

УДК 551.72 (47):551.82

КАТЕГОРИИ ВОДОСБОРОВ-ИСТОЧНИКОВ ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКИ ДЛЯ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ВЕНДА СЕВЕРНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2021 г. А. В. Маслов^{a, b, *}, В. Н. Подковыров^{c, **}

^a Институт геологии и геохимии УрО РАН, ул. акад. Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620016 Россия

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

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

*e-mail: amas2004@mail.ru

**e-mail: vpodk@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2020 г.

После доработки 09.04.2020 г.

Принята к публикации 14.08.2020 г.

Несмотря на имеющуюся в настоящее время характеристику обстановок накопления вендских осадочных последовательностей северо-западной, центральной, северной, северо-восточной и восточной частей Восточно-Европейской платформы, вопрос о типах питающих провинций и соотношении в их составе кристаллических комплексов, осадочных и метаосадочных толщ остается в определенной мере дискуссионным. Расположение точек составов глинистых пород различных литостратиграфических подразделений венда на диаграммах $(CaO + MgO) - SiO_2/10 - (Na_2O + K_2O)$, $La/Sc - Th/Co$ и $F1 - F2$ свидетельствует о преимущественно зрелых в геохимическом отношении комплексах пород или субстратов-источников основной части тонкой алюмосиликокластики. Такими источниками могли быть как осадочные образования, так и магматические породы кислого и среднего состава. Локализация точек составов глинистых пород на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$ позволяет думать, что в мелководные морские бассейны венда в основном поступал обломочный материал, транспортировавшийся крупными реками, водосборы которых включали разнообразные по составу комплексы пород, и/или реками, питавшимися продуктами разрушения преимущественно осадочных образований. Это дает основание предполагать, что на Восточно-Европейской платформе площади распространения осадочных толщ рифея (в настоящее время приуроченных только к авлакогенам) и метаосадочных образований нижнего протерозоя могли быть более значительными, чем это оценивается в настоящее время.

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа, Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий, Башкирский мегантиклинорий, венд, категории водосборов, источники тонкой алюмосиликокластики.

DOI: 10.31857/S0024497X21010079

Венд характеризуется не только первым глобальным распространением макроорганизмов и разнообразными экосистемными перестройками, предшествовавшими “кембрийскому взрыву”, но и значительными климатическими пертурбациями, а также сменой “юного” этапа развития Восточно-Европейской платформы “зрелым” – собственно платформенным [Вендская система, 1985 и др.]. К началу венда завершается развитие древних авлакогенов платформы, после чего многие из них трансформировались в обширные внутри- и перикратонные впадины, занятые мелководными “постледниковыми” морями. В начале венда, как и в рифее, Восточно-Европейская платформа ха-

рактеризовалась высоким стоянием; позднее она испытала относительно малоамплитудные отрицательные эпейрогенические движения. И если в первом случае преобладал снос обломочного материала с платформы, то в позднем венде источниками значительной части кластики были и обрамляющие платформу орогенные сооружения [Аксенов, 1985 и ссылки в этой работе; Беккер, 1988; Сочава и др., 1992 и др.].

Для начала венда характерно формирование моренных и разнообразных флювио-гляциальных отложений на большей части платформы [Аксенов, 1985; Чумаков, 2015 и др.]. На ее периферии они, по-видимому, замещались марино-гляциаль-

ными толщами. В южной части платформы (обрамление Украинского и Воронежского кристаллических массивов) проявился трапповый вулканизм [Shumlyansky et al., 2016 и др.]. В современном плане отложения этого этапа характеризуются довольно фрагментарным распространением, что в значительной степени связано и с последующими размывами.

Более молодые отложения венда несогласно и трансгрессивно перекрывают выступы и массивы кристаллического фундамента платформы. Максимальные их мощности (~1.2–1.5 км и более) характерны для периферии платформы, тогда как во внутренних ее частях они не превышают 100–200 м. Общая площадь распространения отложений верхней части венда в северо-западной, центральной, северной, северо-восточной и восточной¹ частях платформы составляет несколько менее 2 млн км². Крупные поля их развития приурочены здесь к Московской синеклизе, Верхнекамской и Шкапово-Шиханской впадинам.

В истории поздневендского осадочного бассейна на рассматриваемой нами территории могут быть выделены несколько стадий развития, краткая характеристика которых ниже приведена по данным Е.М. Аксенова [1985]. При этом следует, однако, иметь в виду, что с конца 1970-х и до начала 1980-х гг. представления о расчленении отложений венда Восточно-Европейской платформы на свиты и горизонты, а также данные о возрасте тех или иных его литостратиграфических подразделений, претерпели существенные изменения. Мы старались по возможности максимально генерализовать палеогеографическую характеристику венда, данную в работе [Аксенов, 1985], уделив особое внимание положению источников обломочного материала. К сожалению, за годы, прошедшие со времени публикации хорошо известной двухтомной монографии “Вендская система” (1985 г.), более обстоятельных работ по палеогеографии и обстановкам накопления осадочных последовательностей венда северо-запада, северо-востока и центральных районов Восточно-Европейской платформы не появилось. Исключением являются Юго-Восточное Беломорье и западный склон Среднего Урала, анализу обстановок формирования осадочных толщ венда в этих районах посвящены публикации [Гражданкин, 2003; Гражданкин и др., 2009, 2010 и др.].

На первой стадии накопление осадков происходило в наиболее пониженных участках рельефа. Для выполняющих эти участки образований характерно быстрое изменение литологических, гранулометрических характеристик и мощностей. Вдоль склонов Балтийского и Волго-Камского

массивов формировались преимущественно пролювиально-аллювиальные отложения, сменявшиеся в приосевой части Московской синеклизы аллювиальными образованиями. В Притиманье и Приуралье они замещались озерно-лагунными и прибрежно-морскими отложениями. Считается, что основными источниками обломочного материала в это время служили “... пенеппенизированные, с хорошо развитым профилем латеритной коры выветривания, но еще отчетливо выраженные в рельефе Балтийский, Волго-Камский, Украинско-Воронежский массивы и мелкие выступы фундамента ...” [Аксенов, 1985, с. 29].

