

УДК 552.52:(552.143+550.4)

ИСТОЧНИКИ ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКИ ДЛЯ ВЕНД-НИЖНЕКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОДОЛЬСКОГО ПРИДНЕСТРОВЬЯ: СИНТЕЗ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ¹

© 2022 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 07.09.2021 г.

После доработки 09.11.2021 г.

Принята к публикации 19.11.2021 г.

Рассмотрены литогеохимические особенности (содержания основных породообразующих оксидов, редких и рассеянных элементов) глинистых пород волынской, могилев-подольской, каниловской и балтийской серий (венд и нижний кембрий) Подольского Приднестровья, позволяющие судить о составе размывавшихся пород на палеоводосборах. Литохимические данные указывают на смену в разрезе петрогенного (прошедшего один седиментационный цикл) тонкозернистого обломочного материала литогенной (многократно перетолженной) тонкой алюмосиликокластикой. Источниками материала выступали преимущественно магматические породы кислого состава при подчиненной роли основных разностей, лишь иногда на водосборах преобладали породы основного состава. Геохимические данные свидетельствуют о неоднократном изменении с течением времени соотношения на палеоводосборах магматических пород кислого и основного состава при определенном преобладании первых. Геохимические особенности глинистых пород предполагают также постепенное изменение категорий рек, поставлявших в область осадконакопления тонкую алюмосиликокластику. На начальном этапе (волыньское/грушкинское время) это были реки, дренирующие вулканические области, тогда как, например, в жарновско-студеницкое время каниловский бассейн питался материалом (1) крупных рек, (2) рек, пересекавших области развития осадочных пород, и (3) рек, дренировавших магматические и метаморфические террейны (Украинский щит?).

Ключевые слова: Подольское Приднестровье, венд, нижний кембрий, глинистые породы, литогеохимия, источники сноса

DOI: 10.31857/S0869592X22030024

ВВЕДЕНИЕ

На территории Подольской возвышенности (Подольский выступ Днестровского перикратона/юго-западный склон Украинского щита) в многочисленных естественных обнажениях в долине р. Днестр и по его притокам от с. Китайгород до г. Ямполь вскрывается кристаллический фундамент Восточно-Европейской платформы (ВЕП), перекрытый верхнепротерозойско-нижнепалеозойским и мезозойско-кайнозойским комплексами отложений осадочного чехла, а также четвертичными образованиями. Уникальная по насыщенности, представительности и сохранности палеонтологическая характеристика позволяет рассматривать данный регион как стратотипический (Великанов

и др., 1983; Великанов, 1985; Великанов, 2011; Grytsenko, 2020) или гипостратотипический для венда (Макрофоссилии..., 2015).

Литологическая и литохимическая изученность отложений венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья в настоящее время также весьма высокая (Рябенко и др., 1976; Стратиграфия..., 1979; Коренчук, Ищенко, 1980; Коренчук, 1981; Палеогеография..., 1980; Дригант и др., 1982; Великанов и др., 1983, 1990; Великанов, 1985; Великанов, 2011; Сокур, 2008, 2012, 2014, 2016а, 2016б, 2016в, 2019; Сокур, Фигура, 2009). В последние годы выполнен также комплекс исследований U–Pb изотопных возрастов и геохимических особенностей присутствующих в названных отложениях обломочных цирконов (Francovschi et al., 2020, 2021; Paszkowski et al., 2021), что дало возможность получить принципиально новую информацию прежде

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0869592X22030024 для авторизованных пользователей.

всего о возрасте пород – источников грубой алюмосиликокластики, слагающей осадочные последовательности венда и нижнего кембрия Подолии. В связи с этим задачей данной работы являлось получение дополнительной информации по глинистым породам и реконструкция состава областей сноса на основе разнообразных методов литогеохимии, а также сравнение выводов, полученных в разные годы.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ ВЕНДА И НИЖНЕГО КЕМБРИЯ ПОДОЛЬСКОГО ПРИДНЕСТРОВЬЯ

Залегающие в основании разреза венда Подольского Приднестровья красноцветные гравелиты и грубозернистые аркозовые песчаники, конгломераты и брекчии, а также сероцветные аргиллиты и алевролиты с покровами базальтов принадлежат к *грушкинской свите* (мощность 0–50–70 м) волинской серии (рис. 1). Возраст базальтов и вулканических туфов волинской серии оценивается по U–Pb датировкам цирконов как 579 ± 4 и 545 ± 4 млн лет (Paszkowski et al., 2019, 2021 и ссылки в этих работах). Максимальный возраст седиментации волинской серии определяется U–Pb датировками цирконов в двух обломках (гальках) из “диамиктитов”, залегающих на контакте волинской и могилев-подольской серий, – 575 ± 7 и 578 ± 14 млн лет (Paszkowski et al., 2021).

Выше обнажены терригенные породы могилевской, ярышевской и нагорянской свит, входящих в состав могилев-подольской серии. Свиты могилев-подольской и перекрывающей ее каниловской серий, в свою очередь, разделяются на слои. Так, например, в составе могилевской свиты выделяются ольчедаевские, ломозовские и ямпольские слои, в составе даниловской свиты – пилиповские и шебутинецкие слои и т.д. (Великанов, 1985; Великанов и др., 1990; Макрофоссилии..., 2015). *Могилевская свита* (мощность до 100 м) объединяет светло-серые грубо- и разнозернистые аркозовые песчаники и гравелиты, пачки тонкого переслаивания темно-серых аргиллитов и тонкозернистых песчаников, а также прослои аркозовых гравелитов, светло-серые полевошпатово-кварцевые или кварцевые мелко-среднезернистые песчаники и зеленовато-серые и красновато-коричневые слюдяные аргиллиты. *Ярышевская свита* (мощность

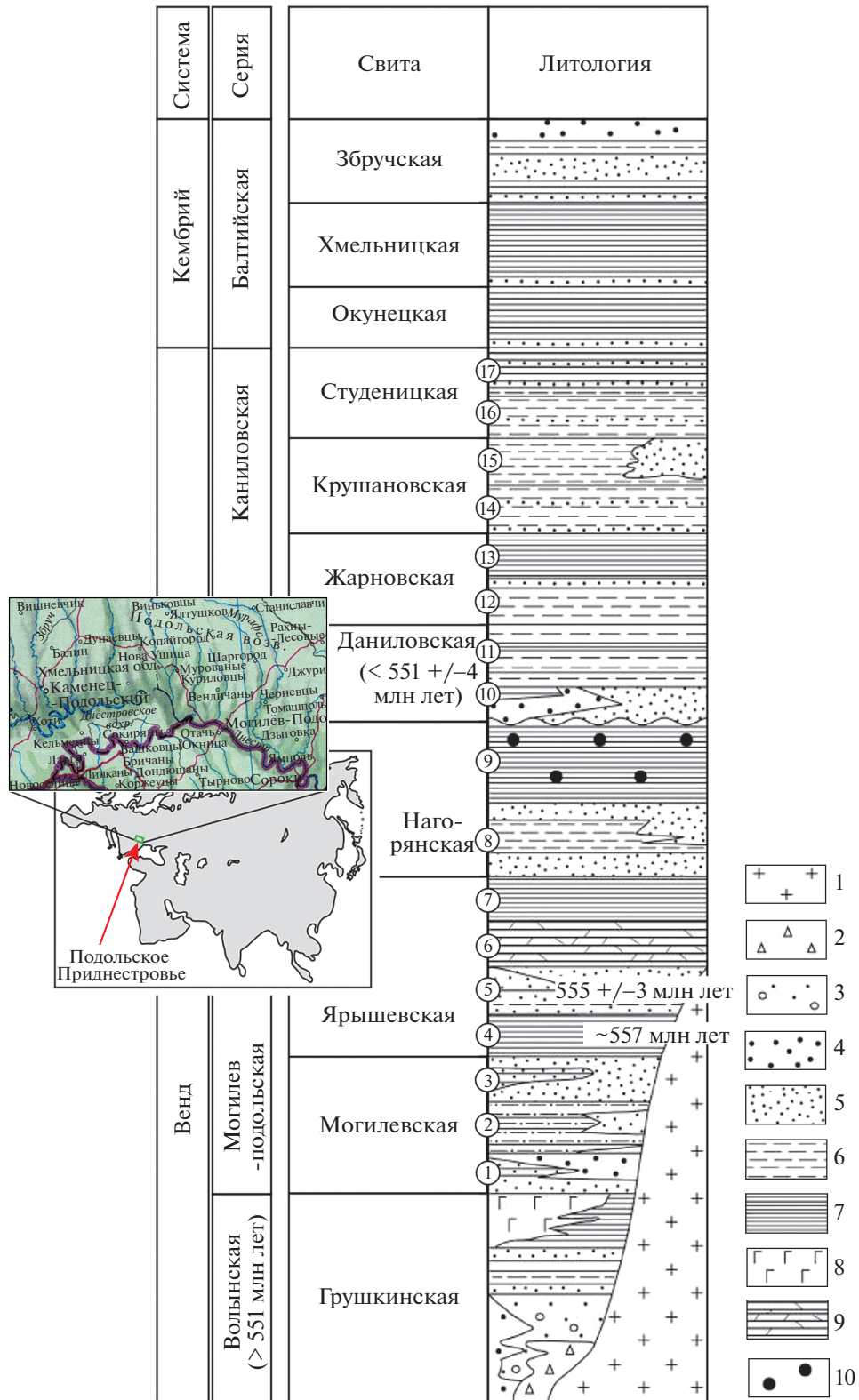
~100 м) включает глинистые средне- и мелкозернистые полевошпатово-кварцевые песчаники и алевролиты, темно-серые и зеленые аргиллиты, иногда с тонкими линзами песчаников и пропластками бентонитовых глин, крупно- и грубозернистые, иногда гравелистые, аркозовые песчаники, туфогенные кремнистые аргиллиты, красно-коричневые пелитовые туффиты и аргиллиты с тонкими пропластками бентонитовых глин, зеленовато-синевато-серые, серо-зеленые аргиллиты и алевролиты с маломощными прослоями глинистых и карбонатных песчаников. U–Pb изотопный возраст цирконов из бентонитов, залегающих в нижней части свиты, равен 556.78 ± 0.18 млн лет (Soldatenko et al., 2019; Paszkowski et al., 2021). Максимальный возраст осадконакопления для ярышевской свиты составляет 551 ± 13 млн лет (Paszkowski et al., 2021). *Нагорянская свита* (мощность 70 м) сложена в нижней части светло-серыми гравелитами и полевошпатово-кварцевыми песчаниками, зеленовато-серыми аргиллитами, алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, зеленовато-серыми мелко- и среднезернистыми слюдястыми песчаниками, чередующимися с алевролитами и аргиллитами, а в верхней части – темно-серыми тонкослоистыми аргиллитами с конкрециями фосфоритов (калюсские слои). Максимальный седиментационный возраст калюсских слоев оценивается в 551.2 ± 4.2 млн лет (Francovschi et al., 2021; Paszkowski et al., 2021).

Каниловская серия объединяет даниловскую, жарновскую, крушановскую и студеницкую свиты (Великанов, 1985 и др.). На породах могилев-подольской серии она залегаёт с корой выветривания и региональным стратиграфическим несогласием. *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. Максимальный седиментационный возраст отложений данного литостратиграфического подразделения составляет от 542 ± 5 до 529 ± 10 млн лет (Paszkowski et al., 2021). *Жарновская свита* (мощность ~40 м) объединяет разнозернистые песчаники, пакеты и пачки чередования зеленовато-серых песчаников, алевролитов и аргиллитов, а также красновато-коричневые и буровато-серые аргиллиты и алевролиты. Максимальный возраст осадкона-

Рис. 1. Обзорная схема и сводный разрез венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья, по (Великанов и др., 1990; Макрофоссилии..., 2015), с изменениями. Географическая врезка-схема территории Подолии по (Иллюстрированный..., 2002).

1 – породы фундамента; 2 – брекчии; 3 – конгломераты и гравелиты; 4 – грубо- и крупнозернистые песчаники; 5 – средне- и мелкозернистые песчаники; 6 – алевролиты; 7 – аргиллиты; 8 – базальты; 9 – туфогенные аргиллиты; 10 – конкреции фосфоритов.

