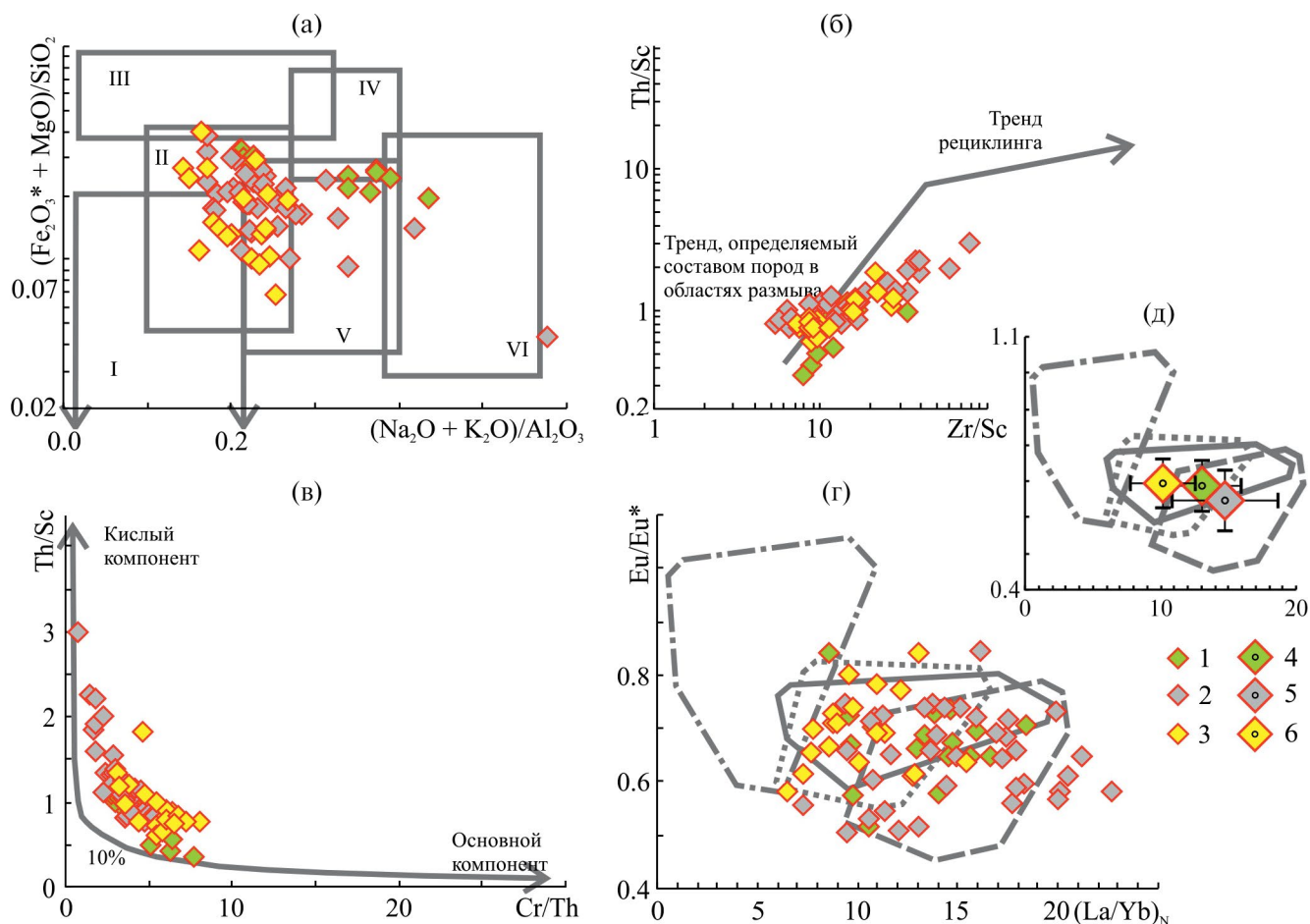


Рис. 7. Положение точек состава глинистых пород венда и нижнего кембрия Восточной Беларуси на диаграммах $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (а), $Zr/Sc - Th/Sc$ (б), $Cr/Th - Th/Sc$ (в), $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (г, д). 1–3 – глинистые породы (1 – волынской серии, 2 – редкинского региояруса, 3 – котлинского региояруса); 4–6 – усредненные точки состава глинистых пород (4 – волынской серии, 5 – редкинского уровня, 6 – котлинского уровня). Остальные условные обозначения см. рис. 4.

Jankauskas, 2002a, 2002b). Менее широко распространены здесь образования волынского и редкинского этапов (рис. 2).

Волынскому этапу в Литве отвечают, по всей видимости, янюшайская и мяркийская (мощность 0–25 м) свиты (Стратиграфические..., 2010), объединяющие кварц-полевошпатовые фангломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и глины (Васильев, 1980; Jankauskas, 2002a). Мяркийская свита рассматривается как совокупность элювиальных, коллювиальных, пролювиальных и частично водных осадков, выполнявших депрессии на поверхности кристаллического фундамента (Сакалаускас, 1968; Палеогеография..., 1980 и др.).

Редкинскому региоярису соответствует рудник-кайская свита (Jankauskas, 2002a; Стратиграфические..., 2010), сложенная внизу красноцветными гравелитистыми полевошпатово-кварцевыми песчаниками с редкими прослоями алевролитов,

а сверху – алевролитами и глинистыми их разностями (Васильев, 1980).

На котлинском этапе формировались красно-бурые мелко- и крупнозернистые пески и песчаники с пропластками глин, толща переслаивания красноцветных глин, алевролитов, аркозовых песков и песчаников и гравелитов, а также серые тонкополосчатые, с пропластками песчаников с карбонатным цементом, глины и пачки переслаивания глин, алевролитов, песков и песчаников, принадлежащие свитам Пагиряй, Скинимай и Вилкишкис (Jankauskas et al., 2002; Jankauskas, 2002a). Мощность котлинских отложений ~140 м.

В разрезах нижнего кембрия (мощность более 90 м) наблюдаются темно-серые глины и алевролиты с пропластками глауконитсодержащих песчаников, пачки песчаников с глауконитом и подчиненными им прослоями глин и алевролитов, голубовато-серые и пестроцветные глины с прослоями кварцевых песчаников, а также песчаники

в чередовании с темно-серыми глинами и алевролитами (Jankauskas, 2002b; Cyziene et al., 2005).

Венд и нижний кембрий Литвы охарактеризован данными о валовом химическом составе 35 образцов глинистых пород. Они получены методами РФА и ИСП МС и заимствованы из публикации (Jewuła et al., 2022). На графике $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ точки состава аргиллитов волынской серии расположены в полях V (хлорит-сметтит-иллитовые глины) и VI (иллитовые со значительной примесью дисперсных полевых шпатов глины) (рис. 8а). Фигуративные точки глинистых пород валдайской серии и нижнего кембрия данного региона сосредоточены в полях I, II и V. В их составе присутствует преимущественно материал первого цикла седиментации (рис. 8б). Доля продуктов размыва основных магматических пород в аргиллитах всех стратиграфических уровней венда и нижнего кембрия Литвы не превышает 20% (рис. 8в). Расположение точек состава глинистых пород волынской серии

на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ предполагает их формирование за счет тонкой алюмосиликокластики, сходной с пелитовой фракцией донных осадков приустьевых частей современных рек категории 4, в то время как фигуративные точки аргиллитов котлинского стратиграфического уровня и нижнего кембрия Литвы локализованы в полях состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1, 2 и 3 (рис. 8г).