Дальнейшее опускание платформы привело к трансгрессии моря и появлению на значительной ее части мелководных обстановок с преимущественным накоплением тонкозернистых глинистых осадков. Некоторые авторы полагают, что активизация платформенных областей способствовала в ряде случаев поступлению в области осадконакопления песчано-алевритового материала и на этом этапе. В конце этапа в периферические районы платформы аллохтонный полимиктовый материал привносился, в основном, по-видимому, со стороны Тимана, Северного и Среднего Урала. Границы современного распространения отложений данного этапа почти повсеместно искажены эрозией.

В конце венда Восточно-Европейская платформа вновь становится ареной мелководно-морской седиментации. Особенностью данного этапа, по мнению Е.М. Аксенова [1985, с. 32], “... является значительное сокращение площади осадконакопления на платформе, за исключением Шкапово-Шиханской впадины, дальнейшее обмеление бассейна седиментации и накопление, наряду с прибрежно- и мелководно-морскими, в значительном количестве континентальных осадков. ... Ближе к зонам обрамления ... осадки приобретают субаквальный и равнинно-долинный характер, а в зонах краевых прогибов ... формировались существенно континентальные красноцветные ... толщи ...”. Поступление обломочного материала на этом этапе происходило “... не только со стороны обрамлявших платформу орогенных зон, но и с выступов фундамента Особенно отчетливо снос происходил с юго-восточной части Волго-Камского массива и со стороны Балтийского щита”.

Несмотря на приведенную в работе [Аксенов, 1985] достаточно полную характеристику обстановок накопления верхневендских осадочных последовательностей северо-западной, центральной, северной, северо-восточной и восточной частей Восточно-Европейской платформы, соотношение в составе питающих провинций кристаллических комплексов фундамента, осадочных и метаосадочных толщ, выступавших источниками обломочного материала, до настоящего времени остается

¹ В состав последней мы включаем, в том числе, и вендские осадочные последовательности западного склона Среднего и Южного Урала.

Система	Отдел	Региоарус	Балтийская моноклираль		Вычегодский прогиб	Западный склон Среднего Урала	Западный склон Южного Урала		
			Южный склон	Восточный склон (ЮВ Беломорье)					
Вендская	Верхний	Котлинский и низы ровенского	Воронковская	Золотицкая	Скв. Кельменская 1	Интервал 1725–1330 м	Усть-сылвицкая	Урюкская, зиганская, куккараукская и зиганская ?	
			Василеостровская	Ергинская					
		Беломорский		Зимнегорская		Интервал 2309–1725 м	Чернокаменная		
				Верховская					
	Редкин-ский	Старорусская	Лямецкая	Интервал 2790–2309 м		Переваловская			
						Старопечнинская			
	Нижний	Лапланд-ский				Керноская		Суировская	Бакеев-ская
						Бутонская			
						Койвинская			
						Гаревская			
				Танинская		Толпаровская			

Примечание. Серый фон – перерывы.

Рис. 1. Основные литостратиграфические подразделения венда северо-западной, северной, северо-восточной и восточной частей Восточно-Европейской платформы. Верхний венд объединяет редкинский, беломорский и котлинский региоарусы в соответствии с работой [Гражданкин, Маслов, 2015].

дискуссионным. Мы в настоящей публикации постарались прояснить этот вопрос, основываясь на современных литогеохимических методах и подходах.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ ВЕНДА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ, СЕВЕРНОЙ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В Общей стратиграфической шкале докембрия России вендская система в настоящее время подразделяется на два отдела – нижний и верхний [Стратиграфический кодекс ..., 2019] (рис. 1). Отложения нижнего отдела венда на рассматриваемой нами территории известны на западном склоне Среднего (Кваркушско-Каменногорский мегантиклинорий) и Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий).

В позднем венде на северной, северо-восточной и восточной (в современных координатах) окраинах Восточно-Европейской платформы перед фронтом Варангер-Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса, или Тиманского орогена, существовал протяженный относительно мелководный предгорный бассейн (далее в тексте называемый – Предтиманским) [The Neoproterozoic Timanide ..., 2004 и др.], в котором накапливались осадочные последовательности валдайской и сыльничной серий. Происходило формирование терригенных отложений верхнего венда и на южном склоне Балтийского щита (современная Балтийская/Лужско-Ладожская моноклираль) (рис. 2).

В соответствии с представлениями, изложенными в работе [Гражданкин, Маслов, 2015], верхний венд на рассматриваемой нами территории может быть расчленен на редкинский, беломорский и котлинский региоарусы. Отложения верхней части ашинской серии западного склона Южного Урала принадлежат, по данным работы [Kolesnikov et al., 2015], только котлинскому региоарусу² [Grazhdankin, 2014; Гражданкин, Маслов, 2015]. Считается, что они накапливались во внутриконтинентальном заливе, по-видимому, сообщавшимся на юге с открытым морским бассейном.

На южном склоне Балтийского щита (Лужско-Ладожская моноклираль) к редкинскому региоарусу относится старорусская свита (до 45 м), представленная пестроцветными алевролитами и аргиллитами, чередующимися вблизи основания и кровли с песчаниками [Геология ..., 1971; Подковыров и др., 2017 и др.]. Котлинский региоарус включает здесь отложения василеостровской и воронковской свит [Гражданкин, Маслов, 2015; Подковыров и др., 2017]. Василеостровская свита (150–170 м) объединяет нижнюю песчано-глинистую и верхнюю, существенно глинистую, подсвиты. В разрезах нижней подсвиты чередуются пестроцветные алевроаргиллиты и песчаники, а верхняя – сложена зеленовато- и голубовато-серыми глинами с пропластками сидерита

² По данным [Разумовский и др., 2020], U–Pb изотопный возраст цирконов из вулканических туфов, присутствующих в разрезе басинской свиты к югу от с. Макарово, составляет 573.0 ± 2.3 млн лет, что, по всей видимости, приведет в будущем к определенному пересмотру указанных представлений.