Слои (цифры в кружках): 1 – ольчедаевские, 2 – ломозовские, 3 – ямпольские, 4 – лядовские, 5 – бернашевские, 6 – бронницкие, 7 – зиньковские, 8 – джурджевские, 9 – калюсские, 10 – пилиповские, 11 – шебутинецкие, 12 – кулешовские, 13 – староушицкие, 14 – кривчанские, 15 – дурняковские, 16 – поливановские, 17 – комаровские.



копления варьирует от 547 ± 9 до 531 ± 4 млн лет (Paszkowski et al., 2021). *Крушановская свита* (мощность до 45 м) включает в нижней части базальные мелко- и среднезернистые песчаники и толщу тонкого переслаивания зеленовато-серых песчаников, алевролитов и аргиллитов, а в верхней части — тонкое чередование буровато-серых алевролитов, аргиллитов и песчаников, среди которых можно видеть редкие линзы известняков и фосфатных аргиллитов. *Студеницкая свита* (мощность ~60 м) представлена внизу переслаиванием серых песчаников, алевролитов и аргиллитов, а сверху — тонким чередованием серых аргиллитов и алевролитов.

На отложениях каниловской серии согласно залегают породы балтийской серии, принадлежащие к окунецкой, хмельницкой и збручской свитам. *Окунецкая свита* (мощность 15–17 м) представлена серыми и зеленовато-серыми аргиллитами, среди которых можно видеть прослой и линзы алевролитов и мелкозернистых песчаников. U–Pb изотопный возраст обломочных цирконов в породах свиты варьирует от 2.84 млрд лет до 528 млн лет (Paszkowski et al., 2021). *Хмельницкая свита* (мощность 50–65 м) сложена преимущественно темно- и зеленовато-серыми аргиллитами с прослоями алевролитов и глауконит-кварцевых песчаников. Иногда в ее разрезах можно видеть конгломераты и брекчии. *Збручская свита* (мощность до 45 м) часто с размывом залегают на породах хмельницкой свиты. Она включает пачки мелкозернистых кварцевых песчаников, пестроцветных аргиллитов и алевролитов, среди которых наблюдаются внутриформационные конгломераты (Макрофоссилии..., 2015).

Традиционно считается, что отложения волинской, могилев-подольской и каниловской серий имеют вендский возраст, а породы балтийской серии — раннекембрийский (Соколов, 1979; Вендская..., 1985; Макрофоссилии..., 2015; Мартишин, 2021 и др.), хотя в литературе известны и несколько иные точки зрения (Гражданкин и др., 2011; Гриценко, 2018; Grytsenko, 2020 и др.). Основываясь на результатах исследования U–Pb изотопного возраста и геохимических характеристик (ϵ_{Hf}) обломочных цирконов, авторы публикации (Paszkowski et al., 2021) считают каниловскую серию нижекембрийской.

ИСТОЧНИКИ СНОСА ДЛЯ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ВЕНДА И НИЖНЕГО КЕМБРИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предшествующие реконструкции состава пород — источников обломочного материала для осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья основаны преимущественно на данных минералого-петро-

графического изучения песчаников и в меньшей степени на исследовании минералов тяжелой фракции и литохимических (содержание и соотношение основных породообразующих оксидов) особенностей песчаников и глинистых пород.

Так, по мнению А.В. Копелиовича (1965), песчаники могилевской свиты (здесь и далее использовано современное стратиграфическое расчленение разреза по (Великанов, 2011; Макрофоссилии..., 2015)) сформированы за счет размыва пегматоидных гранитов, гранулитов, гнейсов и кристаллических сланцев. В начале ярышевского времени размыв названных пород продолжался, но в области сноса появились и биотитовые гнейсы. В породах верхней части ярышевской свиты в существенном количестве присутствует пирокластический пепловый материал кислого состава, а также продукты разрушения эффузивных или эффузивно-осадочных пород основного состава. В начале нагорянского времени в области размыва присутствовали как породы — источники кластики для отложений могилевской свиты, так и породы, практически не содержавшие микроклина. Песчаники каниловской серии заметно отличаются от подстилающих пород. Среди них преобладают олигомиктовые и полевошпатово-кварцевые разности с заметным количеством биотита, а также полимиктовые песчаники с обломками эффузивов и кремней, филлитов и метаморфических сланцев. Такое изменение состава псаммитов предполагает появление дополнительных областей сноса, располагавшихся, вероятно, южнее или юго-западнее Приднестровья.

Л.В. Коренчук и В.А. Великанов (1980) также подчеркнули, что сходство состава тонко- и грубообломочных образований грушкинской, могилевской и отчасти ярышевской свит предполагает общность источника кластики (Украинский щит) и его территориальную близость к области осадконакопления. При формировании ярышевской свиты заметную роль играли продукты вулканической деятельности и разрушения байкальских складчатых сооружений Добруджи. В.А. Великанов (1985) отметил, что в песчаниках олчедаевских слоев присутствуют гранат, циркон, монацит и кордиерит, сходные с аксессуориями подольского чарнокитового комплекса Украинского щита, а песчаники джурджевских слоев содержат обломки кварцевых порфиров, источник которых находился предположительно на территории современных Карпат.

А.В. Сочава с соавторами (1992) приводят результаты исследования химического состава песчаников и аргиллитов Приднестровья с помощью кластерного анализа. Показано, что аргиллиты грушкинской, могилевской и ярышевской свит обладают относительно низким содержанием SiO_2 и, напротив, высокими концентрациями Al_2O_3 ,

($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) и TiO_2 . Это объясняется присутствием в их составе продуктов размыва кор выветривания на кристаллическом фундаменте ВЕП и вольтинских базальтах, а также пирокластического материала. Аргиллиты трех нижних свит каниловской серии обладают повышенными содержаниями MgO и Na_2O , в их составе существенная роль принадлежит хлориту и смешанослойным образованиям. Все это предполагает довольно низкую степень преобразования пород областей размыва процессами химического выветривания. В разрезе венда А.В. Сочава с соавторами (1992) наметили ряд геохимических рубежей, с которыми связаны заметные изменения состава пород. Первый совпадает с подошвой могилевской свиты (в аргиллитах снижается содержание мафических элементов и Na), второй приурочен к подошве нагорянской свиты (резко снижаются величины Al/Si и Mg/Al , параллельно растут концентрации Cu , Pb и Zn , что связано с усилением привноса в область осадконакопления продуктов размыва цоколя ВЕП). Третий рубеж отвечает подошве каниловской серии (аргиллиты даниловской, жарновской и крушановской свит по сравнению с подстилающими и перекрывающими отложениями демонстрируют рост величин $\text{Na}/(\text{Na} + \text{K})$ и Mg/Al ; это связано с горообразовательными движениями в окаймлявших ВЕП с юга байкалидах). Четвертый рубеж проходит внутри студеницкой свиты и обусловлен еще одним изменением состава и положения питающих провинций (падение содержаний Ba и Sr в аргиллитах). Позднее, рассматривая изменение в разрезе венда значений литохимических модулей и других индикаторов осадконакопления, Л.В. Коренчук и Т.М. Сокур (2006) установили, что граница между вольтинской и могилев-подольской сериями является контрастной (при ее пересечении меняются почти все характеристики осадочных пород). Менее контрастными представляются границы между ярышевской и нагорянской, жарновской и крушановской свитами (на них меняются 5–7 параметров).

Распределение точек состава глинистых пород ярышевской и нагорянской свит на диаграмме Co/Th-La/Sc указывает, по мнению С.Б. Фелицына (2004), на смешение продуктов эрозии базальтов берестовецкой свиты и кристаллических пород цоколя ВЕП.

Исследование петрохимических особенностей песчаников могилев-подольской и каниловской серий, выполненное Т.М. Сокур (2008), подтвердило представления о формировании пород могилевской свиты за счет переотложения продуктов разрушения кислых кристаллических пород и разрушения пестрой гаммы кислых и основных магматических, а также осадочных пород (ямпольские слои). Песчаники верхней части ярышевской сви-

ты содержат значительную долю кластики основного состава. Перекрывающие их джурджевские песчаники, как и песчаники даниловской свиты, сложены преимущественно материалом разрушения осадочных пород. В работе (Сокур, Фигура, 2009) охарактеризованы высокоглиноземистые образования верхней части калюсских слоев. Высказано предположение, что источником материала, из которого сформировались породы такого состава, была, вероятно, кора выветривания на кислых кристаллических породах Украинского щита. Позднее было показано, что средняя величина гидролизатного модуля для аргиллитов могилев-подольской серии варьирует от 0.45 до 0.75 (Сокур, 2012). В породах каниловской серии и хмельницкой свиты его значения ниже (0.32–0.43). По всей видимости, это указывает на поступление с течением времени в область осадконакопления петрохимически все менее зрелого материала. Разнонаправленные тренды изменения $\text{Na}_2\text{O/K}_2\text{O}$ в аргиллитах могилев-подольской и каниловской серий подтверждают предположения о различных источниках сноса во время формирования отложений названных крупных подразделений (Сокур, 2012). Литохимическими методами подтвержден также вклад вулканогенного материала в формирование глинистых пород ряда уровней разреза (Сокур, 2014, 2016б, 2016в). Показано, что на диаграмме TAS (Le Maître, 2002) точки состава аргиллитов ломозовских и лядовских слоев южной части Подольского выступа попадают в область трахибазальта и базальтового трахиандезита, точки состава аналогичных пород в северной части выступа – в область базальта, джурджевских и калюсских слоев – в область базальтового андезита и андезита. Точки аргиллитов каниловской серии тяготеют к полям андезита и дацита. Последний вывод со ссылкой на статью (Фелицын и др., 1989) аргументирован и высокими значениями $(\text{La/Yb})_N$ в аргиллитах бронницких и джурджевских слоев (Сокур, 2016б). По представлениям Т.М. Сокур, заметный разброс значений различных петрохимических модулей в песчаниках могилев-подольской серии указывает на формирование их за счет “сравнительно пестрого по составу и свежего обломочного материала, источниками которого выступали основные и кислые вулканы и изверженные породы” (Сокур, 2019, с. 39). Каниловское время характеризовалось размывом более однородного по петрографическому составу комплекса пород.

Спектр возрастов обломочных монацитов в породах студеницкой свиты охватывает диапазон времени 2700–600 млн лет (Андреев и др., 2013). Авторы специально подчеркнули, что часть монацитов имеет возраст, который не отвечает возрасту известных на территории Украины горных пород. Этот факт позволяет считать, что часть кластики поступала из далеко располо-

женных источников, имевших сложную прецедентную историю.

В работе (Маслов и др., 2017) показано, что величины K_2O/Al_2O_3 в индивидуальных образцах аргиллитов из интервала грушкинская свита—даниловская свита демонстрируют вначале снижение значений, а затем некоторый рост. Анализ средних для свит значений данного параметра показывает, что аргиллиты могилевской свиты существенно отличаются от аргиллитов грушкинской свиты. Это позволяет предполагать либо присутствие в них литогенного/многократно перетолженного материала, либо воздействие на породы — источники тонкой силикокластики в могилевское время более интенсивных процессов химического выветривания. В аргиллитах верхней части разреза наблюдается рост K_2O/Al_2O_3 как в индивидуальных образцах, так и в среднем для свит.

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в аргиллитах калюсских слоев, по данным (Francovschi et al., 2020), сходно с их распределением в средней и верхней континентальной коре. Это указывает на участие в их составе продуктов размытия как кислых, так и основных пород. Об этом же свидетельствуют и их литогеохимические особенности. Так, содержание TiO_2 в аргиллитах выше, чем среднее содержание данного оксида в кислых магматических породах Волино-Брестской крупной магматической провинции, но ниже, чем содержание в основных породах этой же провинции. Высокое содержание Rb указывает на наличие в областях размытия гранитов, а высокие концентрации V, Ni, Cr и Co предполагают присутствие и основных магматических пород (Francovschi et al., 2020 и ссылки в этой работе). Распределение точек состава аргиллитов на графике $Cr/Th-Th/Sc$ показывает, что доля таких пород могла быть ~10–20%. Таким образом, в калюсское время основным источником тонкой алюмосиликокластики выступали породы раннего докембрия Украинского щита. Некоторая часть материала поступала, по мнению авторов указанной выше работы, также за счет размытия волинско-брестских платобазальтов, гранитов и гнейсов Фенноскандии.