В окрестностях г. Санкт-Петербурга к рассматриваемому нами стратиграфическому интервалу принадлежат валдайская и балтийская серии (рис. 2). В основании валдайской серии залегает старорусская свита (мощность 50 м) редкинских горизонтов (Подковыров и др., 2017 и ссылки там). Ее нижняя часть представлена песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов или аргиллитами с линзами глинистых пудинговых песчаников, а верхняя сложена пестроцветными аргиллитами. Накопление старорусской свиты происходило в обстановках

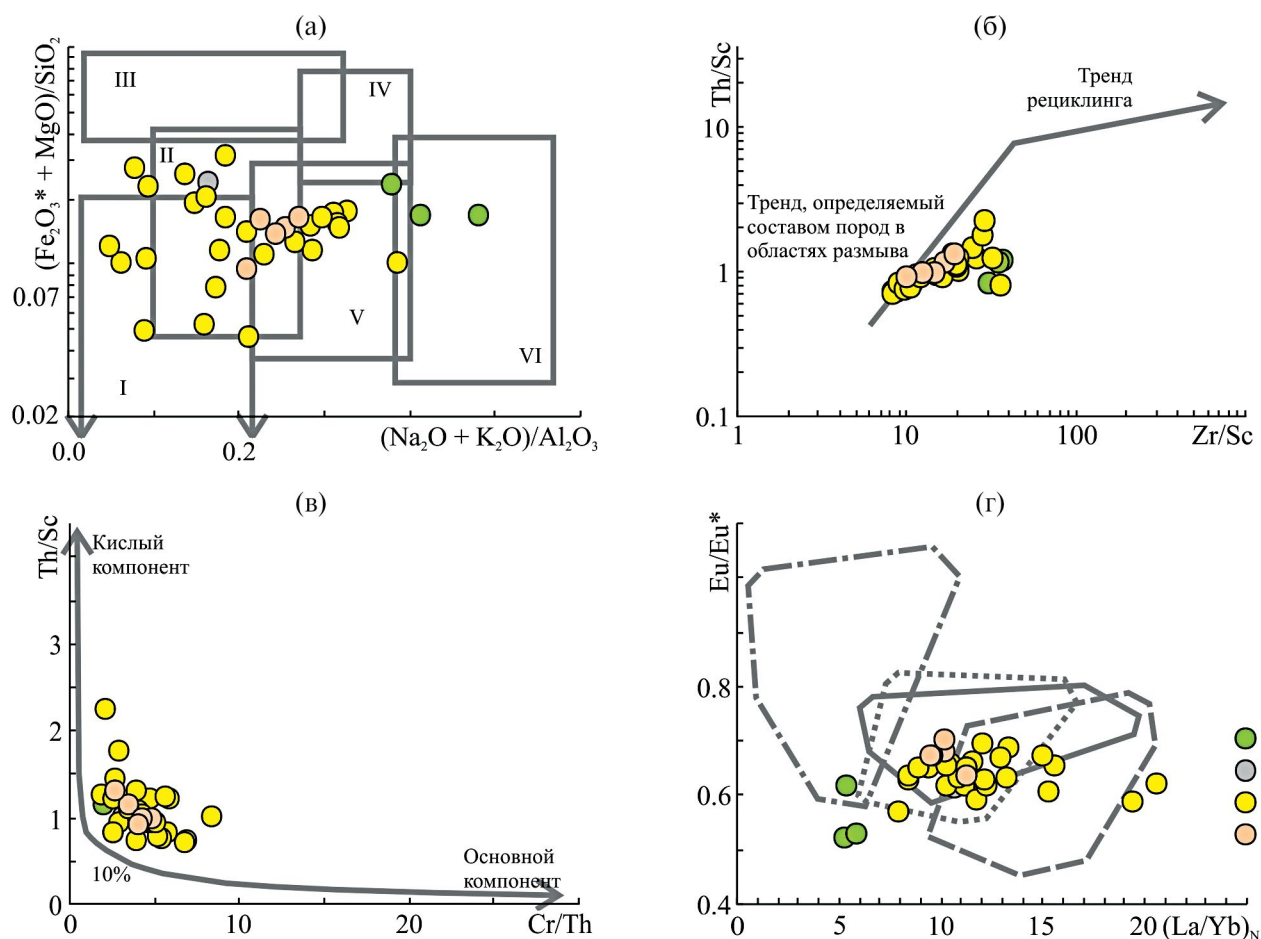


Рис. 8. Положение точек состава аргиллитов венда и нижнего кембрия Литвы на диаграммах $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (а), $Zr/Sc - Th/Sc$ (б), $Cr/Th - Th/Sc$ (в), $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (г).

1 — глинистые породы волынской серии; 2 — глинистые породы редкинских регионов; 3 — аргиллиты котлинского региона; 4 — глинистые породы нижнего кембрия. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

подводных конусов рек, зон слабых течений и волнений морского мелководья (Подковыров, 2010).

Котлинский возраст имеет василеостровская свита (мощность до 170 м), объединяющая буровато- и зеленовато-серые алевроаргиллиты и серые слюдястые песчаники, а также зеленовато- и голубовато-серые ламинаритовые глины с прослоями песчаников (Подковыров и др., 2017). Накопление исходных для них осадков происходило в обстановках циклической миграции фациальных поясов “зона субаэральных и прибрежных морских равнинных отложений—зона слабого волнения и течений—зона застойных депрессий сублиторали” в условиях относительно высокого стояния уровня моря (Подковыров, 2010).

К нижнему кембрию мы, вслед за белорусскими и польскими специалистами, относим воронковскую, ломоносовскую и сиверскую свиты. Воронковская свита (мощность до 15 м) сложена полевошпатово-кварцевыми песчаниками, голубовато- и табачно-серыми аргиллитами, а также песчанистыми алевролитами (Гаген-Торн, 2012). В ее кровле присутствуют ярко-желтые глины с лепидокрокитом. Ломоносовская свита (мощность до 45–50 м) объединяет кварцевые песчаники, алевролиты и зеленовато-серые песчано-алевритистые глины. Сиверская свита (горизонт “синих глин”, мощность 100–130 м) представлена зеленовато- и красновато-серыми глинами с редкими прослоями полевошпатово-кварцевых песчаников и алевролитов.

По данным (Ивлева и др., 2016, 2018), источниками кластики для пород редкинского региояруса являлись архейские и палеомезопротерозойские блоки фундамента, а также нижнерифейские осадочные образования. Породы василеостровской свиты сложены продуктами эрозии как Балтийского щита, так и Тиманского орогена. Но это не единственная точка зрения.

Глинистые породы редкинского, котлинского и нижнекембрийского стратиграфических уровней окрестностей г. Санкт-Петербурга охарактеризованы оригинальными данными 63 химических анализов (метод “мокрой химии”, банк данных PRECSED, ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург) и 48 результатами ИСП МС анализа, выполненного в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). На графике $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ точки состава редкинских аргиллитов расположены в основном в полях I и II (рис. 9а), тогда как фигуративные точки глинистых пород котлинского региояруса и нижнего кембрия — в полях II и V. Локализация точек аргиллитов на диаграмме $\text{Cr}/\text{Th} - \text{Th}/\text{Sc}$ (рис. 9б) дает основание считать, что они, как и глинистые породы большинства рассматриваемых нами регионов, сложены продуктами размытия кислых магматических пород. На диаграмме $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Th}$ точки аргиллитов валдайской и

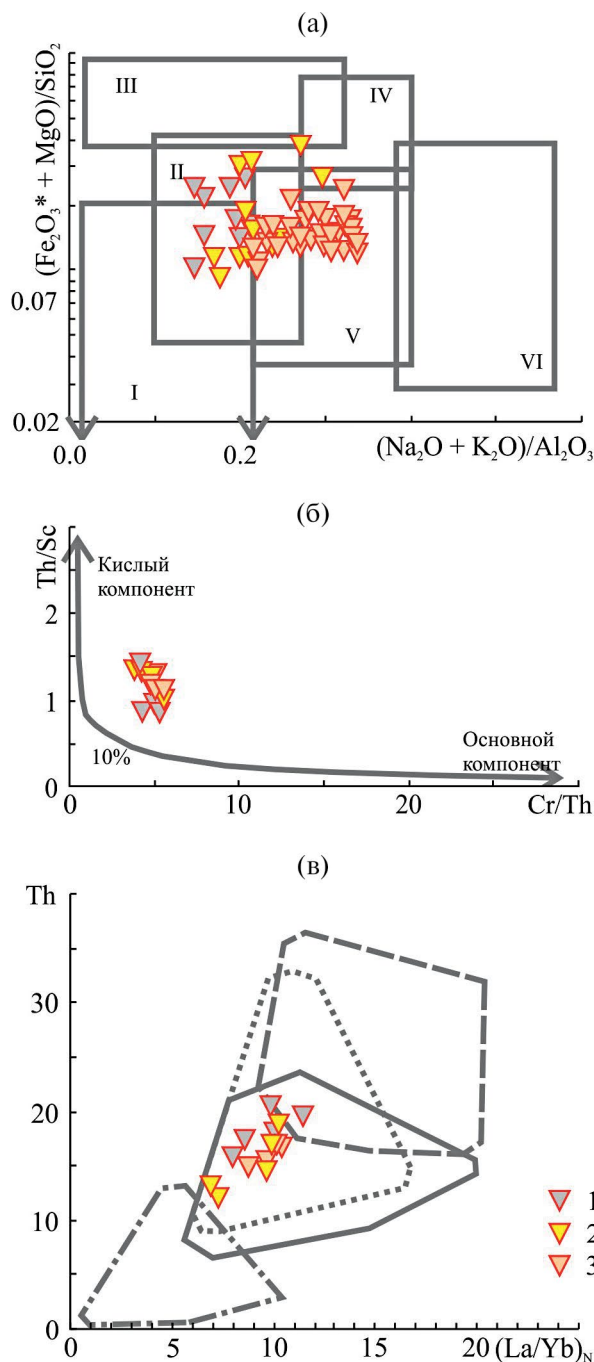


Рис. 9. Распределение фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия окрестностей г. Санкт-Петербурга на диаграммах $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (а), $\text{Cr}/\text{Th} - \text{Th}/\text{Sc}$ (б), $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Th}$ (в).