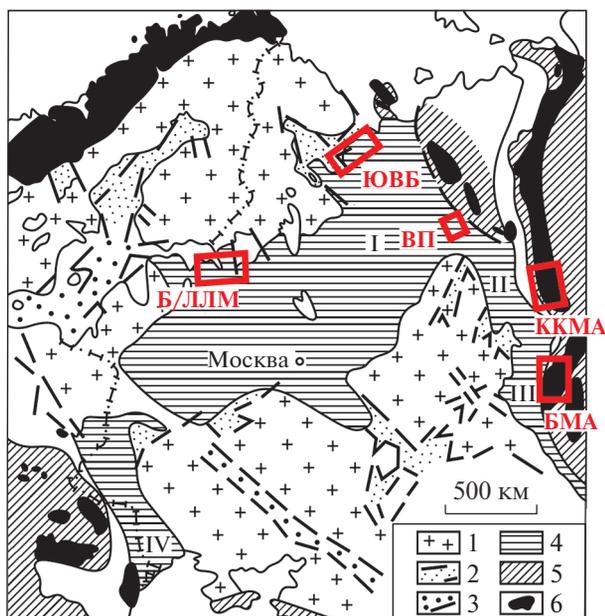


Рис. 2. Восточно-Европейская платформа в венде (по [Аксенов, 1985], с изменениями): положение основных регионов и структур, рассматриваемых в настоящей работе (Б/ЛЛМ – Балтийская/Лужско-Ладожская моноклираль, ЮВБ – Юго-Восточное Беломорье, ВП – Вычегодский прогиб, ККМА – Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий, БМА – Башкирский мегантиклинорий). 1 – щиты, массивы и антеклизы; 2 – рифейские грабенообразные прогибы установленные; 3 – то же предполагаемые; 4 – синеклизы и впадины (I – Московская; II – Верхнекамская; III – Шкаповско-Шиханская; IV – Днестровский перикратон); 5 – складчатые сооружения Карпат, Горного Крыма, Кавказа, Урала и Тимана; 6 – выходы образований докембрия в обрамлении платформы.

и отдельными прослоями песчаников. Воронковская свита (0–20 м) представлена пестроцветными тонкослоистыми глинами и алевролитами, с песками и алевролитами в верхней части [Геология ..., 1971; Подковыров и др., 2017 и др.].

На восточном склоне Балтийского щита (Юго-Восточное Беломорье) *редкинский региоярус* представлен нижней частью лямницкой свиты – толщей тонкого переслаивания алевролитов и глин, среди которых присутствуют и песчаники [Гражданкин, 2003; Гражданкин, Маслов, 2015]. К *беломорскому региоярису* здесь относятся: верхняя часть лямницкой свиты, верховская и зимнегорская свиты, а также нижняя подсвита ергинской свиты [Гражданкин, Маслов, 2015]. Верхняя часть лямницкой свиты (≈60 м) сложена песчаниками и пачками переслаивания пятнисто-окрашенных алевролитов и глин [Гражданкин, 2003]. Верховская свита (до 170 м) объединяет тонкослоистые глины, а также разнообразные пачки переслаивания алевролитов, глин и песчаников. Зимнегор-

ская свита (до 125 м) представлена пестроцветными глинами, линзами гравелитов и конгломератов, а также пачками чередования песчаников, алевролитов и глин. Нижняя подсвита (≈70 м) ергинской свиты сложена пачками переслаивания песчаников, алевролитов и глин пестрой окраски [Гражданкин, 2003]. К *котлинскому региоярису* в Юго-Восточном Беломорье принадлежит верхняя подсвита ергинской свиты (80–90 м), объединяющая пачки переслаивания песчаников, алевролитов и пестрых глин [Гражданкин, Маслов, 2015].

Вычегодский прогиб (район скв. Кельтменская 1). К *редкинскому региоярису* в скв. Кельтменская 1 относятся породы, вскрытые в интервале 2790(80)–2309 м. Это пятнисто-окрашенная толща тонкого переслаивания аргиллитов, алевролитов и песчаников. *Беломорский региоярус* объединяет отложения, вскрытые в интервале 2309–1725 м – тонко- и грубопереслаивающиеся светло-серые песчаники, алевролиты и темно-серые аргиллиты [Подковыров и др., 2011]. К *котлинскому региоярису* в скв. Кельтменская 1 может быть отнесен интервал 1725–1330 м, сложенный песчаниками, зеленовато-серыми алевролитами, голубовато- и коричневатосерыми аргиллитами [Подковыров и др., 2011].

К *лапландскому гляциогоризонту* на *западном склоне Среднего Урала*, по представлениям, изложенным в публикации [Гражданкин, Маслов, 2015], относятся танинская, гаревская, койвинская и бутонская свиты серебрянской серии. Танинская свита (360–800 м) представлена диамиктитами, песчаниками и глинистыми сланцами; подчиненную роль в ее разрезах играют известняки и эффузивные породы. Гаревская свита (300–750 м) объединяет глинистые сланцы, в том числе слабоуглеродистые, и песчаники. Койвинская свита сложена пестроцветными глинистыми сланцами, алевролитами и карбонатными породами. Мощност свиты в южной части Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, там, где в ее разрезах отсутствуют эффузивы, составляет около 250 м [Маслов, 2000]. Бутонская свита (200–350 м) представлена преимущественно темно-серыми слабоуглеродистыми глинистыми сланцами с прослоями песчаников в верхней части.