Исследование особенностей распределения U—Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из пород нижней части могилев-подольской серии позволило установить, что среди них присутствует значительное количество зерен с палеопротерозойскими возрастными (2.2–1.9 млрд лет; Paszkowski et al., 2021). Вместе со свойственными им значениями ϵ_{Hf} это указывает на то, что источником таких цирконов являлись кристаллические породы Сарматии. Часть обломочного материала поступала и за счет разрушения волинско-брестских платобазальтов. В породах нагорянской свиты

возраст обломочных цирконов отвечает интервалу ~1.80–1.49 млрд лет. Предполагается, что они поступали из Фенноскандии. Породы каниловской серии характеризуются преобладанием цирконов с возрастными 560–535 млн лет. Это, а также значения ϵ_{Hf} указывают на перерыв в осадконакоплении и существенное изменение источников сноса. Предполагается, что во время накопления отложений каниловской серии обломочный материал в бассейн поступал с континентальной магматической дуги и коллизионного орогена (Paszkowski et al., 2021). Балтийская серия объединяет, возможно, отложения посторогенного этапа; слагающие ее породы содержат кластику, поступавшую в область осадконакопления из разных районов ВЕП.

Обломочные цирконы, выделенные из пород калюсских слоев, образуют кластеры с возрастными 1945 ± 95 , 1780.3 ± 3.8 , 1525 ± 45 и 551.2 ± 4.2 млн лет (Francovschi et al., 2021). Наиболее древние из них с величинами ϵ_{Hf} от –6.0 до 6.9 заимствованы из протерозойских пород ВЕП. Наиболее молодой кластер со значениями ϵ_{Hf} от –13.2 до 3.9 рассматривается авторами указанной публикации как результат прямого осадконакопления туфового материала или как следствие рециклирования субсинхронного осадконакопления вулканического материала. Источником последнего мог быть островодужный вулканизм, обусловленный приращением к Балтике ансамбля террейнов Тейсейра—Торнквиста.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ НАКОПЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

Считается, что формирование нижней части грушкинской свиты происходило в элювиально-делювиальных, континентальных и прибрежно-континентальных обстановках, а верхней части — в прибрежно-морской обстановке. По данным (Shumlyansky et al., 2007; Носова и др., 2008; Кузьменкова и др., 2010; Kuzmenkova et al., 2011; Porcawa et al., 2020; Paszkowski et al., 2021 и др.), платобазальты волинской серии слагают одну-единственную крупную магматическую провинцию. Могилевская свита накапливалась под влиянием аллювиальной системы с постепенным переходом к дельтовым и прибрежно-морским/литоральным фациям (Великанов, 1985; Великанов, Мельничук, 2014; Гниловская и др., 1988; Стратиграфия..., 2013; Paszkowski et al., 2021). По данным (Великанов, 1985 и ссылки в этой работе), ярышевская свита объединяет мелководно-морские и лагунные отложения, а нагорянская свита — преимущественно прибрежно- и мелководно-морские отложения. Такой же генезис имеют, по-

видимому, отложения каниловской и балтийской серий.

Весь комплекс отложений могилев-подольской и каниловской серий Подольского Приднестровья Ю.Р. Беккер (1988) рассматривал как молассоидные образования. А.В. Сочава с соавторами (1992) считали, что таковыми являются только три нижние свиты каниловской серии. По представлениям Т.Н. Херасковой с соавторами (2015), в позднем венде и раннем кембрии южная окраина ВЕП испытала коллизию со Скифским террейном, что привело к формированию здесь фронта деформаций. Анализ особенностей тектонического погружения эдиакарско-палеозойского Вольно-Подольско-Молдавского бассейна (Poręga et al., 2018) показал, что начало его формирования связано с фазой растяжения и быстрым погружением. В конце эдиакария–позднем ордовике тектоническое погружение замедлилось и приобрело черты пострифтового термального, при этом “rift–drift” переход пришелся, по всей видимости, на границу между могилев-подольской и каниловской сериями (Poręga et al., 2018; Poręga, 2019), отмеченную признаками перерыва и формирования коры выветривания на аргиллитах калюсских слоев.

ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Реконструкция состава пород на палеоводо-разделах может быть выполнена как по данным о содержании в тонкозернистых обломочных/глинистых породах основных породообразующих оксидов, так и на основе анализа распределения в них некоторых редких и рассеянных элементов. Активно используются для этого и данные об изотопном возрасте обломочных минералов (Rollinson, 1994; Интерпретация..., 2001; Geochemistry..., 2003; Маслов, 2005, 2019; Маслов и др., 2018, 2020; Бадида и др., 2020). Отсылая читателей к указанным публикациям, укажем лишь, что часто полезно использовать параллельно сведения о локализации на диаграммах и графиках как индивидуальных, так и средних для тех или иных литостратиграфических подразделений фигуративных точек.

Для реконструкции состава пород – источников для осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья мы использовали данные о содержании основных породообразующих оксидов в аргиллитах указанного временного интервала из банка данных PRECSED (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург), а также сведения о содержании в них ряда редких и рассеянных элементов, полученные в разные годы методами “мокрой химии” в Центральной лаборатории Северо-Западного производственного геологического объединения (г. Красное Село) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в

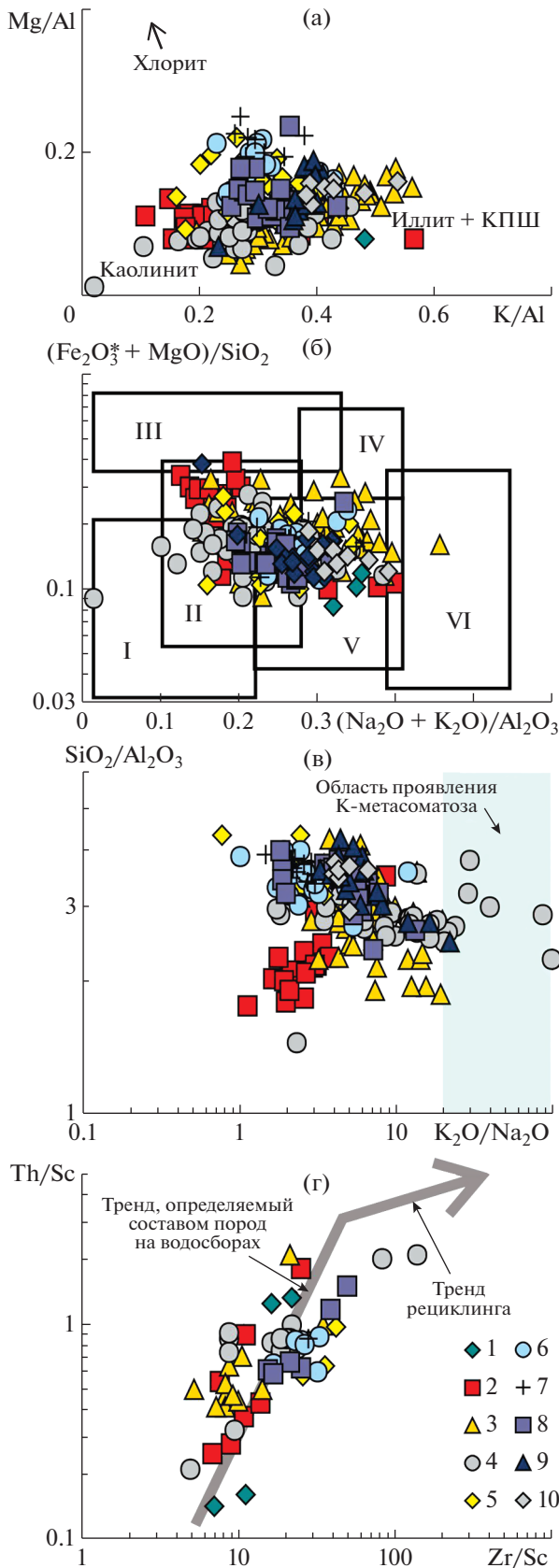
Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) (ДМ_табл. 1, ДМ_табл. 2)². Отбор образцов был выполнен из естественных обнажений по берегам р. Днестр и ее притоков – р. Мурафа (обн. 708, 709, 713 – с. Гушка и др.), устье р. Лядова (обн. 717), р. Ушица (обн. 721), р. Бернашевка (обн. 711, 712) – и из скважин (обр. 700 – с. Чухели, обр. 701–704 – с. Денисовка, обр. 702 – с. Ожигановцы, обр. 703 – с. Заскучное и др.) в 1984 г. А.В. Сочавой и В.Н. Подковыровым. В 1980 г. обнажения пород венда в долине р. Днестр и по некоторым ее притокам были обследованы и А.В. Масловым.

При интерпретации распределения фигуративных точек на любых диаграммах, позволяющих судить о составе размывавшихся на палеоводосборах пород, необходимо помнить, что часто результаты, полученные на основе сведений о содержании в тонкозернистых обломочных породах основных породообразующих оксидов, не вполне совпадают с аналогичными данными, полученными при анализе содержания и соотношений индикаторных редких и рассеянных элементов. Почему это происходит (в частности, и в данном исследовании) – загадка во многих случаях и для нас.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

По данным (Коренчук, Великанов, 1980; Великанов, 1985; Сокур, 2011, 2012, 2016а), аргиллиты могилевской свиты сложены преимущественно каолинитом, хлоритом и иллитом; в виде примеси в них присутствуют смешанослойные образования типа иллит-сметтит. Аргиллиты ярышевской свиты (лядовские, бернашевские и зиньковские слои) имеют примерно такой же состав. Бронницкие слои этой свиты сложены кремнисто-иллитовым материалом с примесью хлорита и значительным количеством рентгеноаморфной фазы. Глинистые породы верхней части нагорянской свиты (калюсские слои) обладают хлорит-каолинит-иллитовым составом. Присутствует в них и аутигенный сметтит. Аргиллиты даниловской свиты имеют преимущественно хлорит-каолинит-иллитовый состав. Аргиллиты жарновской и крушановской свит сложены в основном иллитом с примесью хлорита. В аргиллитах студеницкой свиты комплекс глинистых минералов подобен таковому в аргиллитах даниловской и жарновской свит. В целом аргиллиты могилев-подольской серии отличаются от аргиллитов каниловской серии и хмельницкой свиты наличием большого количества каолинита (Сокур, 2012). В публикации (Paszowski et al., 2021) отмечено преобладание в составе пород каниловской серии диоктаэдрических $2M_1$ слюд.

² ДМ – дополнительные материалы.



На диаграмме K/Al–Mg/Al (Turgeon, Brum-sack, 2006) точки состава аргиллитов тяготеют в основном к области пониженных величин и K/Al, и Mg/Al (рис. 2а), что подтверждает представление Т.М. Сокур (2012) о существенной доле каолинита и других Al-содержащих минералов в их составе. На диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (диаграмма НКМ–ФМ; Юдович, Кетрис, 2000) фигуративные точки аргиллитов расположены в полях I (преимущественно каолинитовые глины), II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины), IV (хлорит-иллитовые глины) и V (хлорит-смектит-иллитовые глины) (рис. 2б). Нами использована система литохимических модулей (Юдович, Кетрис, 2000): ТМ – титановый модуль $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ЖМ – железный модуль $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MnO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$, НКМ – модуль нормированной щелочности $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$, ГМ – гидролизатный модуль $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, ФМ – фемический модуль $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$.

Свойственные аргиллитам верхнего венда и нижнего кембрия величины $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ показывают, что эти породы не затронуты процессами калиевого метасоматоза и окремнения (рис. 2в). Следовательно, их литохимические характеристики могут быть использованы для реконструкции состава пород – источников тонкой алюмосиликокластики.

Присущие глинистым породам соотношения ТМ и ЖМ, с одной стороны, и НКМ и ГМ, с другой, в соответствии с представлениями Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000), указывают на преобладание в составе аргиллитов могилевской и ярышевской свит петрогенного материала, т.е. кластики, прошедшей только первый седиментационный цикл (коэффициенты корреляции между указанными модулями, r , соответственно равны 0.53 и 0.51 и -0.80 и -0.52). Это же характерно для глинистых пород нагорянской свиты ($r_{\text{ТМ}-\text{ЖМ}} = 0.26$, $r_{\text{НКМ}-\text{ГМ}} = -0.55$). Аргиллиты даниловской и жарновской

Рис. 2. Положение фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграммах K/Al–Mg/Al (а), $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (б), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (в) и $\text{Zr}/\text{Sc} - \text{Th}/\text{Sc}$ (г).