1 — глинистые породы редкинского региояруса; 2 — аргиллиты котлинского региояруса; 3 — глинистые породы нижнего кембрия. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

балтийской серий находятся в области перекрытия полей состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2 (рис. 9в).

В Юго-Восточном Беломорье к редкинскому региоярусу относятся лямийская, верховская

и зимнегорская свиты, к котлинскому региоярсу принадлежит ергинская свита, а раннекембрийский возраст имеет падунская серия (рис. 2) (Алексеев и др., 2005; Гражданкин, Маслов, 2015; Кузнецов и др., 2015). Редкинский стратиграфический уровень (мощность до 500 м) представлен здесь циклическим чередованием пачек тонкослоистых глин и пакетов тонкого переслаивания глин и алевролитов с прослоями светло-серых песчаников, песчаниками и пачками тонкого переслаивания алевролитов и глин, гравелитами и конгломератами, шоколадно-коричневыми глинами с вулканическими туфами и фиолетово-серыми песчаниками. Ергинская свита (мощность до 150 м) объединяет толщу чередования аргиллитов, алевролитов и желтовато-серых песчаников и пестроцветные алевролиты и глины с пластами песчаников. Падунская серия (мощность ~400 м) сложена преимущественно красноцветными песчаниками и глинистыми породами. По данным

(Гражданкин, 2003), формирование осадочных толщ венда Юго-Восточного Беломорья произошло на приустьевом взморье при наступании на последнее дельтовой системы со стороны Канино-Тиманского складчатого пояса.

Глинистые породы редкинского и котлинского уровней Юго-Восточного Беломорья охарактеризованы данными 67 анализов, выполненных методами “мокрой химии” и РФА (банк данных PRECSED, ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург), и 33 анализов, выполненных методом ИСП МС (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). На диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ фигуративные точки аргиллитов указанных стратиграфических уровней расположены почти исключительно в поле V (хлорит-сметит-иллитовые глины) (рис. 10а). Сложены они, как и глинистые породы венда других регионов, материалом первого седиментационного цикла (рис. 10б). В составе редкинских аргиллитов присутствует несколько большее количество

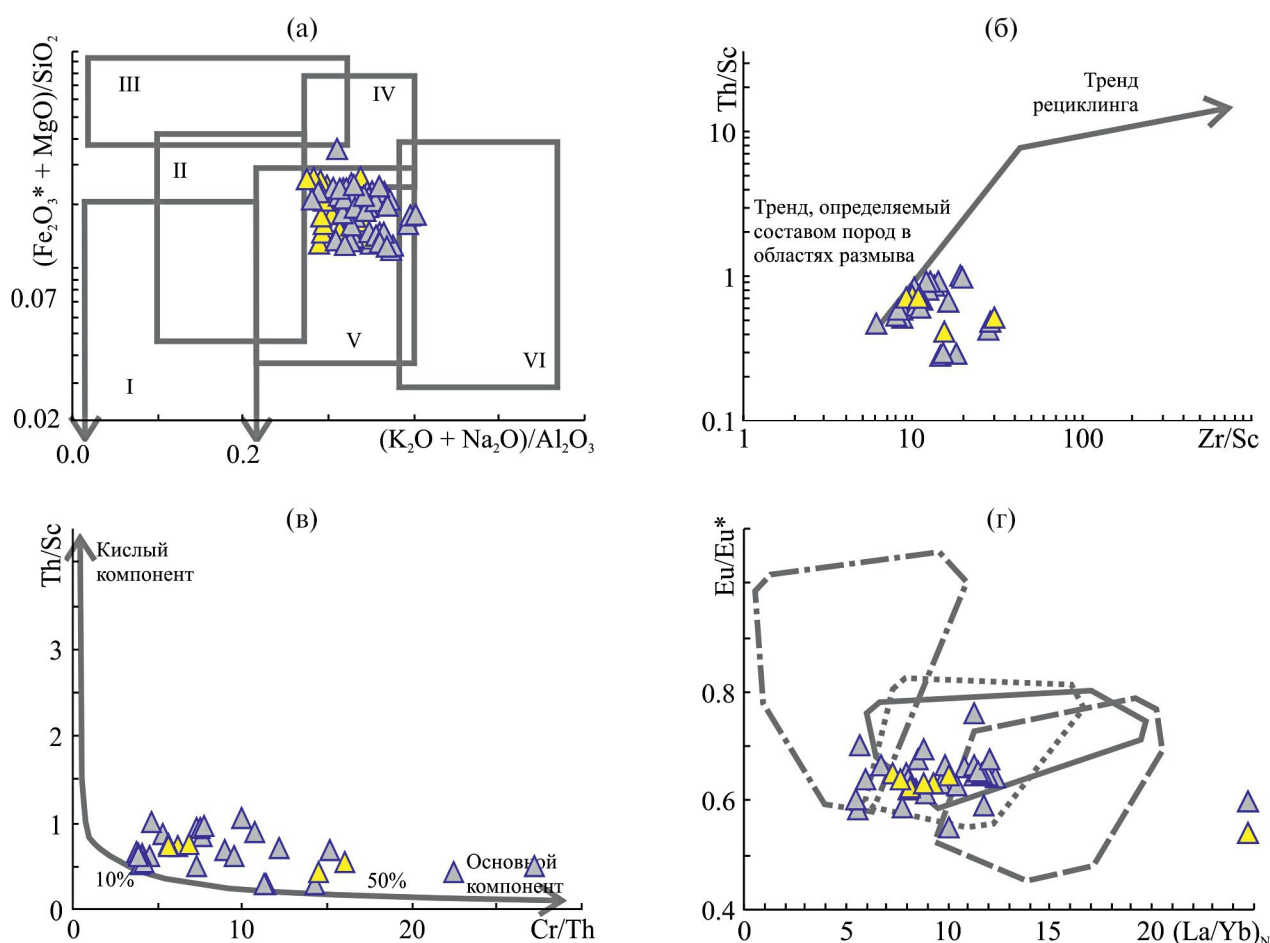


Рис. 10. Положение точек состава аргиллитов венда Юго-Восточного Беломорья на диаграммах $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (а), $Zr/Sc - Th/Sc$ (б), $Cr/Th - Th/Sc$ (в), $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (г).

1 — аргиллиты редкинского региояруса; 2 — аргиллиты котлинского региояруса. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

продуктов размыва основных магматических пород, чем в котлинских аргиллитах (рис. 10в). На диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ фигуративные точки и тех и других сконцентрированы в полях состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2 (рис. 10г). Это предполагает, что осадочные последовательности верхнего венда данного региона формировались за счет материала, транспортировавшегося в приемный бассейн реками, имевшими значительную площадь водосборов. Последнее были сложены либо достаточно разнообразным комплексом пород, либо преимущественно осадочными образованиями. Относительно положения водосборов единая точка зрения у исследователей отсутствует. В публикациях (Гражданкин, 2003; Маслов и др., 2009) основной питающей провинцией для осадочных толщ венда Юго-Восточного Беломорья считается Тиманский ороген. В работах (Кузнецов и др., 2014, 2015) высказано предположение о том, что в венде названный ороген источником кластиков не являлся.