Редкинский региоярус объединяет здесь керносую, старопечнинскую и перевалокскую свиты [Гражданкин, Маслов, 2015]. В разрезах керносской свиты (200–1200 м) преобладают песчаники с прослоями гравелитов и филлитовидных сланцев. Старопечнинская свита (200–500 м) представлена диамиктитами, песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Перевалокская свита (до 300 м) сложена преимущественно глинистыми сланцами, с прослоями песчаников в верхней части.

К *беломорскому региоярису* в Кваркушко-Каменногорском мегантиклинории принадлежат 5 нижних подбит чернокламенной свиты [Гражданкин, Маслов, 2015]. Начинает его разрез вилухинская подсвита (до 200 м), сложенная чередова-

нием зеленовато-серых песчаников и пестроцветных алевроаргиллитов [Гражданкин и др., 2009]. Залегающая выше шурышская подсвета (170–200 м) объединяет алевролиты с прослоями и пластами песчаников. Черемуховская подсвета (30–35 м) – это преимущественно светло- и зеленовато-серые песчаники. Синекаменская подсвета (до 150 м) представлена разнообразными пачками переслаивания алевролитов и алевроаргиллитов с прослоями песчаников. Коноваловская подсвета (до 150 м) сложена внизу толщей алевролитов с редкими пластами песчаников, а сверху – разнообразными пачками переслаивания алевролитов, аргиллитов и песчаников. Последние в верхней части подсветы из разреза исчезают.

Котлинский региоярус на Среднем Урале включает две верхние (крутихинская и кобылоостровская) подсветы чернокаменной свиты [Гражданкин, Маслов, 2015]. Первая (до 400 м) сложена пачками песчаников и аргиллитов зеленовато-серых и пачками аргиллитов голубовато-серых и красно-коричневых. В верхней ее части присутствуют пачки переслаивания пестроцветных алевролитов, аргиллитов и песчаников. Кобылоостровская подсвета (~100 м) представлена песчаниками, чередующимися с пачками зеленовато-серых алевролитов и аргиллитов [Гражданкин и др., 2009].

На западном склоне Южного Урала, в бассейне р. Зилим в окрестностях д. Толпарово в нижней части ашинской серии присутствуют толщи песчаников, диамиктитов и аргиллитов (толпарововская и суировская свиты) [Келлер и др., 1984 и др.]. Эти образования, как и сопоставляемые с ними [Маслов, 2000 и др.] отложения бакеевской свиты³, принадлежат, вероятно, *лапландскому глициогоризонту* [Гражданкин, Маслов, 2015]. К *котлинскому региоярису* здесь, по представлениям [Гражданкин, Маслов, 2015; Kolesnikov et al., 2017], относятся урюкская, басинская, куккараукская и зиганская свиты ашинской серии. Урюкская свита (200–300 м) объединяет светло- и розовато-серые песчаники, алевролиты, гравелиты и конгломераты. Басинская свита (до 1000 м) представлена серыми и зеленовато-серыми песчаниками, переслаивающимися преимущественно с алевролитами и глинистыми сланцами такой же окраски. Куккараукская свита (200–250 м) сложена конгломератами, песчаниками и алевролитами. Зиганская свита (500–600 м) объединяет серо- и зеленоцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты и гравелиты.

³ С учетом данных публикаций [Kuznetsov et al., 2017; Зайцева и др., 2019], бакеевская свита имеет криогениевый возраст (соответственно, 638 ± 13 и 642 ± 9 млн лет, Rb–Sr метод, глауконит).

СОСТАВ И ТИПЫ ПИТАЮЩИХ ПРОВИНЦИЙ И ИХ РЕКОНСТРУКЦИЯ

Существуют различные подходы к реконструкции как состава размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород, так и типов питающих провинций, основанные на интерпретации разнообразных литогеохимических данных. Достаточно полный обзор этих подходов можно найти в публикациях [Маслов и др., 2018, 2020], здесь же мы остановимся только на некоторых из них.

В конце 1970-х гг. в работах [Bavinton, 1979, 1981] для реконструкции состава размывавшихся на палеоводосборах пород была использована диаграмма $(CaO + MgO) - SiO_2/10 - (Na_2O + K_2O)$ с тремя областями: типичной для продуктов размыва гранитов (тяготеет к стороне $SiO_2/10 - (Na_2O + K_2O)$ диаграммы); базальтов и ультраосновных пород (тяготеет к стороне $(CaO + MgO) - SiO_2/10$); а также архейских (?) осадочных образований, поскольку ее автор исследовал метаосадочные породы зеленокаменного пояса Камбалда, Западная Австралия.

Широко применяемой для расшифровки состава пород на палеоводосборах является диаграмма $La/Sc - Th/Co$ [Taylor, McLennan, 1985; Cullers, 2002 и др.]. Область составов тонкозернистых обломочных/глинистых пород, образованных за счет продуктов размыва кислых магматических образований, описывается на ней значениями La/Sc и Th/Co от 0.6 до 8.0 и от 0.2 до 10.0 соответственно. Область составов, сформированных в результате эрозии основных магматических пород, характеризуется величинами $La/Sc - 0.01...0.2$ и $Th/Co - 0.01...0.08$.

Очевидно, что наиболее успешно обе эти диаграммы могут быть использованы при исследовании осадочных образований первого цикла седиментации (“first cycle sediments”).

В статье [Roser, Korsch, 1988] проанализировано несколько осадочных последовательностей, сложенных продуктами разрушения: 1) базальтов и андезитов; 2) андезитов; 3) кислых плутонических и вулканических пород; 4) зрелых кварцевых песчаников. Показано, что в направлении от первой группы к четвертой составы осадочных пород характеризуются ростом значений SiO_2/Al_2O_3 и K_2O/Na_2O и снижением параметра $Fe_2O_{3общ} + MgO$. При этом на диаграммах, построенных с участием оксидов или их отношений, наблюдается существенное перекрытие областей разных групп, однако данный эффект почти исчезает при использовании диаграммы на основе дискриминантных функций $F1$ и $F2$ ⁴.