Свиты: 1 – грушкинская; 2 – могилевская; 3 – ярышевская; 4 – нагорянская; 5 – даниловская; 6 – жарновская; 7 – крушановская; 8 – студеницкая; 9 – окунецкая и хмельницкая; 10 – збручская.

(б): Глины: I – преимущественно каолинитовые; 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.

свит обладают слабой положительной взаимосвязью между модулями ТМ и ЖМ ($r = 0.18$ и 0.34), а между НКМ и ГМ корреляция отсутствует ($r = -0.03$ и -0.03). Это, по всей видимости, указывает на то, что глинистые породы нижней части каниловской серии содержат заметно больше литогенного/неоднократно переотложенного материала, чем подстилающие их отложения. Аргиллиты крушановской, студеницкой, окунецкой и хмельницкой, а также збручской свит сложены, исходя из свойственной им отрицательной корреляции между ТМ и ЖМ или ее отсутствия (соответственно -0.15 , -0.10 , 0.07 и -0.95), а также отрицательных значений $r_{\text{НКМ-ГМ}}$ (-0.01 , -0.23 , -0.87 и -0.61), в основном литогенным материалом.

Распределение индивидуальных точек состава аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграмме $Zr/Sc-Th/Sc$ (McLennan et al., 1993) позволяет сделать несколько иной вывод: все представленные в нашей выборке образцы, для которых выполнено определение содержания редких и рассеянных элементов, сложены в основном петрогенным материалом (рис. 2г).

Сопоставление со средним постархейским австралийским глинистым сланцем (PAAS; Taylor, McLennan, 1985) показывает, что аргиллиты грушкинской свиты содержат в среднем меньше TiO_2 (0.54 PAAS), FeO^* , MgO (0.57 PAAS), CaO (0.25 PAAS), Na_2O и P_2O_5 (0.27 PAAS). В то же время значение $K_2O_{\text{среднее}}$ составляет в них 1.53 PAAS (рис. 3а). Глинистые породы могилевской свиты несколько обеднены оксидом кремния, а содержание оксидов титана и FeO^* в них несколько выше (рис. 3б). Это же свойственно аргиллитам ярышевской свиты, в которых, кроме того, несколько выше, чем в PAAS, среднее содержание оксида калия. Тонкозернистые обломочные породы нагорянской свиты содержат в среднем несколько меньше, чем в PAAS, оксидов магния, кальция и фосфора (рис. 3в). Глинистые породы даниловской свиты характеризуются пониженным против PAAS средним содержанием оксидов титана и кальция (рис. 3г). Аргиллиты жарновской свиты демонстрируют пониженное в среднем против PAAS содержание CaO и несколько более высокое содержание P_2O_5 . Аргиллиты крушановской свиты имеют по сравнению с PAAS несколько пониженное среднее содержание TiO_2 и CaO , тогда как значения $MgO_{\text{среднее}}$ и $P_2O_{5\text{среднее}}$ равны и составляют 1.32 PAAS (рис. 3д). Глинистые породы студеницкой свиты характеризуются пониженным относительно PAAS средним содержанием оксидов титана, кальция, магния и фосфора (рис. 3е), что скорее свидетельствует об их литогенном характере. В аргиллитах окунецкой и хмельницкой свит также ниже, чем в PAAS, среднее содержание TiO_2 , CaO и Na_2O (рис. 3ж).

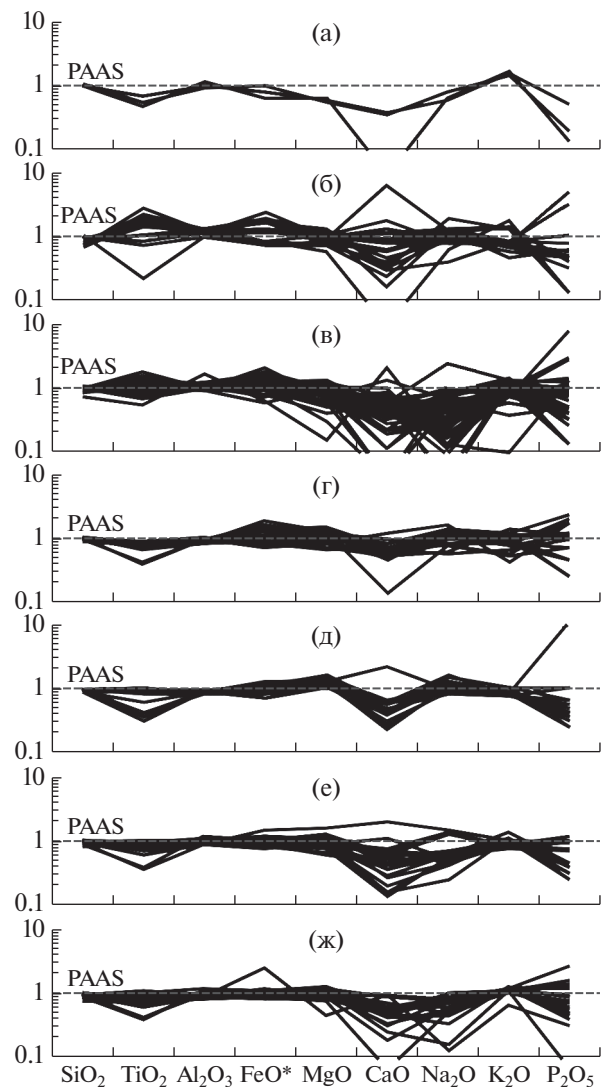


Рис. 3. Нормированное к PAAS содержание ряда основных породообразующих оксидов в аргиллитах венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья. Свиты: (а) – грушкинская; (б) – могилевская; (в) – нагорянская; (г) – даниловская; (д) – крушановская; (е) – студеницкая; (ж) – окунецкая и хмельницкая.

Наконец, глинистые породы збручской свиты имеют несколько пониженные против PAAS средние содержания оксидов кальция и натрия, а среднее содержание K_2O составляет в них 1.28 PAAS.

Среднее содержание элементов, типичных по (Интерпретация..., 2001) для ультраосновных магматических пород (Cr , Co , Ni), в глинистых породах грушкинской свиты варьирует от 0.55 до 0.93 PAAS. Среднее содержание Sc – элемента, характерного для магматических пород основного состава, составляет 0.90 PAAS, тогда как среднее содержание La и Th – элементов, типичных для кислых магматических пород (Интерпретация..., 2001), равно 0.49 и 0.42 PAAS соответственно. Ар-

Таблица 1. Минимальные и максимальные значения коэффициентов обогащения ряда редких и рассеянных элементов в глинистых породах волынской, могилев-подольской и каниловской серий

Компонент	Свита							
	Грушкинская		Могилевская		Нагорянская		Даниловская + жарновская + студеницкая	
	EF _{минимум}	EF _{максимум}	EF _{минимум}	EF _{максимум}	EF _{минимум}	EF _{максимум}	EF _{минимум}	EF _{максимум}
Cr	0.50	6.66	0.60	3.98	0.38	1.96	0.30	1.37
Co	0.67	15.17	0.59	8.86	0.43	3.73	0.61	2.83
Sc	0.56	15.63	0.42	3.00	0.36	3.53	0.50	1.29
Ni	0.40	71.62	0.59	3.57	0.39	2.87	0.27	1.05
La	0.26	2.26	0.23	0.87	0.41	2.82	1.10	3.27
Pb	0.77	3.09	0.43	5.15	0.18	2.76	0.19	0.99
U	0.53	2.15	0.38	1.47	0.61	1.12	0.67	1.40

гиллиты могилевской свиты также обладают заметным дефицитом по сравнению с PAAS La и Th (0.44 и 0.52 PAAS соответственно). Среднее содержание Cr, Co и Ni в них как выше, так и ниже, чем в PAAS, а среднее содержание Sc составляет 1.16 ± 0.54 PAAS. Примерно такое же распределение этих элементов (за исключением Co) свойственно и глинистым породам ярышевской свиты. Аргиллиты нагорянской свиты обеднены относительно PAAS как элементами ультраосновной и основной специализации, так и элементами, характерными для кислых магматических пород (0.42–0.64 PAAS). Это же присуще глинистым породам даниловской (0.12–0.71 PAAS), жарновской (0.17–0.87 PAAS) и студеницкой свит каниловской серии (0.44–0.82 PAAS).

Мы рассчитали по формуле $(\text{элемент}/\text{Th})_{\text{образец}}/(\text{элемент}/\text{Th})_{\text{UCC}}$ (Tribouillard et al., 2006) также величины коэффициентов обогащения (EF, enrichment factor) относительно верхней континентальной коры (UCC; Rudnick, Gao, 2003) для перечисленных выше и некоторых других элементов, характерных для ультраосновных, основных и кислых магматических пород (табл. 1). Для глинистых пород грушкинской свиты разброс минимального и максимального значений EF_{Cr} составляет 0.50–6.66, для Sc эти значения равны соответственно 0.56 и 15.63, а величины EF_{La} варьируют в интервале 0.26–2.26. Аргиллиты могилевской свиты характеризуются величинами EF_{Cr}, EF_{Sc} и EF_{La} в интервалах 0.60–3.98, 0.42–3.00 и 0.23–0.87 соответственно. Это позволяет предполагать, что вклад в состав названных аргиллитов продуктов разрушения кислых магматических пород меньше, чем в глинистые породы грушкинской свиты, однако значения EF в первых для Pb и U – элементов, также типичных для кислых магматических пород, варьируют от 0.43 до 5.15 и

от 0.38 до 1.47 соответственно. Аргиллиты нагорянской свиты обладают значениями EF_{Cr}, EF_{Sc} и EF_{La} в интервалах 0.38–1.96, 0.36–3.53 и 0.41–2.82 соответственно. Для глинистых пород даниловской, жарновской и студеницкой свит указанные параметры находятся в пределах 0.30–1.37, 0.50–1.29 и 1.10–3.27. Это показывает, очевидно, что во время формирования отложений волынской, могилев-подольской и каниловской серий Подольского Приднестровья в областях сноса присутствовали в разных соотношениях как ультраосновные (?), так и основные и кислые магматические породы. Снизу вверх по разрезу наблюдается снижение разброса минимальных и максимальных значений EF для элементов, типичных для магматических пород ультраосновного и основного состава, тогда как значения коэффициентов обогащения для элементов кислой специализации (например, EF_{La} и EF_U) остаются примерно постоянными.

Сумма РЗЭ в глинистых породах волынской, могилев-подольской и каниловской серий варьирует в достаточно широких пределах: от ~61 до ~118 мкг/г для аргиллитов грушкинской свиты, от ~37 до ~218 мкг/г для аргиллитов нагорянской свиты и от ~132 до 186 мкг/г для глинистых пород жарновской свиты. Нормированные на хондрит (Taylor, McLennan, 1985) спектры распределения РЗЭ в аргиллитах показаны на рис. 4. Обсуждение их приведено ниже.

ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Основные породообразующие оксиды

Все фигуративные точки аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграмме (CaO + MgO)–SiO₂/10–(Na₂O + K₂O) (Bavinton, 1981) сосредоточены между полями гра-

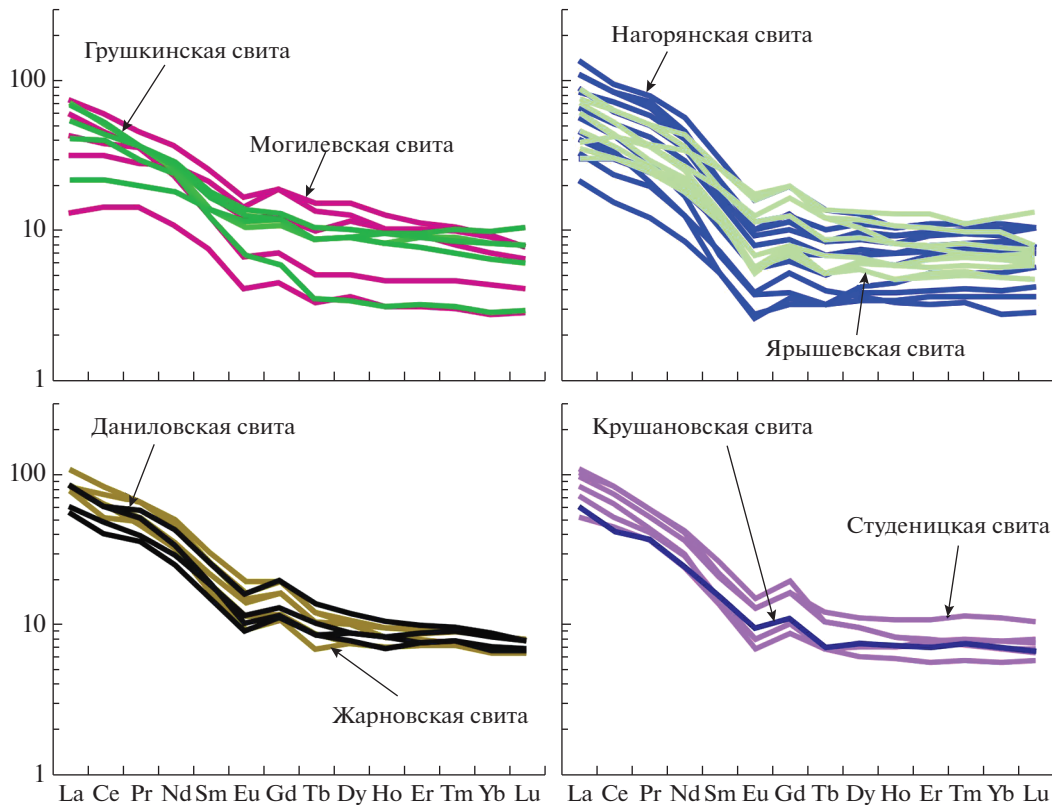


Рис. 4. Нормированное к хондриту содержание редкоземельных элементов в аргиллитах венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья.

нитов и основных магматических пород (рис. 5а), что является вполне стандартной ситуацией. Это дает основание считать, что исследуемые нами глинистые породы сложены продуктами размыва основных и кислых магматических пород, причем доля последних в их составе, по всей видимости, выше доли первых.

На диаграмме F1–F2 (Roser, Korsch, 1988) индивидуальные фигуративные точки глинистых пород волынской, могилев-подольской, каниловской и балтийской серий присутствуют во всех классификационных полях (рис. 5б). Это предполагает распространение на палеоводосборах в течение всего времени накопления отложений более или менее сходного спектра пород – источников тонкой алюмосиликокластики: магматических пород от основного до кислого состава. Средняя точка состава аргиллитов грушкинской свиты расположена на названном графике в поле продуктов размыва магматических пород кислого состава (что достаточно необычно и позволяет предполагать отсутствие в грушкинское время субсинхронного осадконакопленню размыва основных вулканитов) (рис. 5в). Средняя точка состава глинистых пород збручской свиты попадает в поле продуктов размыва богатых кварцем осадочных образований. Средние точки состава аргиллитов осталь-

ных свит локализованы в поле продуктов размыва магматических пород среднего состава, но, скорее всего, их расположение на диаграмме F1–F2 отражает присутствие в преобладающей части глинистых пород материала как основных, так и кислых магматических пород. Средние точки состава песчаников перечисленных свит занимают на диаграмме F1–F2 несколько иное положение, нежели средние точки состава аргиллитов (рис. 5г), но в этом нет ничего необычного, так как песчаники сложены, как правило, продуктами размыва локальных источников сноса, тогда как тонкая алюмосиликокластика глинистых пород отражает интегральный состав значительно больших по площади палеоводосборов.

Практически все индивидуальные фигуративные точки аргиллитов на диаграмме ICV–CIA (Potter et al., 2005) тяготеют к тренду, берущему начало от средней точки состава среднепротерозойских базальтов по (Condie, 1993) (рис. 5д). Это предположение подтверждается свойственными глинистым породам средними величинами отношений Th/Sc и La/Co , а также параметра $(La/Yb)_N$ (рис. 6). Значения двух первых параметров в аргиллитах всех свит волынской, могилев-подольской и каниловской серий сопоставимы с их значениям в раннепротерозойских известко-

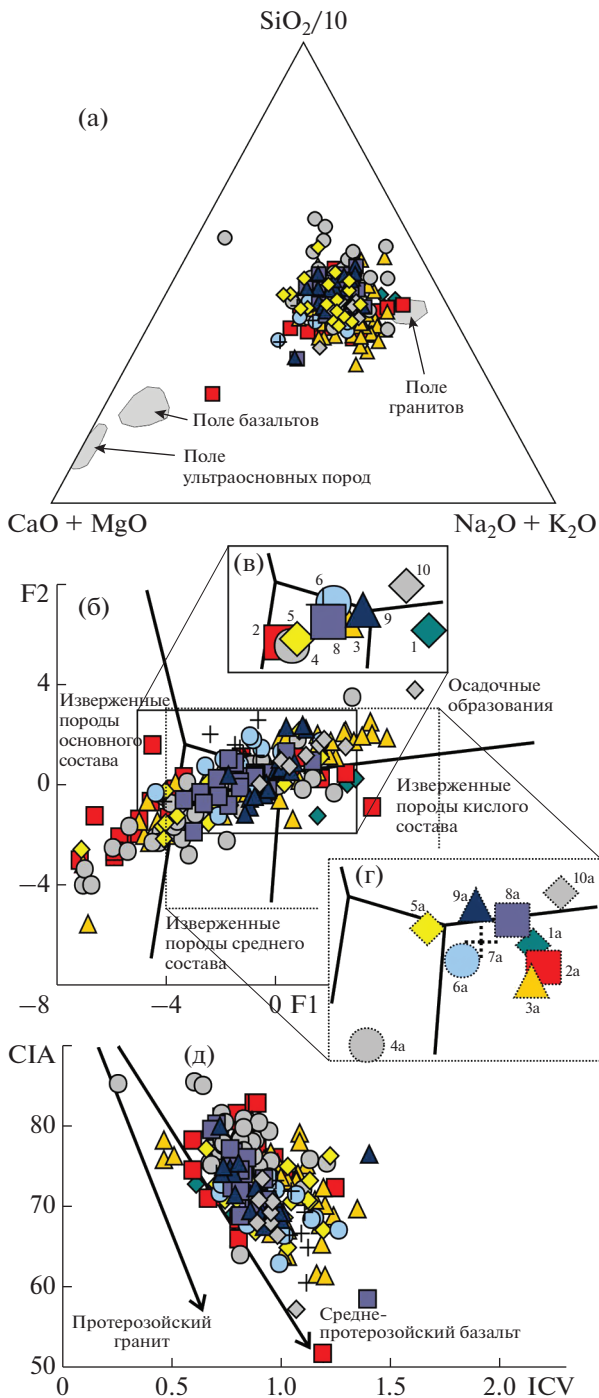


Рис. 5. Положение индивидуальных и средних (здесь и далее крупные условные обозначения) фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграммах $(\text{CaO} + \text{MgO})\text{--SiO}_2/10\text{--}(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (а), $\text{F}_1\text{--F}_2$ (б, в) и ICV--CIA (д). На врезке (г) приведены средние точки составов песчаников тех же свит, из которых отобраны аргиллиты; номера точек с буквами "а" отвечают свитам, перечисленным на рис. 2. Условные обозначения см. рис. 2.

во-щелочных базальтах, по (Condie, 1993), а средние величины $(\text{La}/\text{Yb})_N$ только в аргиллитах жарновской и студеницкой свит ближе к значению этого параметра в архейских гранитоидах, по (Condie, 1993).

Выше отмечалось, что в настоящее время осадочные последовательности венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья и прилегающих к нему с севера районов рассматриваются рядом авторов как сформированные в обстановках рифтогенеза (вольнская серия), разрушения континентальной магматической дуги и заполнения форландового бассейна Скифского/Санта-Крус орогена (могилев-подольская, каниловская и балтийская? серии) (Paszowski et al., 2021). Это должно найти отражение в положении фигуративных точек аргиллитов на палеогеодинамических диаграммах, например на диаграмме $\text{DF}_1\text{--DF}_2$ (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) для низкокремнистых пород, где ее авторами выделены поля рифтогенных, островодужных и коллизионных/орогенных обстановок. Значительная часть индивидуальных точек рассматриваемых нами глинистых пород сосредоточена здесь в поле составов, характерных для коллизионных обстановок (рис. 7а); подчиненное их количество локализовано в поле составов рифтогенных обстановок. Средние точки состава аргиллитов всех свит, за исключением могилевской свиты, локализованы на диаграмме $\text{DF}_1\text{--DF}_2$ в поле коллизионных составов (рис. 7б). Практически здесь же, как это ни странно, расположена и средняя точка состава аргиллитов грушкинской свиты. Распределение средних точек составов песчаников тех же свит на диаграмме $\text{DF}_1\text{--DF}_2$ в ее высококремнистом варианте (рис. 7в) несколько иное.

Редкие и рассеянные элементы

Большинство индивидуальных фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия на диаграмме Ni--V--10Th (Bracciali et al., 2007) тяготеет к полю составов кислых магматических пород, и только некоторые точки глинистых пород грушкинской и могилевской свит смещены здесь в сторону поля основных пород (рис. 8а).

Распределение индивидуальных точек аргиллитов на диаграмме Th--La--Sc (Cullers, Podkovyrov, 2002) более равномерное, чем на графике Ni--V--10Th (рис. 8б): значительная часть их расположена между референтными точками базальтов и гранодиоритов, часть локализована у точки гранитов. Распределение средних точек состава аргиллитов разных свит подчеркивает общую тенденцию изменения состава пород на палеоводосборах: в глинистых породах грушкинской, могилевской и ярышевской свит присутствует существенная доля продуктов размыва магматических пород основного состава, заметно меньше такого материала в

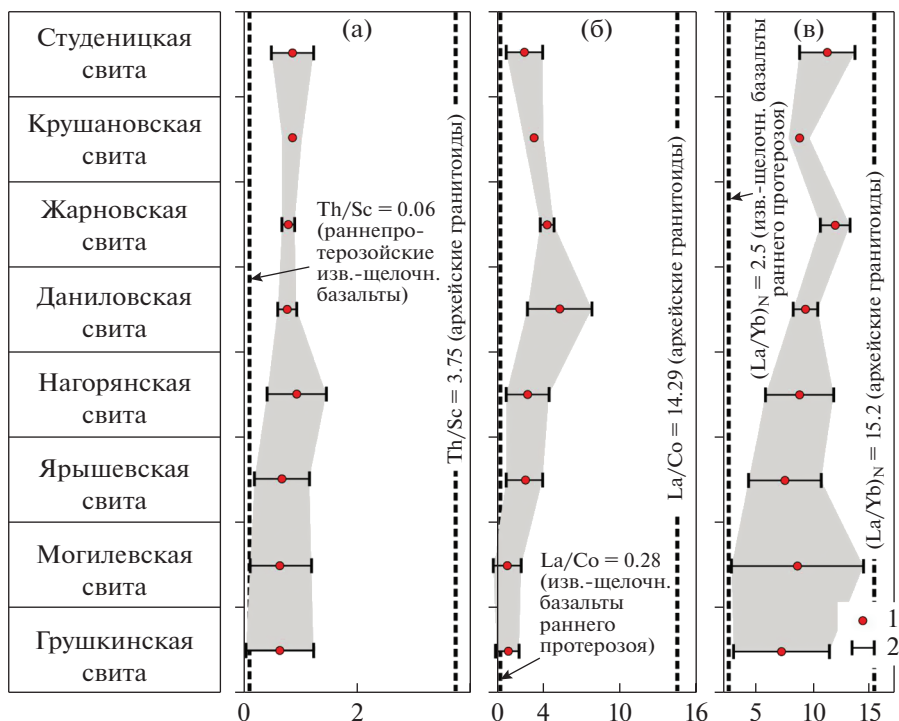


Рис. 6. Вариации средних величин Th/Sc (а), La/Co (б) и (La/Yb)_N (в) в аргиллитах волынской, могилев-подольской и каниловской серий Подольского Приднестровья. 1 – среднее значение; 2 – величина стандартного отклонения. Средние значения Th/Sc, La/Co и (La/Yb)_N для разных типов возможных источников тонкой алюмосиликокластики по (Condie, 1993).