На территории **Арктической Норвегии** (п-ов Дигермулен, район Танафьорда) криогениево-раннекембрийский возраст имеет серия Вестертана, объединяющая формации Смальфьорд, Ньюборг, Мортенсенес, Стахпогедди и Брейдвика (Meinhold et al., 2022 и ссылки там). Формации Смальфьорд и Мортенсенес сложены гляциальными отложениями. Формация Смальфьорд сопоставляется с гляциопериодом Марино, а формация Мортенсенес — с оледенением Гаскье (Rice et al., 2011; Rooney et al., 2015; Shields-Zhou et al., 2016). Иная точка зрения высказана в публикации (Kumpulainen et al., 2021). Формация Стахпогедди подразделяется на толщи Лиллеваннет, Индрилва и Мандрапсельва. Этот стратон объединяет глинистые породы, алевролиты, полевошпатовые, субаркозовые и кварцевые песчаники и иногда конгломераты (в толще Мандрапсельва есть карбонатные прослои и конкреции) и представлен трансгрессивной последовательностью отложений от флювиальных внизу до типично морских (турбидитовых) вверху (Banks et al., 1971; Banks, 1973). Формация Брейдвика также сложена морскими образованиями (Banks et al., 1971). В породах формаций Ньюборг и Мортенсенес и толще Лиллеваннет индикаторы палеотечений ориентированы на северо-запад и север, в породах толщи Индрилва на восток, а в более молодых отложениях — на юго-запад. Ископаемые эдиакарского типа впервые появляются у подошвы толщи Индрилва (McIlroy, Brasier, 2017; Agic et al., 2022). Граница эдиакария и кембрия проводится примерно в средней части толщи Мандрапсельва (Ebbestad et al., 2022 и др.). Соответственно, мы условно сопоставляем формации Ньюборг и Мортенсенес с довалдайским, толщи Лиллеваннет и Индрилва — с редкинским, а нижнюю часть толщи

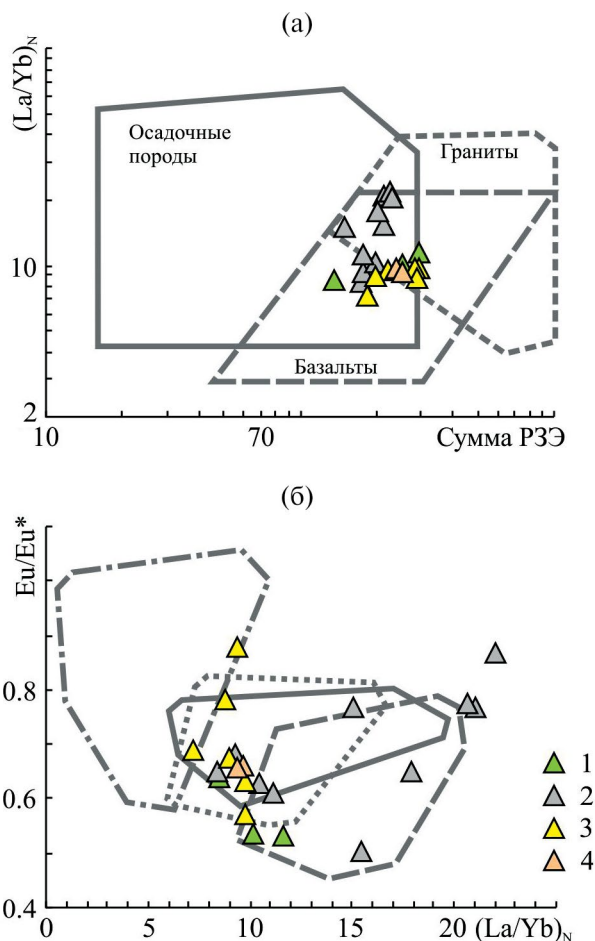


Рис. 11. Положение фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Арктической Норвегии на диаграммах $РЗЭ - (La/Yb)_N$ (а) и $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (б).

1 — довалдайские аргиллиты; 2 — глинистые породы редкинско-го региона; 3 — глинистые породы котлинского региона; 4 — аргиллиты нижнего кембрия. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

Мандрапсельва — с котлинским стратиграфическими уровнями (рис. 2).

Возраст обломочного циркона в песчаниках формации Ньюборг, обнаженных на полуострове Варангер, в основном отвечает 2.0–1.85 млрд лет, подчиненную роль играют кристаллы с возрастом 3.0–2.5 млрд лет (Roberts, Siedlecka, 2012). Это указывает на расположение основного источника сноса в пределах Свекофеннской провинции. Второстепенным источником могла являться Карелия (Meinhold et al., 2022 и ссылки там). Обломочный циркон из песчаников толщи Мандрапсельва, обнажающихся непосредственно южнее п-ва Дигермулен, обладает преимущественно возрастом ~554 млн лет. Кроме того, в составе данной популяции есть циркон с возрастом от 1620 до 930 млн лет и ряд зерен с возрастом ~645 млн лет (Zhang et al., 2015). Расположенные у границы Финляндии

и Норвегии нижнекембрийские песчаники серии Дивидален содержат обломочный циркон с эдиакарским возрастом, зерна с возрастными от ~2000 до 1000 млн лет и несколько кристаллов архейского возраста (Andresen et al., 2014). Все сказанное дает основание предполагать, что источниками кластики для песчаников толщи Мандрапсельва и серии Дивидален являлись как комплексы пород Свекофеннской провинции, так и магматические породы Тиманского орогена (Andresen et al., 2014; Zhang et al., 2015).

Для довалдайских и валдайских, а также нижнекембрийских глинистых пород Арктической Норвегии в нашем распоряжении имеется всего 19 результатов ИСП МС анализа (только содержание РЗЭ), приведенных в работе (Meinhold et al., 2022). На диаграмме РЗЭ— $(La/Yb)_N$ (Yan et al., 2012) фигуративные точки глинистых пород п-ва Дигермулен сконцентрированы в области перекрытия полей осадочных образований, гранитов и базальтов (рис. 11а). Какого-либо определенного вывода из такого их распределения сделать, к сожалению, невозможно. На диаграмме $(La/Yb)_N$ — Eu/Eu^* точки довалдайских и редкинских глинистых пород можно видеть как в поле составов пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек категории 3 (реки, питающиеся продуктами эрозии магматических и метаморфических террейнов), так и в полях пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных крупных рек и рек, транспортирующих продукты эрозии преимущественно осадочных пород (рис. 11б). Точки состава аргиллитов котлинского региона и нижнего кембрия, напротив, сосредоточены в области перекрытия полей пелитовой фракции донных осадков современных рек категорий 1 и 2. Сказанное позволяет предполагать, что в данном регионе с течением времени имело место некоторое снижение продуктов эрозии кристаллических пород в общей доли поступавшей в область осадконакопления тонкой алюмосиликокластики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом формирование отложений венда и нижнего кембрия в рассматриваемых в данной работе регионах происходило в аллювиальных конусах, русловых и пойменных зонах, на приливно-отливных равнинах, а также в прибрежно-морских и мелководно-морских обстановках (открытые части крупных заливов, верхний шельф и т.п.). В волынское время на значительной части юго-запада, запада и северо-запада Восточно-Европейской платформы преобладали континентальные условия. В монографиях (Палеогеография..., 1980; Rozanov, Łydka, 1987) для этого времени намечено три области осадконакопления: 1) вулканическая область; 2) область с широким

участием пирокластики; 3) область с незначительным участием пирокластики или ее отсутствием. Для первой были типичны базальтовые плато и вулканические горы, а также долины и депрессии с мелководными водоемами. Продукты эрозии частично накапливались у подножий вулканических гор, а частично выносились реками и морскими течениями за пределы данной области. Область распространения туфов, туффов и других туфогенных пород примыкала к вулканической области с севера и северо-востока.

Наши данные о распределении фигуративных точек глинистых пород волынского времени на диаграмме $(La/Yb)_N$ — Eu/Eu^* с полями состава пелитовой фракции донных осадков приустьевых частей современных рек различных категорий позволяют считать, что для Литвы и Подольского Приднестровья питающими провинциями в это время являлись, в том числе, и палеоводосборы, сложенные вулканическими образованиями. Для Восточной Беларуси и Юго-Восточного Беломорья ощутимо влияние продуктов размыва, поставлявшихся реками, протекавшими по магматическим/метаморфическим террейнам, другими словами, по кристаллическому фундаменту ВЕП (рис. 12). Вместе с тем значительную долю обломочного материала для осадочных последовательностей волынского этапа поставляли в области осадконакопления, существовавшие во всех рассматриваемых нами регионах, реки, дренировавшие палеоводосборы, сложенные осадочными образованиями, и крупные реки. Присутствие уже на этом этапе развития территории запада ВЕП последних подтверждается и фактом наличия в породах формации Жуков Юго-Восточной Польши обломочного циркона, заимствованного из пород Фенноскандии (Habryn et al., 2020), т.е. транспортировавшегося более чем на 2000 км.