В настоящей работе при реконструкции типов питающих провинций, поставивших в венде тон-

⁴ $F1 = 30.638TiO_2/Al_2O_3 - 12.541Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 35.402K_2O/Al_2O_3 - 6.382$; $F2 = 56.500TiO_2/Al_2O_3 - 10.879Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.404Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 3.89$.

кую алюмосиликакластику в Предтима́нский предгорный бассейн и на южную периферию Балтийского щита, помимо охарактеризованных выше подходов, мы опираемся и на геохимические характеристики пелитовых и алеврито-пелитовых осадков устьевых частей современных рек, дренирующих различные по составу и площади водосборы. Одной из современных публикаций на эту тему является статья [Bayon et al., 2015], в которой показано, что пробы поверхностного слоя донных осадков устьевых частей современных рек дают возможность выделить ряд категорий последних в зависимости от размеров водосборов, а также состава слагающих их комплексов пород. Представляется, что суммированные в названной работе аналитические материалы для донных осадков алевритового и, прежде всего, пелитового состава различных категорий рек, можно рассматривать как отражающие характерные черты взвеси, транспортируемой реками в морские бассейны из различных питающих провинций; подробнее этот вопрос рассмотрен в публикации [Маслов, Шевченко, 2019].

К числу этих категорий относятся: 1) “крупные реки”⁵ (world’s major rivers), т.е. реки, характеризующиеся сложно построенными водосборами с площадью > 100000 км², типичные примеры таких рек – Конго, Янцзы, Ориноко, Висла, Фрейзер. Водосборный бассейн последней имеет площадь ~220 тыс. км² и охватывает крупные части Северо-Американских Кордильер и Берегового Хребта. В пределах Предгорного пояса Скалистых гор на его территории преобладают метаморфизованные верхнедокембрийские и кембрийские обломочные и карбонатные породы, присутствуют здесь и гранитоиды. В центральной части водосбора на дневную поверхность выведены вулканиты и осадочные породы поздне триасово-раннетретичного возраста и гранитоиды. В Береговом Хребте доминируют мезозойско-кайнозойские гранитоиды и метаморфические образования. В целом на площади водосбора р. Фрейзер преобладают вулканические породы (~42%), доля осадочных образований составляет около 36%, а кислых интрузивных пород – около 15% [Cameron et al., 1995; Peucker-Ehrenbrink et al., 2010]); 2) реки, дренирующие преимущественно осадочные образования (rivers draining “mixed/sedimentary” formations), такие как Флай⁶, Чубут, Сефид Руд, Вар, Мойола и др.; 3) реки, питающиеся продуктами размыва “магматических/метаморфических” террейнов (rivers draining “igneous/metamorphic” terranes) –

Каура, Аро, Уме, Луле, Фойл и др.; 4) реки, дренирующие провинции, сложенные в основном вулканическими породами (rivers draining “volcanic” rocks), реки Камчатка, Уаикато, Сикс Майл, Галец и др.). С учетом ряда оговорок, перечисленные категории можно рассматривать как некие эталоны, или референтные объекты (обобщенные “геохимические образы” [Маслов и др., 2017]), отражающие состав и размеры водораздельных пространств – питающих провинций, выступавших источниками обломочного материала для различных осадочных последовательностей геологического прошлого.

На основе аналитических данных о составе донных осадков устьевых областей различных категорий современных рек, приведенных в публикации [Bayon et al., 2015], нами [Маслов и др., 2017; Маслов, Шевченко, 2019] предложены парные диаграммы: $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N - Th$ (рис. 3) и др., на которых поля донных отложений крупных рек и рек, дренирующих осадочные образования, характеризуются примерно 60–80%-ным перекрытием, а поля донных осадков рек, питающихся продуктами размыва водосборов, сложенных, с одной стороны, магматическими и метаморфическими образованиями, а с другой – вулканическими породами, перекрытия не имеют. Указанные диаграммы были использованы для реконструкции категорий водосборных пространств, являвшихся источниками глинистого материала для осадочных последовательностей рифея Башкирского мегантиклинория [Маслов, 2019] и венда Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория, а также осадочных толщ верхнего палеозоя, выполняющих Юрюзано-Сылвинскую впадину Предуральского предгорного прогиба. Это позволило получить, как нам представляется, довольно интересные результаты.

При анализе литогеохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород венда различных частей Восточно-Европейской платформы мы исходим из того, что состав осадков прибрежных и мелководно-морских областей морских бассейнов в значительной мере сходен с составом донных отложений приустьевых частей рек, поставивших в бассейн обломочный материал. Названные области осадконакопления, в соответствии с представлениями А.П. Лисицына [1994], принадлежат к т.н. маргинальным фильтрам (МФ), представляющим собой пояса шириной от сотен км для крупных водных артерий, и до сотен м для небольших рек, в пределах которых происходит смешение речных и морских вод. В МФ из речной воды удаляются почти все взвешенные компоненты, что приводит к существенному разложению химических элементов (так, до 70% лантаноидов, принадлежащих к литогенным элементам, теряется/переходит в осадок в пределах именно МФ). Изменения уровня океана, приливно-отливные,

⁵ Точнее – осадки устьевых частей “крупных рек”.

⁶ Флай – река на о-ве Новая Гвинея, Чубут – река в южной части Аргентины, Сефид Руд – река в Северном Иране, Вар – река на юго-востоке Франции, Мойола, Фойл и Сикс Майл – реки в Ирландии, Каура и Аро – реки в Венесуэле, Уме – река на севере Швеции, Луле – река в Норвегии, Уаикато – река в Новой Зеландии, Галец – река на о-ве Реюньон.