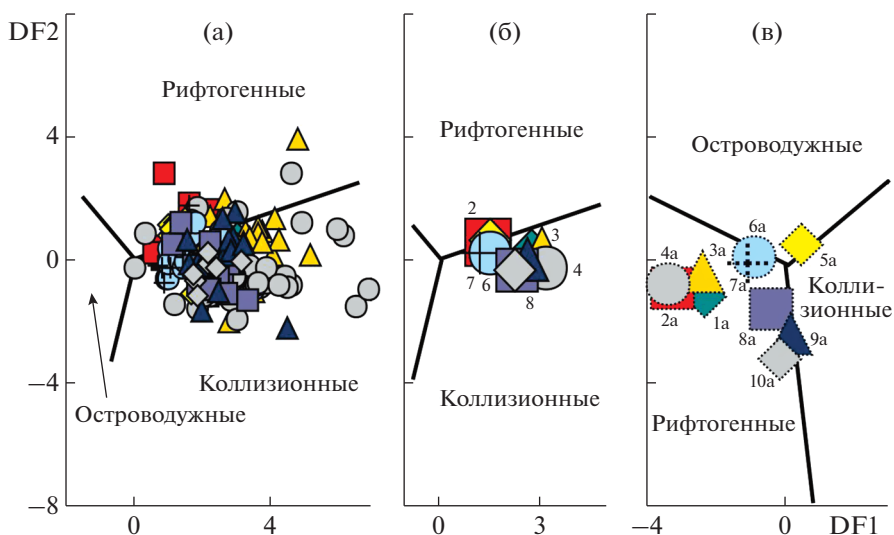


Рис. 7. Положение индивидуальных (а) и средних для свит (б) фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на низкокремнистой диаграмме DF1–DF2. На схеме (в) для справки приведены средние точки песчаников тех же свит, из которых отобраны аргиллиты, на высококремнистой диаграмме DF1–DF2; номера точек с буквами “а” отвечают свитам, перечисленным на рис. 2.

Условные обозначения см. рис. 2. Для пород с низким (35–63 мас. %) содержанием (SiO₂)_{adj} значения DF1 и DF2 рассчитываются по формулам: $DF1 = 0.608\ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} - 1.854\ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 0.299\ln(Fe_2O_3^*/SiO_2)_{adj} - 0.550\ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 0.120\ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.194\ln(CaO/SiO_2)_{adj} - 1.510\ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} + 1.941\ln(K_2O/SiO_2)_{adj} + 0.003\ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} - 0.294$, а $DF2 = -0.554\ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} - 0.995\ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 1.765\ln(Fe_2O_3^*/SiO_2)_{adj} - 1.391\ln(MnO/SiO_2)_{adj} - 1.034\ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.225\ln(CaO/SiO_2)_{adj} + 0.713\ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} + 0.330\ln(K_2O/SiO_2)_{adj} + 0.637\ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} - 3.631$. Обозначение “adj” указывает на использование содержаний оксидов, приведенных к 100% сухого (volatile-free) вещества.

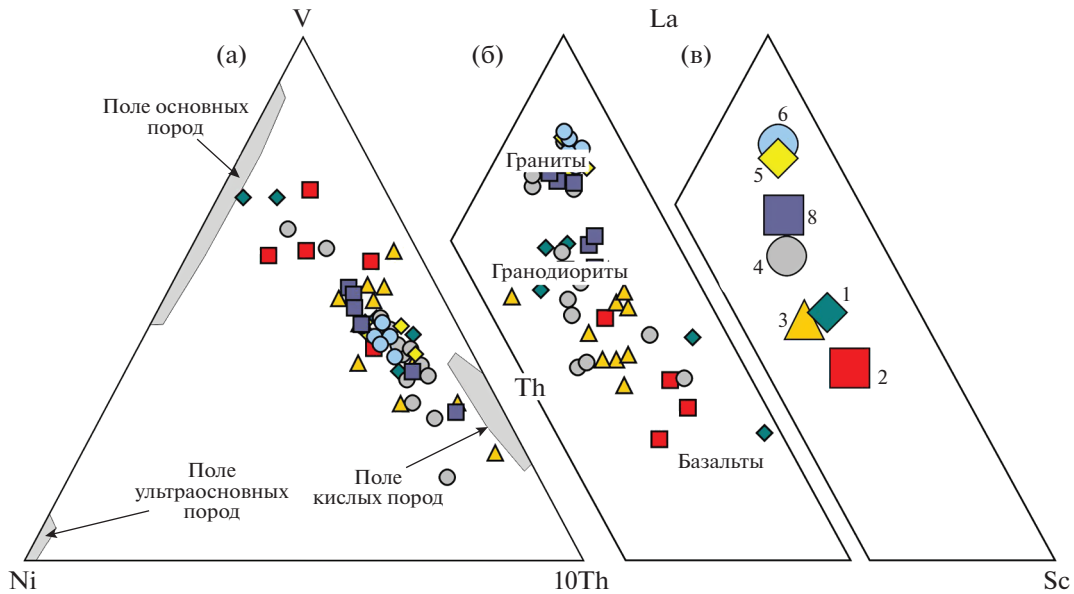


Рис. 8. Положение индивидуальных и средних для свит фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграммах Ni–V–10Th (а) и Th–La–Sc (б, в). Условные обозначения см. рис. 2.

тонкозернистых обломочных породах нагорянской и студеницкой свит. Аргиллиты даниловской и жарновской свит сложены в основном тонкой алюмосиликокластикой, возникшей за счет эрозии кислых магматических пород (рис. 8в).

На графике Cr/Th–Th/Sc (Condie, Wronkiewicz, 1990) индивидуальные фигуративные точки исследуемых нами аргиллитов расположены преимущественно в области составов с содержанием основного компонента от 10 до 50% (кривая смещения, по (Bracciali et al., 2007)); одна точка глинистых пород грушкинской свиты обнаруживает присутствие ~60% продуктов размыва основных магматических пород (рис. 9а). Положение средних точек состава аргиллитов разных свит на этой диаграмме (рис. 9б) подчеркивает присутствие существенной доли основного компонента в аргиллитах грушкинской и могилевской свит и минимальное его количество в глинистых породах нагорянской, даниловской и жарновской свит.

Этот же вывод можно сделать и из анализа положения индивидуальных фигуративных точек аргиллитов на диаграмме La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) (рис. 9в). Область составов пород Украинского щита – предполагаемых источников тонкой алюмосиликокластики для аргиллитов венда–нижнего кембрия Подольского Приднестровья охватывает здесь практически все индивидуальные точки последних и в ряде случаев шире их ареала. Область состава пород кольской серии также хорошо вписывается в часть ареала точек состава аргиллитов Подолии. Ряд индивидуальных точек аргиллитов грушкинской и могилевской свит хорошо соот-

носятся с областью состава волыньско-брестских плато-базальтов.

На диаграмме Sc–Th/Sc (Fedo et al., 1997) расположение индивидуальных фигуративных точек аргиллитов (рис. 9г) позволяет считать, что в их составе представлены продукты размыва как кислых, так и основных магматических пород, причем доля последних, по всей видимости, несколько выше, чем первых. Еще лучше это видно при анализе положения на названном графике средних для свит точек состава аргиллитов (рис. 9д). Ареал точек состава аргиллитов хорошо вписывается в области составов пород как Украинского щита, так и кольской серии. Это дает основание считать, что обе предполагаемые разными авторами питающие провинции могли поставлять в венда и раннем кембрии тонкую алюмосиликокластику в область седиментации (современное Подольское Приднестровье). К области составов волыньско-брестских платобазальтов, напротив, тяготеет только одна (!) точка аргиллитов грушкинской свиты. По-видимому, доля продуктов прямого размыва основных пород в составе глинистых пород данного литостратиграфического подразделения все же не столь велика.

Анализ средних, минимальных и максимальных величин таких параметров нормированных на хондрит (Taylor, McLennan, 1985) спектров РЗЭ, как $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* , показывает, что в аргиллитах грушкинской, могилевской, ярышевской и нагорянской свит присутствует существенная доля тонкой алюмосиликокластики, представляющей продукты разрушения магмати-

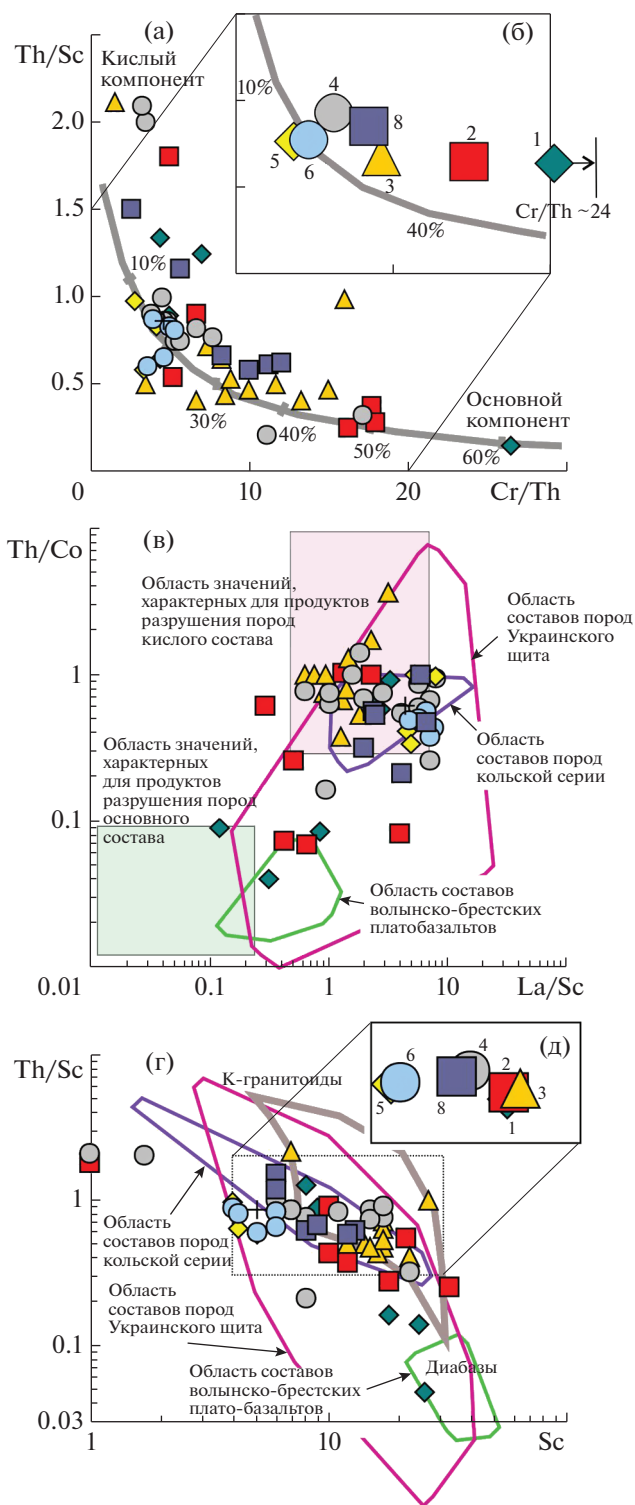


Рис. 9. Положение индивидуальных и средних для свит фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья, а также области состава разных пород Украинского щита и кольцевой серии Фенноскандии (по данным (Бибикова и др., 2008, 2013; Kuzmenkova et al., 2011; Лобач-Жученко и др., 2014; Шумлянский, 2014; Shumlyansky et al., 2016)) на диаграммах Cr/Th–Th/Sc (а, б), La/Sc–Th/Co (в) и Sc–Th/Sc (г, д).
Условные обозначения см. рис. 2.

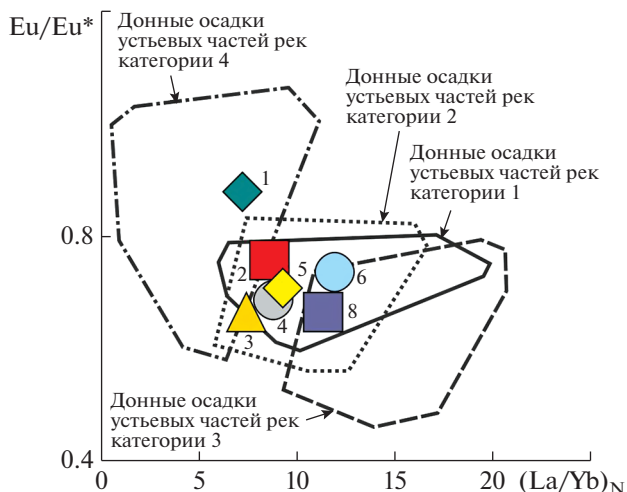


Рис. 10. Положение средних для свит фигуративных точек аргиллитов венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья на диаграмме $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* .
Условные обозначения см. рис. 2.