Для валдайского этапа в целом на юго-западе, западе и северо-западе ВЕП характерно преобладание морских обстановок осадконакопления. В это время здесь существовал обширный эпиконтинентальный бассейн, границами которого являлись возвышенные Балтийский и Белорусско-Мазурский острова и сглаженный Сарматский остров. Основным источником обломочного материала в редкинское время считается Белорусско-Мазурский остров/шит; к северо-западу от него располагались второстепенные источники (локальные поднятия фундамента — Ассамалла, Ульсте, Манысте и др.). Для Волыно-Подоллии в качестве источников кластики предполагались и породы Волинской/Волинско-Брестской КМП (Палеогеография..., 1980; Rozanov, Łydka, 1987). Континентальные отложения элювиально-делювиальных конусов выноса временных потоков и рек в это время характерны для Литвы, Западной Беларуси и Волини, а на территории Польши преобладал размыв ранее

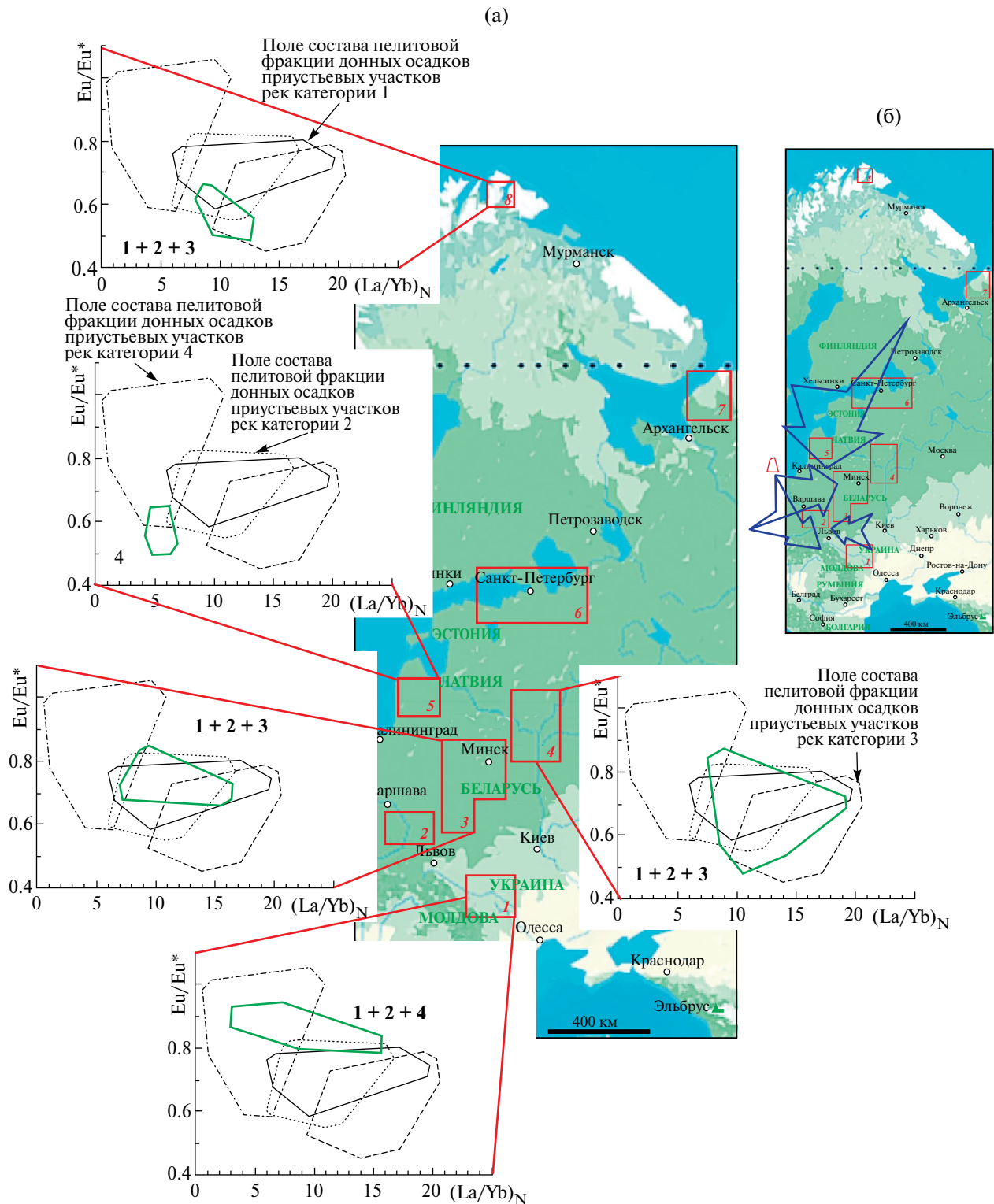


Рис. 12. Распределение полей глинистых пород различных регионов запада Восточно-Европейской платформы (волинское время) на диаграмме $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* (а) и предполагаемые, по данным о возрасте популяций обломочного циркона, направления транспортировки кластики (синие стрелки) по (Paszowski et al., 2019, 2021; Francovschi et al., 2023), с упрощениями (б).

Полужирным шрифтом на графиках обозначены категории рек (расшифровку см. в тексте). Условные обозначения см. рис. 1.

накопившихся образований (Палеогеография..., 1980; Rozanov, Łydk, 1987).

Положение фигуративных точек глинистых пород редкинское времени на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ с полями состава пелитовых фракций донных осадков приустьевых частей различных категорий современных рек показывает, что наряду с крупными реками и реками, питавшимися продуктами размыва осадочных образований, транспортировка кластики в области седиментации осуществлялась также реками, дренировавшими магматические и метаморфические породы кристаллического фундамента (реки категории 3) (это свойственно Беларуси и Волыни, Юго-Восточному Беломорью и Арктической Норвегии), и реками, протекавшими по районам распространения вулканических ассоциаций (реки категории 4) (Подольское Приднестровье).

Области размыва в начале котлинского этапа оставались примерно теми же, что и в редкинское время (Палеогеография..., 1980; Rozanov, Łydk, 1987). Распределение фигуративных точек глинистых пород котлинского этапа различных регионов запада ВЕП на графике $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (рис. 13) показывает, что основными агентами транспортировки тонкой алюмосиликокластики в приемные бассейны в это время являлись крупные реки и реки, питавшиеся тонкой взвесью за счет размыва преимущественно осадочных образований. Этот полученный при анализе геохимических характеристик глинистых пород вывод подтверждается и данными о возрасте популяций обломочного циркона в песчаниках котлинской свиты Беларуси (Paszkowski et al., 2019). Последние характеризуются двумя максимумами на кривой относительной вероятности возрастов — $\sim 1.54-1.50$ и $\sim 1.84-1.80$ млрд лет. Такой циркон широко представлен в породах Сарматии, Фенноскандинавии и о-ва Борнхольм, т.е. и в котлинское время кластика для формирования осадочных последовательностей венда транспортировалась на расстояние до 2000 км. Для Подольского Приднестровья на данном этапе можно предполагать привнос материала из областей, сложенных, в том числе, и вулканическими породами, а для Литвы возможно также поступление тонкой алюмосиликокластики за счет эрозии комплексов пород кристаллического фундамента.

В раннем кембрии имела место в основном спокойная морская трансгрессия. Снос кластики в северо-западную (в современных координатах) часть бассейна шел предположительно с запада, а в южную часть обломочный материал поступал, по всей видимости, и с Украинского щита (Палеогеография..., 1980; Rozanov, Łydk, 1987 и др.). Данные исследования возрастов обломочного циркона дают основание предполагать мобилизацию кластики в начале кембрия также за

счет эрозии Тиманского орогена и Скифского террейна (Paszkowski et al., 2019 и ссылки там). Суша этого времени была сложена, по всей видимости, не только кристаллическими породами, но и осадочными (в том числе глинистыми) образованиями. Это хорошо видно и по особенностям распределения на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ полей состава глинистых пород нижнего кембрия таких регионов, как Юго-Восточная Польша, Беларусь, Волынь и Арктическая Норвегия. Такой же вывод, исходя из распределения фигуративных точек на диаграмме $(La/Yb)_N - Th$, можно сделать для аргиллитов нижнего кембрия окрестностей г. Санкт-Петербурга. Все сказанное находится в достаточно хорошем соответствии с установленным ранее постепенным ростом вклада продуктов эрозии осадочных образований в формирование осадочных последовательностей пограничного верхнедокембрийско-фанерозойского интервала на западе ВЕП.