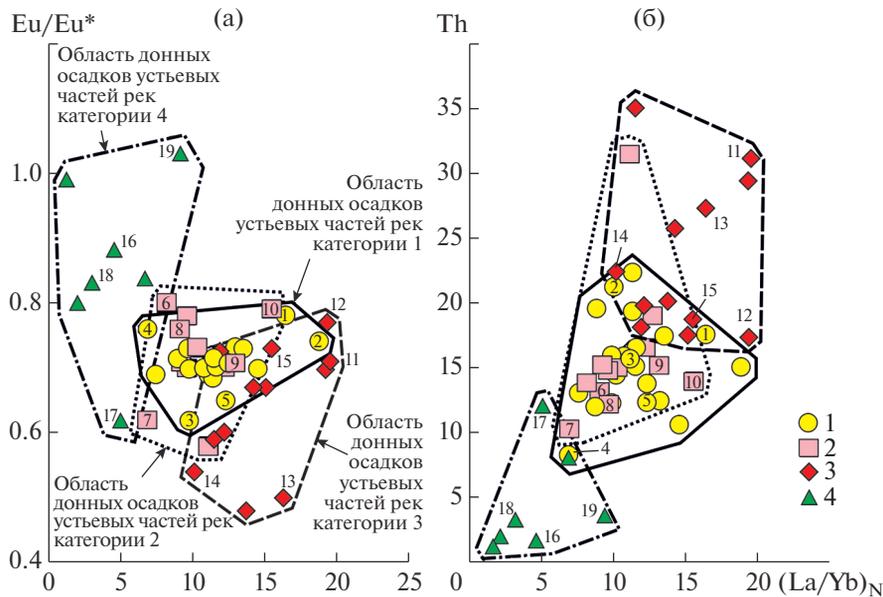


Рис. 3. Поля составов донных осадков приустьевых частей различных категорий современных рек на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (а) и $(La/Yb)_N - Th$ (б) (построены по данным, приведенным в работе [Bayon et al., 2015], см. [Маслов и др., 2017; Маслов, Шевченко, 2019]).

1 – осадки рек категории 1 (типичные примеры: 1 – Конго; 2 – Янцзы; 3 – Ориноко; 4 – Фрейзер; 5 – Висла); 2 – осадки рек категории 2 (6 – Флай; 7 – Чубут; 8 – Сефид Руд; 9 – Вар; 10 – Мойола); 3 – осадки рек категории 3 (11 – Каура; 12 – Аро; 13 – Уме; 14 – Луле; 15 – Фойл); 4 – осадки рек категории 4 (16 – Камчатка; 17 – Уаикато; 18 – Сикс Майл; 19 – Галец).

сгонно-нагонные, вдольбереговые и другие течения способствуют перемещению осадочного материала МФ на шельфы [Гордеев, 2013; Гордеев, Лисицын, 2014 и др.].

Ниже на ряде конкретных примеров рассмотрено распределение Th и ряда лантаноидов, которые используются при построении диаграмм $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$, в осадках некоторых речных систем и граничащих с ними частей морских бассейнов.

Маргинальный фильтр р. Северная Двина (Белое море). Анализ распределения содержания Th, а также значений $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* во взвеси р. Северная Двина и в поверхностных донных осадках ее дельты и Двинского залива показывает, что величина $(La/Yb)_N$ в северодвинской взвеси, рассчитанная по данным, приведенным в публикации [Шевченко и др., 2010], варьирует от 9.7 до 10.9. Расчет по материалам из статьи [Bayon et al., 2015] дает для осадков устьевой части р. Северная Двина значения $(La/Yb)_N$ 13.2 (пелит) и 11.5 (алеврит). Поверхностные донные осадки дельты характеризуются средней величиной $(La/Yb)_N$ 7.0 ± 1.4 , для осадков Двинского залива этот параметр составляет 7.3 ± 1.2 . Таким образом, в МФ р. Северная Двина, при переходе от ее нижнего течения к границе Двинского залива и Бассейна, в алевритопелитовых поверхностных осадках наблюдается незначительное снижение $(La/Yb)_N$. Средняя

величина Eu/Eu^* во взвеси р. Северная Двина, рассчитанная по данным [Шевченко и др., 2010; Bayon et al., 2015], составляет соответственно 0.70 и 0.73. В поверхностных донных осадках дельты и Двинского залива Eu/Eu^* изменяется от 0.70 до 1.10, а на границе залива и Бассейна – от 0.70 до 1.00. Это также показывает, что МФ р. Северная Двина на величину Eu -аномалии в поверхностных донных осадках принципиально не влияет. Содержание Th во взвеси р. Северная Двина варьирует, по данным [Шевченко и др., 2010], от 5.0 до 7.3 г/т. В поверхностных осадках северодвинской дельты $Th_{\text{среднее}}$ составляет 3.5 ± 2.7 г/т, в осадках Двинского залива – 5.1 ± 2.5 г/т, а на границе залива и Бассейна – 8.4 ± 4.5 г/т. С учетом погрешностей указанные значения можно считать сопоставимыми.

Маргинальный фильтр р. Преголя (Балтийское море). По данным, приведенным в работе [Лукашин и др., 2018], здесь выделяются все этапы (гравитационный, коллоидно-сорбционный и биогенный) преобразования речной взвеси в морское осадочное вещество. Анализ коэффициентов обогащения (КО) взвеси относительно земной коры показал, что на первом этапе “... существенного обогащения химических элементов практически не происходит: значения КО для большинства элементов не превышают 2. Это большой ряд элементов (Al, Si, Be, Sc, V, Cr, Fe, Co, Ni, Rb, Sr, Ba, редкоземельные элементы, Th и U), связанный с

терригенным веществом, поставляемым рекой” [Лукашин и др., 2018, с. 944]. Примерно такое же распределение КО характерно и для второго этапа. Третий этап характеризуется заметным ростом КО элементов, связанных с техногенным загрязнением.