ческих пород основного состава. Так, минимальные величины $(La/Yb)_N$ для них варьируют от 3.38 (грушкинская свита) до 5.49 (ярышевская свита). Значения Eu/Eu^* среднее в глинистых породах грушкинской и могилевской свит составляют соответственно 0.87 и 0.75, однако в аргиллитах ярышевской и нагорянской свит они увеличиваются до 0.66 и 0.67. Средние величины $(La/Yb)_N$ для глинистых пород грушкинской, могилевской, ярышевской и нагорянской свит равны соответственно 8.09, 7.21, 8.17 и 9.24. Выше по разрезу, в глинистых породах даниловской, жарновской и студеницкой свит, значения этого параметра заметно выше (9.29, 11.93 и 11.29 соответственно). Следует отметить, что во всех свитах максимальные значения $(La/Yb)_N$ равны 10.30–14.71 (в средних архейских гранитах этот параметр равен 16.89, в протерозойских – 9.27 (Condie, 1993)), что предполагает присутствие в областях размыва кислых магматических пород на всем протяжении рассматриваемого нами интервала времени. Здесь при расчете использованы содержания La и Yb в гранитах из (Condie, 1993), а в хондрите – из (Taylor, McLennan, 1985).

Данные о свойственных глинистым породам значениях $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* позволяют также судить о типах рек, транспортировавших тонкую алюмосиликокластику в область осадконакопления, и о составе пород, слагающих в это время палеоводосборы (Маслов, Шевченко, 2019; Маслов, 2019 и др.). Мы вынесли на диаграмму $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* средние точки состава аргиллитов волинской, могилев-подольской и каниловской серий (рис. 10) и, исходя из их распределения, можем предполагать, что во время накопления тонкозернистых осадков грушкинской свиты в области

Таблица 2. Состав пород – источников тонкой алюмосиликокластики и некоторые факторы, контролировавшие накопления осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья по данным предшествующих исследований и настоящей работы

Серия	Свита	Комплексы пород и области размыва по данным изучения состава песчаников	Источники обломочных цирконов	Характер поступающей в бассейн тонкой алюмосиликокластики		Состав пород-источников тонкой алюмосиликокластики
				по петрогенным оксидам	по редким и рассеянным элементам	по литохимическим данным
				1	2	Данная работа
Балтийская	Збручская		Различные районы ВЕП	Преимущественно литогенная/прошедшая несколько циклов седиментации		
	Окунецкая и хмельницкая					
Каниловская	Студеницкая	Украинский щит и районы к Ю и ЮЗ от Подольского Приднестровья	Коллизионный ороген, магматическая дуга к Ю или ЮЗ	Петрогенная и литогенная		
	Крушановская					
	Жарновская					
	Даниловская					
Могилев-подольская	Нагорянская	Подобно могилевской свите	Фенноскандия	Петрогенная/прошедшая только один цикл седиментации		
	Ярышевская	То же, что и ранее + кислая пирокластика и продукты размыва основных пород, Добруджа	Сарматия и местные источники (платобазальты)			
		Могилевская				
Волынская	Грушкинская	Вт гнейсы Украинского щита				

Примечание. Серый фон – нет данных. 1–6 – факторы, контролировавшие накопление осадочных последовательностей, по данным из работ: 1 – (Копелиович, 1965; Коренчук, Великанов, 1980); 2 – (Paszowski et al., 2021); 3 – (Беккер, 1988); 4 – (Сочава и др., 1992); 5 – (Хераскова и др., 2015); 6 – (Poprawa et al., 2018).

Таблица 2. Продолжение.

Свита	Состав пород-источников тонкой алюмосиликокластики	Категории рек-поставщиков тонкой алюмосиликокластики	Палеогеодинамические обстановки осадконакопления					Данная работа
	по геохимическим данным		3	4	5	6		
	Данная работа							
Збручская								
Окунецкая и хмельницкая								
Студеницкая	Основные и кислые магматические породы	1 + 2 + 3				Пострифтовое прогибание		
Крушановская								
Жарновская	Преимущественно кислые магматические породы		Молассоиды		Коллизия, образование фронта деформаций		Коллизия	
Даниловская								
Нагорянская	Основные и кислые породы	1 + 2	Молассоиды					
Ярышевская	Преимущественно основные магматические породы при подчиненной роли пород кислых	1 + 2 + 4				Рифтогенез, интенсивное прогибание		
Могилевская								
Грушкинская		4						

сноса преобладали вулканические породы. В могилевское и ярышевское время доля их 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 (категория 1) и реки, дренировавшие осадочные породы (категория 2), а в жарновское и студеницкое время в областях сноса присутствовали также магматические и метаморфические образования (размывали их реки категории 3), сходные с породами кристаллического фундамента ВЕП.

ВЫВОДЫ

Из приведенного в начале статьи краткого обзора представлений о составе и эволюции источников обломочного материала для осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья хорошо видно, что большинство принципиальных вопросов формирования переходных слоев докембрия и кембрия в этой области проработаны весьма детально, в первую очередь по материалам изучения песчанников. Что могут добавить к существующим представлениям литогеохимические исследования (даже те из них, где не рассматриваются палеоклиматические, палеогеодинамические и другие факторы, контролировавшие обстановки накопления осадочных толщ) глинистых пород?

Ответ на этот вопрос дает табл. 2, в которой мы попытались собрать вместе результаты предшествующих исследований и настоящей работы.

Литохимические данные предполагают постепенную смену в разрезе петрогенного/прошедшего один седиментационный цикл тонкозернистого обломочного материала литогенной/многократно перетолженной тонкой алюмосиликокластикой (или заметное увеличение доли последней). Это дает основание считать, что корректность выводов, получаемых по литогеохимическим данным, в целом вверх по разрезу снижается, так как первичный сигнал микшируется нарастающими помехами. Геохимические данные в целом не подтверждают этот вывод, так как значения отношений Zr/Sc и Th/Sc в аргиллитах волынской, могилев-подольской и каниловской серий не предполагают их накопления под влиянием процессов рециклинга.

Литохимические данные указывают на то, что источниками тонкой алюмосиликокластики для исследованного нами разреза выступали преимущественно магматические породы кислого состава

при подчиненной роли основных пород (распределение точек состава аргиллитов на диаграммах $(CaO + MgO)-SiO_2/10-(Na_2O + K_2O)$ и F1–F2) или преимущественно породы основного состава (распределение фигуративных точек аргиллитов на диаграмме ICV–CIA). Геохимические данные свидетельствуют о неоднократном изменении с течением времени соотношения на палеоводосборах магматических пород кислого и основного состава при определенном преобладании первых (диаграмма $Cr/Th-Th/Sc$), хотя из диаграммы $Sc-Th/Sc$ вывод может быть сделан противоположный.

Геохимические особенности глинистых пород венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья предполагают также постепенное изменение категорий рек, поставивших в область осадконакопления тонкозернистую алюмосиликокластику. На начальном этапе (волынское/грушкинское время) это были реки категории 4 (реки, дренирующие вулканические области), что соответствует реальной геологической ситуации. В могилевское и ярышевское время в область седиментации поступала также тонкая кластика, переносимая крупными реками и реками, дренировавшими области развития осадочных пород. Очевидно, что такие водные артерии впадали в бассейн, скорее всего, со стороны ВЕП. В нагорянское и даниловское время они становятся доминирующими, хотя по другим данным именно с этим временем связывается поступление материала с появившейся южнее или юго-западнее рассматриваемой нами территории магматической дуги. Геохимические особенности аргиллитов жарновско-студеницкого уровня каниловской серии предполагают, что тонкая алюмосиликокластика в бассейн транспортировалась в это время также крупными реками (категория 1), реками, питающимися в основном продуктами размыва осадочных пород (категория 2), и реками, дренировавшими магматические и метаморфические террейны (категория 3). Последние, возможно, представляли все тот же Украинский щит.

Наконец, несколько слов о палеогеодинамических обстановках накопления отложений венда и нижнего кембрия. То, что они какое-то время формировались под влиянием продуктов размыва вулканических и магматических пород кислого и основного состава, достаточно очевидно. Однако одни авторы считают, что молассоидами сложен весь разрез венда, другие — только его часть. На диаграмме DF1–DF2 средние точки составов глинистых пород волынской, могилев-подольской, каниловской и балтийской серий находятся в поле коллизионных обстановок, хотя расположение на этом графике индивидуальных точек составов этих пород может быть несколько иным.

Таким образом, анализ литогеохимических данных позволил получить новую информацию о составе и особенностях эволюции во времени пород — источников тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей венда и нижнего кембрия Подольского Приднестровья, представляющего юго-западную окраину ВЕП. Новые данные существенно расширяют наши представления об условиях седиментации на крупных докембрийских кратонах.

Благодарности. Авторы искренне признательны рецензентам, советы и замечания которых способствовали улучшению рукописи. Иллюстрации к данной работе выполнены Н.С. Глушковой (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург).