Естественно, мы далеки от того, чтобы считать приведенные выше данные и результаты их обсуждения истиной в последней инстанции. Это всего лишь новый взгляд на ряд аспектов формирования осадочных последовательностей венда/эдикария и раннего кембрия на юго-западе, западе и северо-западе Восточно-Европейской платформы, но мы надеемся, что он в чем-то может быть всем нам полезен. Очевидно также, что напрямую никакие из обсуждаемых геохимических параметров не могут быть использованы для корреляции венд-кембрийских отложений рассматриваемых нами регионов запада ВЕП, но представленные в работе соображения очерчивают ряд рамок, которые, несомненно, будут полезны при такого рода исследованиях. В этом отношении нам представляется весьма симптоматичным совпадение представлений, полученных на основе фациальных и седиментологических исследований, о существовании в венде на части рассматриваемой нами территории крупных эстуариев, связанных, очевидно, с крупными речными системами, данных о далеком (до 2000 км) переносе кластики, в том числе обломочного циркона, также, очевидно, осуществлявшемся крупными реками, и выводов о преимущественном формировании осадочных последовательностей венда и раннего кембрия юго-запада, запада и северо-запада ВЕП за счет алюмосиликокластики, транспортировавшейся в конечные водоемы стока реками категорий 1 (крупные реки) и 2.

Благодарности. Авторы искренне признательны рецензентам, замечания и советы которых способствовали существенному улучшению рукописи. Мы благодарны также А.В. Дронову за помощь в подборе необходимых литературных материалов.

Источники финансирования. Исследования проведены в рамках госзадания ГИН РАН (тема

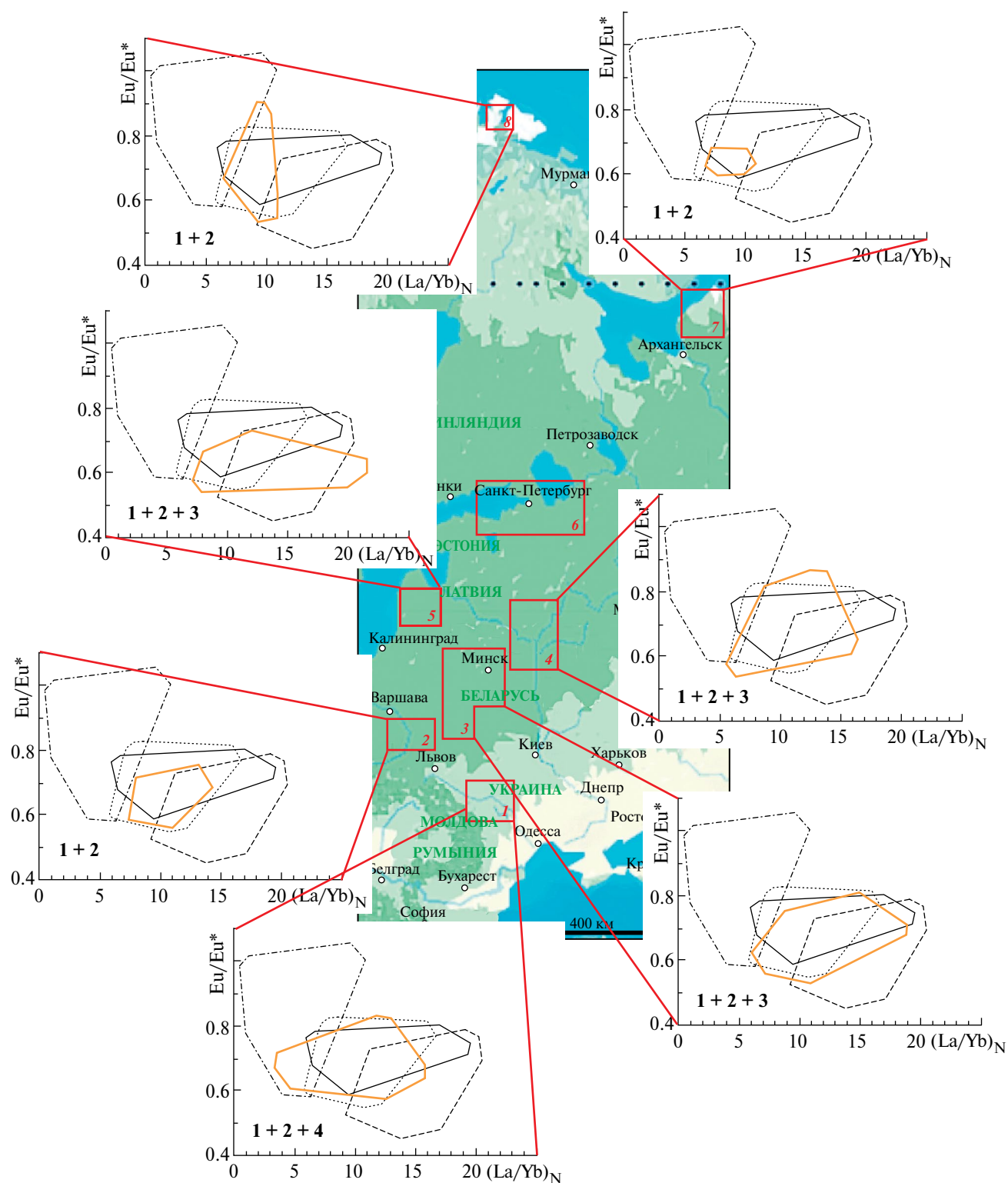


Рис. 13. Распределение полей глинистых пород котлинского времени на диаграмме $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* . Условные обозначения см. рис. 1 и 12.

FMMG-2023-0004, постановка проблемы, поиск и обобщение аналитических данных по зарубежным регионам и их анализ) и ИГГД РАН (тема FMUW-2021-0003, подбор необходимых аналитических данных по российским регионам, их систематизация и анализ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенов Е.М. Венд Восточно-Европейской платформы // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука, 1985. С. 3–34.
- Алексеев А.С., Гражданкин Д.В., Реймерс А.Н., Минченко Г.В., Краюшкин А.В., Ларченко В.А., Ушаков В.Н., Степанов В.П. Новые данные о верхнем пределе возраста рудомещающей толщи Архангельской алмазносной провинции // Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 235–241.
- Васильев В.А. Литологические особенности вендских отложений Литвы // Литология и полезн. ископаемые. 1980. № 2. С. 61–68.
- Великанов В.А. Стратиграфия верхнедокембрийских образований юго-западного склона Украинского щита // Палеонтология и стратиграфия верхнего докембрия и нижнего палеозоя юго-запада Восточно-Европейской платформы. Киев: Наукова думка, 1976. С. 15–40.
- Великанов В.А. Опорный разрез венда Подолии // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука, 1985. С. 35–67.
- Великанов В.А., Мельничук В.Г. Оновлені стратиграфічні схеми нижнього і верхнього венду України // Геол. журн. 2014. № 4. С. 43–56.
- Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. Отв. ред. Соколов Б.С., Федонкин М.А. М.: Наука, 1985. 238 с.
- Гаген-Торн О.Я. Строение пограничных вендско-кембрийских отложений глинтавой области южного берега Финского залива // Палеозой России. Материалы II Всероссийского совещания. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. С. 58–60.
- Геология СССР. Т. XXXIX. Литовская ССР. Геологическое описание и полезные ископаемые. Отв. ред. Антропов П.Я. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 375 с.
- Геология Беларуси. Отв. ред. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- Гражданкин Д.В. Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-Восточном Беломорье // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11. № 4. С. 3–34.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В. Место венда в международной стратиграфической шкале // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 4. С. 703–717.
- Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В. Котлинский горизонт на Южном Урале // Докл. АН. 2011. Т. 440. № 2. С. 201–206.
- Ивлева А.С., Подковыров В.Н., Ершова В.Б., Анфинсон О., Худолей А.К., Федоров П.В., Маслов А.В., Здобин Д.Ю. Результаты U–Pb (LA ICP MS)-датирования обломочных цирконов из верхневендско-нижекембрийских отложений востока Балтийской моноклизы // Докл. АН. 2016. Т. 468. № 4. С. 441–446.
- Ивлева А.С., Подковыров В.Н., Ершова В.Б., Хубанов В.Б., Худолей А.К., Сычев С.Н., Вдовина Н.И., Маслов А.В. U–Pb LA-ICP-MS-возраст обломочных цирконов из отложений нижнего рифея и верхнего венда Лужско-Ладожской моноклинали // Докл. АН. 2018. Т. 480. № 4. С. 439–443.
- Интерпретация геохимических данных. Отв. ред. Складчиков Е.В. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А., Романюк Т.В., Реймерс А.Н., Цельмович В.А. Тестирование моделей поздневендской эволюции северо-восточной периферии Восточно-Европейской платформы на основе первых результатов изотопного U/Pb-датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из верхневендских песчаников Юго-Восточного Беломорья // Докл. АН. 2014. Т. 458. № 3. С. 313–317.
- Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А., Романюк Т.В., Реймерс А.Н. Первые результаты изотопного U/Pb-датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из нижекембрийских песчаников брусовской свиты Юго-Восточного Беломорья: уточнение времени коллизии Балтики и Арктиды // Докл. АН. 2015. Т. 460. № 3. С. 310–314.
- Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы. Среднее Приднестровье и Волынь. Отв. ред. Иванцов А.Ю. М.: ПИН РАН, 2015. 144 с.
- Маслов А.В. К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 28–36.
- Маслов А.В. Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений серебрянской и сылвицкой серий венда (Средний Урал) // Литосфера. 2020. Т. 20. № 6. С. 751–770.
- Маслов А.В., Мельничук О.Ю. Существуют ли ограничения при реконструкции категорий рек, связанные с появлением высшей растительности? // Литология и полезн. ископаемые. 2023. № 1. С. 69–95.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей венда северной и восточной частей Восточно-Европейской платформы // Литология и полезн. ископаемые. 2021а. № 1. С. 3–27.

- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Метаалевропелиты раннего докембрия: РЗЭ-Th-систематика как ключ к реконструкции источников слагающей их тонкой алюмосиликоккластики // Литология и полезн. ископаемые. 2021б. № 3. С. 216–242.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Источники тонкой алюмосиликоккластики для венд-нижнекембрийских отложений Подольского Приднестровья: синтез литогеохимических данных // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 3. С. 3–24.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Категории рек, сформировавших осадочные последовательности венда и нижнего кембрия запада Восточно-Европейской платформы (по данным литогеохимии) // Литология и полезн. ископаемые. 2024. В печати.
- Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. 2019. Т. 64. № 1. С. 59–78.
- 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. Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского форландового бассейна Тиманского орогена // Геохимия. 2009. № 12. С. 1294–1318.
- Маслов А.В., Школьник С.И., Летникова Е.Ф., Вишневская И.А., Иванов А.В., Страховенко В.Д., Черкашина Т.Ю. Ограничения и возможности литогеохимических и изотопных методов при изучении осадочных толщ. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2018. 383 с.
- 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., Лапцевич А.Г., Пискун Л.В. Стратиграфическая схема вендских отложений Беларуси // Литасфера. 2005. № 1 (22). С. 36–43.
- Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. Отв. ред. Келлер Б.М., Розанов А.Ю. М.: Наука, 1980. 118 с.
- Подковыров В.Н. Литологические и геохимические тренды в верхневендских осадочных последовательностях запада Московской синеклизы // Актуальные вопросы литологии. Материалы 8-го Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 246–247.
- Подковыров В.Н., Маслов А.В., Кузнецов А.Б., Еришова В.Б. Литостратиграфия и геохимия отложений верхнего венда—нижнего кембрия северо-востока Балтийской моноклинали // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25. № 1. С. 3–23.
- Сакалаускас В.Ф. Венд Литвы // Стратиграфия нижнего палеозоя и корреляция с другими регионами. Вильнюс: Минтис, 1968. С. 9–18.
- 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.
- Соколов Б.С. Венд: принципы обособления, границы и место в шкале // Стратиграфия верхнего протерозоя СССР. Рифей и венд. Л.: Наука, 1979. С. 42–61.
- Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси. Объяснительная записка. Минск: ГП “БелНИГРИ”, 2010. 282 с.
- Стратиграфия верхнедокембрийских и кембрийских отложений запада Восточно-Европейской платформы. Отв. ред. Келлер Б.М., Розанов А.Ю. М.: Наука, 1979. 236 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Agic H., Hogstrom A.E.S., Jensen S., Ebbestad J.O.R., Vickers-Rich P., Hall M., Matthews J.J., Meinhold G., Høyberget M., Taylor W.L. Late Ediacaran occurrences of the organic-walled microfossils *Granomarginata* and flask-shaped *Lagoenafoma collaris* gen. et sp. nov. // Geol. Mag. 2022. V. 157. P. 1071–1092. <https://doi.org/10.1017/S0016756821001096>.
- Andresen A., Agyei-Dwarko N.Y., Kristoffersen M., Hanken N.-M. A Timanian foreland basin setting for the Late Neoproterozoic–Early Palaeozoic cover sequences (Dividal Group) of northeastern Baltica // New perspectives on the Caledonides of Scandinavia and related Areas. Eds. Corfu F., Gasser D., Chew D.M. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2014. V. 390. P. 157–175.
- Banks N.L. Innerelv Member: Late Precambrian marine shelf deposit, east Finnmark // Norg. Geol. Undersøkelse. 1973. V. 288. P. 7–25.
- Banks N.L., Edwards M.B., Geddes W.P., Hobday D.K., Reading H.G. Late Precambrian and Cambro-Ordovician sedimentation in East Finnmark // Norg. Geol. Undersøkelse. 1971. V. 269. P. 197–236.
- Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17–38.
- 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.
- Bracciali L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins // Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry. Eds. Arribas J., Critelli S.,

- Johnsson M.J. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2007. V. 420. P. 73–93.
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A. The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // Earth Planet. Sci. Lett. 1990. V. 97. P. 256–267.
- Cyziene J., Sliupa S., Lazauskiene J., Baliukevicius A., Satkunas J. Characterization of the Lower Cambrian Blue Clays for deep geological disposal of radioactive waste in Lithuania // Geologija. Vilniaus Universitetas. 2005. № 52. P. 11–21.
- Ebbestad J.O.R., Hybertsen F., Hogstrom A.E.S., Jensen S., Palacio T., Taylor W.L., Agic H., Høyberget M., Meinhold G. Distribution and correlation of Sabellidites cambriensis (Annelida?) in the basal Cambrian on Baltica // Geol. Mag. 2022. V. 159. P. 1262–1283. <https://doi.org/10.1017/S0016756821001187>.
- Francovschi I., Shumlyanskyy L., Soesoo A., Tarasko I., Melnychuk V., Hoffmann A., Kovalick A., Love G., Bekker A. U–Pb geochronology of detrital zircon from the Ediacaran and Cambrian sedimentary successions of NE Estonia and Volyn region of Ukraine: implications for the provenance and comparison with other areas within Baltica // Precambrian Res. 2023. V. 392. 107087.
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. Ed. Lentz D.R. Geol. Assoc. Canada. 2003. GeoText 4. 184 p.
- Grytsenko V.P. Diversity of the Vendian fossils of Podillia (Western Ukraine) // GEO&BIO, National Natural History Museum, NAS of Ukraine. 2020. V. 19. P. 3–19.
- 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.
- Jankauskas T. Lithostratigraphic subdivision of the Vendian deposits in Lithuania // The Fifth Baltic Stratigraphical Conference “Basin Stratigraphy – Modern Methods and Problems”, September 22–27, 2002, Vilnius, Lithuania. Extended Abstracts. Vilnius, 2002a. P. 68–70.
- Jankauskas T. Cambrian Stratigraphy of Lithuania (Lietuvos kambro sistemos stratigrafija). Ed. Paškevičius J. Vilnius: Institute of Geology of Lithuania, Vilnius University, 2002b. 249 p.
- Jankauskas T., Sakalauskas V., Dliaupa S. Lietuvos vendas (Vendian of Lithuania). Red. Paškevičius J. Vilnius: Lietuvos geologijos institutas, Vilniaus universitetas, Lietuvos geologijos tarnyba, 2002. 84 p.
- Jewuła K., Środoń J., Kędzior A., Paszkowski M., Liivamägi S., Goryl M. 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.
- Krzemińska E., Poprawa P., Paczeńska J., Krzeminski L. From initiation to termination: the evolution of the Ediacaran Volyn large igneous province (SW East European Craton) constrained by comparative geochemistry of proximal tuffs versus lavas and zircon geochronology // Precambrian Res. 2022. V. 370. 106560.
- Kumpulainen R.A., Hamilton M.A., Soderlund U., Nystuen J.P. U–Pb baddeleyite age for the Ottfjället Dyke Swarm, central Scandinavian Caledonides: new constraints on Ediacaran opening of the Iapetus Ocean and glaciations on Baltica // GFF. 2021. V. 143. P. 40–54.
- Kuzmenkova O.F., Shumlyanskyy L.V., Nosova A.A., Voskoboinikova T.V., Grakovich I.Y. 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., Gerdes A., Stanek J.J., Williams L., Szczerba M. 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., Stanek J.J., Roberts N.M.W. 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. 106327.
- McIlroy D., Brasier M.D. Ichnological evidence for the Cambrian explosion in the Ediacaran to Cambrian succession of Tanafjord, Finnmark, northern Norway // Earth System Evolution and Early Life: A Celebration of the Work of Martin Brasier. Eds. Brasier A.T., McIlroy D., McLoughlin N. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2017. V. 448. P. 351–368.
- McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Eds. Lipin B.R., McKay G.A. Rev. Mineral. Geochem. 1989. V. 21. № 1. P. 169–200.
- McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T., Maynard J.B. Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations // Geochim. Cosmochim. Acta. 1990. V. 54. P. 2015–2050.
- McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics // Processes controlling the composition of clastic sediments. Eds. Johnsson M.J., Basu A. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 1993. № 284. P. 21–40.
- Meinhold G., Willbold M., Karius V., Jensen S., Agic H., Ebbestad J.O.R., Palacios T., Hogstrom A.E.S., Høyberget M., Taylor W.L. Rare earth elements and neodymium and strontium isotopic constraints on provenance switch and post-depositional alteration of fossiliferous Ediacaran and lowermost Cambrian strata from Arctic Norway // Precambrian Res. 2022. V. 381. 106845.
- Moczyłowska M. New records of late Ediacaran microbiota from Poland // Precambrian Res. 2008. V. 167. P. 71–92.
- Paczeńska J. The evolution of late Ediacaran riverine-estuarine system in the Lublin–Podlasie slope of the East