Маргинальный фильтр р. Волга (Каспийское море). Выполненный ранее [Маслов и др., 2014] анализ распределения РЗЭ и величин $\epsilon_{Nd}(0)$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$ в поверхностных донных осадках Каспийского моря позволил установить отсутствие заметных различий указанных параметров для дельты Волги, Северного, Среднего и Южного Каспия. В целом РЗЭ- и $^{87}Sr/^{86}Sr$ -систематика донных отложений большинства осадочных подсистем Каспия демонстрирует доминирование в них волжской взвеси. Так, значение $(La/Yb)_N$ в ней, рассчитанное по данным [Савенко и др., 2004; Савенко, 2006], составляет 9.47, а Eu-аномалия равна 0.74. В осадках дельты р. Волга эти величины изменяются, по нашим данным, в пределах 6.68...9.77 и 0.56...0.79. Осадки Северного Каспия характеризуются значениями $(La/Yb)_N$ в интервале 6.47...8.40, а Eu/Eu* варьирует от 0.71 до 0.84 (в осадках Среднего Каспия этот параметр находится в интервале 0.70...0.75).

В целом, все сказанное выше дает основание считать, что благодаря влиянию ряда факторов осадочный материал МФ с течением времени в той или иной мере перемещается на прилегающие к устьям рек шельфы [Гордеев, 2013; Гордеев, Лисицын, 2014 и др.], осадки которых в результате наследуют ряд литогеохимических характеристик взвешенного материала рек разных категорий.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТОГЕОХИМИИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ВЕНДА

Общие особенности литогеохимии глинистых пород венда различных литостратиграфических подразделений были проанализированы уже неоднократно [Маслов, Подковыров, 2013; Маслов и др., 2016, 2018; Маслов, 2014; Подковыров и др., 2017 и др.]. Средние, минимальные и максимальные концентрации ряда порообразующих оксидов, редких и рассеянных элементов, а также значения дискриминантных функций и индикаторных отношений, рассчитанных для глинистых пород венда разных регионов востока и севера Восточно-Европейской платформы приведены в табл. 1.

По данным [Маслов и др., 2018], на классификационной диаграмме K/Al–Mg/Al [Turgeon, Brumsack, 2006] точки глинистых пород редкинско- и беломорского региоярусов западного склона Среднего Урала сосредоточены в области составов, близких гидрослюдистым глинам. По-

давляющая часть глинистых пород котлинского региояруса западного склона Среднего Урала, Вычегодского прогиба, восточного и южного склонов Балтийского щита также имеют состав, близкий к гидрослюдистым глинам. Такой же в целом состав характерен и для тонкозернистых обломочных пород лапландского гляциогоризонта Среднего и Южного Урала. Глинистые породы котлинского региояруса Южного Урала содержат, кроме того, некоторую долю хлорита.

На классификационной диаграмме $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_{3\text{общ}} + MgO)/SiO_2$ [Юдович, Кетрис, 2000] точки глинистых пород редкинско-го региояруса в основном сконцентрированы в поле V (хлорит-сметит-гидрослюдистые глины). Точки глинистых пород беломорского региояруса расположены преимущественно в полях IV (хлорит-гидрослюдистые глины) и V. К этим же полям тяготеют точки тонкозернистых обломочных пород котлинского региояруса западного склона Среднего Урала, Вычегодского прогиба и восточного склона Балтийского щита. Глинистые породы данного уровня венда западного склона Южного Урала отвечают полям III (преимущественно хлоритовые с примесью Fe-гидрослюд глины) и IV, тогда как точки глинистых пород василе-островской свиты локализованы, в основном, в поле II (преимущественно монтмориллонитовые с примесью каолинита и гидрослюды глины) [Маслов и др., 2018]. Точки тонкозернистых обломочных пород лапландского гляциогоризонта западного склона Среднего и Южного Урала на данной диаграмме сосредоточены, главным образом, в поле V.

Содержание La^7 в тонкозернистых обломочных породах лапландского гляциогоризонта западного склона Среднего Урала варьирует от 7.29 до 111.78 г/т. Средняя величина отношения $(La/Yb)_N$ составляет 15.57 ± 5.26 , а параметр Eu/Eu^* среднее равен 0.74 ± 0.08 . Содержание Th варьирует от 1.87 до 38.13 г/т. В глинистых породах суировской и бакеевской свит Южного Урала содержание La находится в пределах 2.90...20.00 и 34.06...47.50 г/т, соответственно. Параметр $(La/Yb)_N$ среднее для глинистых сланцев суировской свиты составляет 7.62 ± 2.71 ; в тонкозернистых обломочных породах бакеевской свиты он существенно выше — 13.07 ± 1.34 . Содержание Th в глинистых породах суировской и бакеевской свит варьирует соответственно от 1.40 до 7.00 и от 13.35 до 15.46 г/т. Содержание La в таких референтных геохимических объектах, как составная проба глинистых пород

⁷ В данном разделе рассмотрены только некоторые литогеохимические характеристики глинистых пород венда: величины содержания ряда редкоземельных элементов (РЗЭ) и Th, а также значения отдельных параметров, входящих в нормированные на хондрит [Taylor, McLennan, 1985] спектры РЗЭ.