Источники финансирования. Исследования проведены в рамках госзадания ГИН РАН (тема 0135-2019-0043) и ИГГД РАН (тема FMUW-2021-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев А.В., Зинченко О.В., Андреев А.А., Савенок С.П., Хлонь Е.А., Аширова И.И., Морозенко В.Р. О возрасте вещества обломочных пород осадочных бассейнов Украины // Стратиграфия осадочных образований верхнего протерозоя и фанерозоя. Материалы Международной научной конференции. Киев: ИГН НАН Украины, 2013. С. 16–17.
- Бадида Л.В., Маслов А.В., Мизенс Г.А. Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 4. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (цирконов, апатитов) // Литосфера. 2020. Т. 20. № 3. С. 363–385.
- Беккер Ю.Р. Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
- Бибикова Е.В., Лобач-Жученко С.Б., Артеменко Г.В., Классон С., Коваленко А.В., Крылов И.Н. Позднеархейские магматические комплексы Приазовского террейна Украинского щита: геологическое положение, изотопный возраст, источники вещества // Петрология. 2008. Т. 16. № 3. С. 227–247.
- Бибикова Е.В., Классон С., Федотова А.А., Степанюк Л.М., Шумлянский Л.В., Киринова Т.И., Фугзан М.М., Ильинский Л.С. Изотопно-геохронологическое (U–Th–Pb, Lu–Hf) изучение цирконов архейских магматических и метаосадочных пород Подольского домена Украинского щита // Геохимия. 2013. № 2. С. 99–121.
- 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.Я. Український гіпостратотип вендської системи // Геол. журн. 2011. № 1. С. 42–49.
- Великанов В.Я., Мельничук В.Г. Оновлені стратиграфічні схеми нижнього і верхнього венду України // Геол. журн. 2014. № 4. С. 43–56.
- Великанов В.А., Асеева Е.А., Федонкин М.А. Венд Украины. Киев: Наукова думка, 1983. 162 с.
- Великанов В.А., Коренчук Л.В., Кирьянов В.В., Гуреев Ю.А., Асеева Е.А. Венд Подолии. Путеводитель экскурсии III Международного симпозиума по кембрийской системе и границе венда и кембрия. Киев: ИГН АН УССР, 1990. 129 с.
- 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.
- Гниловская М.Б., Ищенко А.А., Колесников Ч.М., Коренчук Л.В., Удальцов А.П. Вендотениды Восточно-Европейской платформы. Л.: Наука, 1988. 142 с.
- Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупнин М.Т., Маслов А.В. Котлинский горизонт на Южном Урале // Докл. АН. 2011. Т. 440. № 2. С. 201–206.
- Гриценко В.П. Верхньовендська теригенна (піщано-глиниста) формація Поділля // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. Т. 11. Київ: ІГН НАН України, 2018. С. 38–45.
- Дригант Д.М., Гаврилишин В.И., Гинда В.А. Верхний докембрий–нижний палеозой Среднего Приднестровья. Киев: Наукова думка, 1982. 105 с.
- Иллюстрированный атлас мира. Лондон, Нью-Йорк, Монреаль, Москва: Ридерз дайджест, 2002. 287 с.
- Интерпретация геохимических данных. Отв. ред. Складарев Е.В. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. М.: Наука, 1965. 312 с.
- Коренчук Л.В. Стратотипические разрезы могилев-подольской серии венда Приднестровья. Киев: ИГН АН УССР, 1981. 55 с.
- Коренчук Л.В., Великанов В.А. Вещественный состав нижних свит опорного разреза венда Подольского выступа Украинского щита // Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 1980. С. 45–56.
- Коренчук Л.В., Ищенко А.А. Стратотипические разрезы каниловской серии венда Приднестровья. Киев: ИГН АН УССР, 1980. 57 с.
- Коренчук Л.В., Сокур Т.М. Литологические изменения на границах стратон в рифее–венде на юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы // Геол. журн. 2006. № 4. С. 99–104.
- Кузьменкова О.Ф., Носова А.А., Шумлянский Л.В. Сравнение неопротерозойской Волыно-Брестской магматической провинции с крупными провинциями континентальных платобазальтов мира, природа низко- и высокотитанистого базитового магматизма // Литасфера. 2010. № 2. С. 3–16.
- Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В., Балтыбаев Ш.К., Артеменко Г.В., Богомолов Е.С., Юрченко А.В., Степанюк Л.М., Сукач В.В. Метаморфизованные осадочные породы днестровско-бугской серии палеоархея Украинского щита: состав, возраст, источники // Литология и полезн. ископаемые. 2014. № 5. С. 406–423.
- Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы. Среднее Приднестровье и Волянь. Отв. ред. Иванов А.Ю. М.: ПИН РАН, 2015. 144 с.
- Мартишин А.І. Фосилії пізнього венду (едіакарію) Поділля та їх значення для вивчення ранніх етапів еволюції органічного світу: Автореф. дисс. ... науков. ступеня канд. геологічних наук. Київ: Міністерство освіти і науки України Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Інститут геологічних наук НАН України, 2021. 24 с.
- Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 289 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., 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., Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В.* Характер изменения ряда литохимических индикаторов обстановок и среды осадконакопления во временной окрестности котлинского кризиса (на примере венда Подолии) // Ежегодник-2016. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. С. 68–75.
- 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.
- Маслов А.В., Мельничук О.Ю., Мизенс Г.А., Титов Ю.В., Червяковская М.В.* Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 2. Лито- и изотопно-геохимические подходы и методы // Литосфера. 2020. Т. 20. № 1. С. 40–62.
- Носова А.А., Кузьменкова О.Ф., Веретенников Н.В., Петрова Л.Г., Левский Л.К.* Неопротерозойская Волыско-Брестская магматическая провинция на западе Восточно-Европейского кратона: особенности внутриплитного магматизма в области древней шовной зоны // Петрология. 2008. Т. 16. № 2. С. 115–147.
- Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. Отв. ред. Келлер Б.М., Розанов А.Ю. М.: Наука, 1980. 118 с.
- Рябенко В.А., Великанов В.А., Асеева Е.А., Палий В.М., Цегельнюк П.Д., Зернецкая Н.В.* Палеонтология и стратиграфия верхнего докембрия и нижнего палеозоя юго-запада Восточно-Европейской платформы. Киев: Наукова думка, 1976. 168 с.
- Соколов Б.С.* Венд: принципы обособления, границы и место в шкале // Стратиграфия верхнего протерозоя СССР. Рифей и венд. Л.: Наука, 1979. С. 42–61.
- Сокур Т.М.* Петрохимическая характеристика и геодинамическая обстановка формирования песчаников верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Геол. журн. 2008. № 1. С. 63–71.
- Сокур Т.М.* Франколит – минерал-индикатор литогенеза аргиллитов верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2011. С. 202–205.
- Сокур Т.М.* Литологические и геохимические особенности аргиллитов верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Наукові праці ДонНТУ. Серія Гірничо-геологічна. Вип. 16 (206). 2012. С. 12–19.
- Сокур Т.М.* Диагностика вулканогенного материала в аргиллитах верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Геохимия литогенеза. Материалы Российского совещания с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 89–92.
- Сокур Т.М.* Петрохимические особенности аргиллитов и песчаников пограничных слоев венда и кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы X научных чтений, посвященных памяти проф. М.В. Муратова. М.: МГРИ-РГГРУ, 2016а. С. 94–96.
- Сокур Т.М.* Особенности вулканизма в верхневендских отложениях восточной и юго-западной окраин Восточно-Европейской платформы // Осадочные комплексы Урала и прилегающих регионов и их минералогия. Материалы II Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016б. С. 246–249.
- Сокур Т.М.* Тектоника и особенности вулканизма в отложениях венда на юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2016в. С. 184–187.
- Сокур Т.М.* Тектонические особенности формирования песчаников верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Геология на окраине континента. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального ун-та, 2019. С. 38–40.
- Сокур Т.М., Фигура Л.А.* Диагенетическая каолинитовая минерализация в аргиллитах венда на юго-западном склоне Украинского щита // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. Вип. 2. Київ: ІГН НАН України, 2009. С. 147–151.
- Сочава А.В., Коренчук Л.В., Пиррус Э.А., Фелицын С.Б.* Геохимия верхневендских отложений Русской платформы // Литология и полезн. ископаемые. 1992. № 2. С. 71–89.
- Стратиграфия верхнедокембрийских и кембрийских отложений запада Восточно-Европейской платформы. Отв. ред. Келлер Б.М., Розанов А.Ю. М.: Наука, 1979. 236 с.
- Стратиграфия верхнего протерозоя, палеозоя та мезозоя України. Відп. ред. Гожик П.Ф. Київ: Логос, 2013. 636 с.
- Фелицын С.Б.* Вулканизм, выветривание и вариации цикла фосфора в венде на Восточно-Европейской платформе // Литология и полезн. ископаемые. 2004. № 4. С. 375–386.
- Фелицын С.Б., Сочава А.В., Ваганов П.А., Мейер В.А.* Иридиевая аномалия на рубеже вымирания эдиакарской фауны // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308. № 5. С. 1200–1203.
- Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Сапожников Р.Б.* Корреляция позднедокембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и в смежных палеоокеанических областях // Геотектоника. 2015. № 1. С. 31–59.
- Шумлянский Л.В.* Геохимия пород Осницко-Микашевичского вулканоплутонического пояса Украинского щита // Геохимия. 2014. № 11. С. 972–985.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Bavinton O.A.* The nature of sulfidic metasediments at Kambalda and their broad relationships with associated ultramafic rocks and nickel ores // Econ. Geol. 1981. V. 76. P. 606–1628.

- Braccialli 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.* Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // *Chem. Geol.* 1993. V. 104. P. 1–37.
- 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.
- Cullers R.L.* Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // *Chem. Geol.* 2002. V. 191. P. 305–327.
- Cullers R.L., Podkovyrov V.N.* The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uig group, southeastern Russia // *Precambrian Res.* 2002. V. 117. P. 157–183.
- Fedo C.M., Young G.M., Nesbitt H.W.* Paleoclimatic control on the composition of the Paleoproterozoic Serpent Formation, Huronian Supergroup, Canada: a greenhouse to icehouse transition // *Precambrian Res.* 1997. V. 86. P. 201–223.
- Francovschi I., Grădinaru E., Roban R.-D., Ducea M.N., Ciobotaru V., Shumlyanskyy L.* Rare earth element (REE) enrichment of the late Ediacaran Kalyus Beds (East European Platform) through diagenetic uptake // *Geochemistry*. 2020. V. 80. 125612.
- Francovschi I., Grădinaru E., Li H., Shumlyanskyy L., Ciobotaru V.* U–Pb geochronology and Hf isotope systematics of detrital zircon from the late Ediacaran Kalyus Beds (East European Platform): palaeogeographic evolution of southwestern Baltica and constraints on the Ediacaran biota // *Precambrian Res.* 2021. V. 355. 106062.
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*. Ed. Lentz D.R. Geol. Assoc. Can. Geotext 4, 2003. 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.
- Kuzmenkova O.F., Shumlyanskyy L.V., Nosova A.A., Voskoboinikova T.V., Grakovich I. Yu.* Petrology and correlation of trap formations of the Vendian in the adjacent areas of Belarus and Ukraine // *Літацфера*. 2011. № 2 (35). P. 3–11.
- Le Maitre R.W.* (Ed.) *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, 2002. 236 p.
- 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. V. 284. P. 21–40.
- Paszowski M., Budzyn B., Mazur S., Slama J., Shumlyanskyy L., Srodon J., Dhuime B., Kędzior A., Liivamagi 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.
- Paszowski M., Budzyn B., Mazur S., Slama J., Srodon J., Millar I.L., Shumlyanskyy L., Kędzior A., Liivamagi 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.* Geological setting and Ediacaran-Palaeozoic evolution of the western slope of the East European Craton and adjacent regions // *Annal. Soc. Geol. Polon.* 2019. V. 89. P. 347–380.
- Poprawa P., Radkovets N., Rauball J.* Ediacaran-Paleozoic subsidence history of the Volyn-Podillya-Moldova basin (Western and SW Ukraine, Moldova, NE Romania) // *Geol. Quart.* 2018. V. 62. P. 459–486.
- Poprawa P., Krzemińska 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.
- Potter P.E., Maynard J.B., Depetris P.J.* *Mud and Mudstones: Introduction and Overview*. Springer, 2005. 308 p.
- Rollinson H.R.* *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Essex: London Group UK Ltd., 1994. 352 p.
- Roser B.P., Korsch R.J.* Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // *Chem. Geol.* 1988. V. 67. P. 119–139.
- Rudnick R.L., Gao S.* *Composition of the Continental Crust* // *Treatise on Geochemistry*. 2003. V. 3. P. 1–64.
- Shumlyanskyy L., Andreasson P.G., Buchan K.L., Ernst R.E.* The Volynian flood basalt province and coeval (Ediacaran) magmatism in Baltoscandia and Laurentia // *Mineral. J. Ukraine*. 2007. V. 29. P. 47–53.
- Shumlyanskyy L., Mitrokhin O., Billström K., Ernst R., Vishnevskaya E., Tsybal S., Cunej M., Soesoo A.* The ca. 1.8 Ga mantle plume related magmatism of the central part of the Ukrainian shield // *GFF*. 2016. V. 138. № 1. P. 86–101.
- Soldatenko Y., El Albani A., Ruzina M., Fontaine C., Nestorovsky V., Paquette J.-L., Meunier A., Ovtcharova M.* Precise U–Pb age constrains on the Ediacaran biota in Podolia, East European Platform, Ukraine // *Sci. Rep.* 2019. V. 9. P. 1–13.
- Taylor S.R., McLennan S.M.* *The Continental Crust: Its composition and evolution*. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.
- Tribovillard N., Algeo T.J., Lyons T., Riboulleau A.* Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update // *Chem. Geol.* 2006. V. 232. P. 12–32.
- Turgeon S., Brumsack H.-J.* Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria–Marche basin of central Italy // *Chem. Geol.* 2006. V. 234. P. 321–339.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // *Chem. Geol.* 2013. V. 355. P. 117–133.

Рецензенты А.Б. Котов, А.Б. Кузнецов

Provenances of Fine-Grained Aluminosilicoclastics for Vendian–Lower Cambrian Deposits of Podolian Transnistria: Synthesis of Lithochemical Data

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*

^{##} *e-mail: vpodk@mail.ru*

The lithochemical features (distribution of main rock-forming oxides and trace elements) of clayey rocks of the Volyn, Mogilev-Podolsk, Kanilovka, and Baltic groups (Vendian and Lower Cambrian) of Podolian Transnistria, which make it possible to reconstruct the composition of rock complexes eroded in paleo-catchment areas, are considered. It is shown that on the basis of lithochemical data, it is possible to assume the replacement petrogenic (which passed one sedimentation cycle) fine-grained clastic material by lithogenic (redeposited) one. The sources of the material were mainly felsic igneous rocks with the subordinate role of the basic rocks, or the latter predominated in the paleo-catchments. Geochemical data indicate a repeated change over time in the ratio of felsic and basic igneous rocks in paleo-catchments, with a certain predominance of the former. These data also suggest a gradual change in the categories of rivers that supplied thin aluminosilicoclastics to the sedimentation area. At the initial stage (Volyn/Grushka time), these were rivers draining volcanic areas, while, for example, in the Zarnov-Studenitsky time, the Kanilov basin was fed by material from (1) large rivers, (2) rivers crossing areas of sedimentary rocks and (3) rivers that drained igneous and metamorphic terranes (Ukrainian Shield?).

Keywords: Podolian Transnistria, Vendian, Lower Cambrian, clay rocks, lithochemistry, provenances