- European Craton, southeastern Poland // Polish Geol. Institute Spec. Pap. 2010. № 27. 96 p.
- Paczeńska J.* Lithostratigraphy of the Ediacaran deposits in the Lublin-Podlasie sedimentary basin (Eastern and South-Eastern Poland) (Litostratygrafia utworów Ediakaru w Lubelsko-Podlaskim basenie sedymentacyjnym (Wschodnia i Południowo-Wschodnia Polska)) // Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. 2014. № 460. P. 1–24.
- Paczeńska J., Poprawa P.* Eustatic versus tectonic control on development of the Neoproterozoic and Cambrian stratigraphic sequences of the Lublin-Podlasie Basin (SW margin of Baltica) // Geosciences J. 2005. V. 9. P. 117–127.
- Paczeńska J., Krzeminska E., Moczydłowska-Vidal M.* Profil litologiczno-stratygraficzny według rdzeni i pomiarów geofizycznych. Ediakar // Łopiennik IG 1. Profile Głębokich Otworów. Ed. Paczeńska J. Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. 2008. V. 123. P. 58–62.
- Paszkowski M., Budzyn B., Mazur S., Slama J., Shumlyanskyy L., Środoń J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamägi S., Pisarzowska A.* 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., Slama J., Środoń J., Millar I.L., Shumlyanskyy L., Kędzior A., Liivamägi S.* 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., Paczeńska J.* Rozwój ryftu w późnym neoproterozoiku-wczesnym paleozoiku na lubelsko-podlaskim skłonie kratonu wschodnioeuropejskiego—analiza subsydencji i zapisu facjalnego // Przegląd Geologiczny. 2002. V. 50. P. 49–63.
- Poprawa P., Krzeminska E., Paczeńska 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.
- Rice A.H.N., Edwards M.B., Hansen T.A., Arnaud E., Halverson G.P.* Glaciogenic rocks of the Neoproterozoic Smalfjord and Mortensnes formations, Vestertana Group, E. Finnmark, Norway // The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations. Eds. Arnaud E., Halverson G.P., Shields-Zhou G. Geol. Soc. London. Mem. 2011. V. 36. P. 593–602.
- Roberts D., Siedlecka A.* Provenance and sediment routing of Neoproterozoic formations on the Varanger, Nordkinn, Rybachi and Sredni peninsulas, North Norway and North-west Russia: a review // Norges Geologiske Undersøkelse Bulletin. 2012. № 452. P. 1–19.
- Rooney A.D., Strauss J.V., Brandon A.D., Macdonald F.A.* A Cryogenian chronology: two long-lasting synchronous Neoproterozoic glaciations // Geology. 2015. V. 43. P. 459–462.
- Rozanov A.Y., Łydka K.* (Eds.). Palaeogeography and Lithology of the Vendian and Cambrian of the Western East-European Platform. Warsaw: Wydawnictwa Geologiczne, 1987. 114 p.
- Shields-Zhou G.A., Porter S., Halverson G.P.* A new rock-based definition for the Cryogenian Period (circa 720–635 Ma) // Episodes. 2016. V. 39. P. 3–8.
- Shumlyanskyy L., Nosova A., Billström K., Söderlund U., Andréasson P.-G., Kuzmenkova O.* The U–Pb zircon and baddeleyite ages of the Neoproterozoic Volyn Large Igneous Province: Implication for the age of the magmatism and the nature of a crustal contaminant // GFF. 2016. V. 138. P. 17–30.
- Środoń J., Kuzmenkova O.F., Stanek J.J., Petit S., Beaufort D., Albert Gilg H., Liivamägi S., Goryl M., Marynowski L., Szczerba M.* 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.
- Środoń J., Condon D.J., Golubkova E., Millar I.L., Kuzmenkova O., Paszkowski M., Mazur S., Kędzior A., Drygant D., Ciobotaru V., Liivamägi S.* 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.
- Taylor S.R., McLennan S.M.* The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.
- Yan B., Yan W., Miao L., Huang W., Chen Z.* Geochemical characteristics and provenance implication of rare earth elements in surface sediments from bays along Guangdong Coast, Southeast China // Environ. Earth Sci. 2012. V. 65. P. 2195–2205. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1514-x>
- Zhang W., Roberts D., Pease V.* Provenance characteristics and regional implications of Neoproterozoic, Timanian-margin successions and a basal Caledonian nappe in northern Norway // Precambrian Res. 2015. V. 268. P. 153–167.

Рецензенты А.Б. Котов, М.И. Тучкова

The Vendian and Early Cambrian of the Southwest, West and Northwest of the Eastern European Platform: Categories of Rivers that Formed Sedimentary Sequences

A. V. Maslov^{a, #} and V. N. Podkovyrov^b

^a*Geological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Institute of Precambrian Geology and Geochronology of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: amas2004@mail.ru*

Based on data on the geochemical characteristics ($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$, Eu/Eu^* and content of Th) of clay rocks of Podolian Transnistria, South-Eastern Poland, Belarus and Volyn, Lithuania, the vicinity of St. Petersburg, South-Eastern White Sea region and Arctic Norway, categories of rivers that transported fine-grained aluminosiliconclastics to sinks that existed during the Vendian and Early Cambrian were reconstructed in the west of the East European Platform. The distribution of data points of clay rocks of the Volynian time on the $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}-\text{Eu}/\text{Eu}^*$ diagram with the fields of the composition of pelitic fraction of bottom sediments in the estuary of modern rivers of various categories allows us to assume that for Lithuania and Podolian Transnistria the feeding provinces were, among other things, paleowatersheds composed of volcanic formations. For Eastern Belarus and the South-Eastern White Sea region, the influence of erosion products supplied by rivers flowing through igneous/metamorphic terranes (crystalline basement) is noticeable. A significant part of the clastic material was carried by rivers that drained sedimentary formations, as well as large rivers, i.e. rivers whose length exceeded 1000 km and whose drainage area was more than 100,000 km². The existence of the latter is confirmed by the presence of detrital zircon in the rocks of the Zhukov Formation of South-Eastern Poland, borrowed possibly from the rocks of Fennoscandia. In the Redkinian time, along with large rivers (rivers category 1) and rivers fed by the products of erosion of sedimentary formations (rivers category 2), transport of fine-grained clastics was also carried out by rivers that drained rocks of the crystalline basement (rivers category 3; this is typical of Belarus and Volyn, the South-Eastern White Sea and Arctic Norway) and by rivers flowing through areas of distribution of volcanic associations (rivers category 4). The distribution of data points of the clay rocks of the Kotlin stage on the $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}-\text{Eu}/\text{Eu}^*$ diagram suggests that the main agents of transport of fine-grained aluminosiliconclastics to sinks at that time were large rivers and rivers fed by fine particulate matter due to the erosion of predominantly sedimentary rocks. The Early Cambrian paleowatersheds were apparently composed not only of crystalline rocks, but also of sedimentary formations. All of the above is in fairly good agreement with the previously established fact of a gradual increase in the contribution of erosion products of sedimentary rocks to the formation of Vendian–Early Cambrian sedimentary sequences from Podolian Transnistria to Arctic Norway.

Keywords: clay rocks, geochemistry, Vendian, Early Cambrian, western part of East European Platform, river categories