Таблица 1. Средние, минимальные и максимальные концентрации ряда породообразующих оксидов, редких и рассеянных элементов, дискриминантных функций и индикаторных отношений для глинистых пород венда разных регионов и региоярусов

Компоненты, дискриминантные функции, индикаторные отношения	Лужско-Ладожская моноклираль			
	Региояруссы			
	Лапландский	Редкинский*	Беломорский	Котлинский
SiO ₂ , мас. %	—	—	—	60.82 ± 3.33 50.00–65.44
Al ₂ O ₃	—	—	—	18.74 ± 1.32 15.97–21.34
Fe ₂ O ₃ общ	—	—	—	6.80 ± 2.28 4.40–14.03
MgO	—	—	—	1.94 ± 0.31 1.30–2.77
CaO	—	—	—	0.32 ± 0.20 0.23–1.10
K ₂ O	—	—	—	3.88 ± 0.43 3.03–4.58
Na ₂ O	—	—	—	0.32 ± 0.25 0.04–0.81
F1	—	—	—	-1.23 ± 1.79 -7.21...0.32
F2	—	—	—	0.23 ± 1.30 -4.50...1.04
n ₁	—	—	—	17
Sc, г/т	—	17.36 ± 2.94 12.80–20.10	—	12.77 ± 1.93 9.19–15.40
Co	—	16.68 ± 7.13 12.80–29.40	—	21.54 ± 4.46 14.90–29.40
La	—	62.58 ± 14.09 42.50–79.10	—	51.06 ± 8.06 40.00–67.30
Sm	—	8.00 ± 2.80 4.34–10.90	—	7.32 ± 1.69 5.49–11.60
Eu	—	1.43 ± 0.47 0.92–2.14	—	1.42 ± 0.30 1.19–2.15
Gd	—	6.77 ± 2.18 3.83–9.06	—	6.74 ± 1.32 5.36–9.53
Yb	—	4.43 ± 0.68 3.64–5.18	—	3.62 ± 0.43 2.74–4.26
Th	—	18.22 ± 1.66 16.10–20.30	—	14.80 ± 2.76 8.58–18.60
(La/Yb) _N	—	9.51 ± 1.41 7.89–11.42	—	9.33 ± 1.23 7.01–10.83
Eu/Eu*	—	0.60 ± 0.07 0.51–0.69	—	0.62 ± 0.03 0.55–0.68
n ₂	—	5	—	12

Таблица 1. Продолжение

Компоненты, дискриминантные функции, индикаторные отношения	Юго-Восточное Беломорье			
	Регионалы			
	Лапландский	Редкинский	Беломорский	Котлинский
SiO ₂ , мас. %	—	$\frac{58.11 \pm 3.10}{50.15-60.57}$	$\frac{60.51 \pm 2.08}{57.15-66.66}$	$\frac{60.92 \pm 3.29}{56.36-67.92}$
Al ₂ O ₃	—	$\frac{17.27 \pm 0.88}{16.17-19.18}$	$\frac{17.14 \pm 0.91}{15.02-20.25}$	$\frac{17.03 \pm 1.21}{14.45-19.00}$
Fe ₂ O ₃ общ	—	$\frac{8.88 \pm 1.84}{7.45-13.09}$	$\frac{8.37 \pm 0.91}{6.20-10.71}$	$\frac{8.64 \pm 2.08}{4.31-11.33}$
MgO	—	$\frac{3.08 \pm 0.19}{2.67-3.22}$	$\frac{2.75 \pm 0.46}{1.78-3.70}$	$\frac{0.33 \pm 0.08}{0.16-0.49}$
CaO	—	$\frac{0.75 \pm 0.48}{0.40-1.99}$	$\frac{0.52 \pm 0.22}{0.15-0.99}$	$\frac{2.44 \pm 0.45}{1.81-3.31}$
K ₂ O	—	$\frac{3.89 \pm 0.25}{3.58-4.34}$	$\frac{4.02 \pm 0.43}{3.51-4.93}$	$\frac{0.52 \pm 0.32}{0.20-1.08}$
Na ₂ O	—	$\frac{1.87 \pm 0.20}{1.56-2.29}$	$\frac{1.56 \pm 0.36}{0.80-2.57}$	$\frac{4.74 \pm 0.34}{3.93-5.18}$
F1	—	$\frac{-0.42 \pm 1.52}{-3.89...1.25}$	$\frac{-2.49 \pm 0.95}{-3.90...1.06}$	$\frac{0.15 \pm 1.55}{-2.45...3.40}$
F2	—	$\frac{1.28 \pm 1.51}{-2.15...2.35}$	$\frac{0.90 \pm 0.76}{-1.15...2.31}$	$\frac{0.91 \pm 1.61}{-1.38...4.83}$
n ₁	—	9	35	22
Sc, г/т	—	$\frac{14.87 \pm 5.93}{5.82-26.57}$	$\frac{15.82 \pm 3.60}{7.60-22.77}$	$\frac{15.45 \pm 4.12}{6.07-22.71}$
Co	—	$\frac{16.30 \pm 7.04}{10.90-30.59}$	$\frac{17.14 \pm 3.76}{10.26-23.40}$	$\frac{19.11 \pm 5.23}{8.92-27.86}$
La	—	$\frac{25.49 \pm 14.82}{7.27-52.37}$	$\frac{38.96 \pm 11.20}{18.23-57.09}$	$\frac{32.94 \pm 11.85}{14.40-51.54}$
Sm	—	$\frac{5.02 \pm 2.57}{1.43-9.11}$	$\frac{5.79 \pm 1.82}{2.59-8.95}$	$\frac{6.04 \pm 1.93}{3.22-9.28}$
Eu	—	$\frac{1.11 \pm 0.59}{0.28-2.13}$	$\frac{1.14 \pm 0.38}{0.48-1.89}$	$\frac{1.24 \pm 0.38}{0.68-1.89}$
Gd	—	$\frac{4.57 \pm 2.24}{1.54-7.99}$	$\frac{5.23 \pm 1.60}{2.35-8.15}$	$\frac{5.66 \pm 1.59}{3.41-8.28}$
Yb	—	$\frac{2.14 \pm 0.98}{0.89-3.81}$	$\frac{2.66 \pm 0.71}{1.44-4.14}$	$\frac{2.87 \pm 0.74}{1.57-4.11}$
Th	—	$\frac{8.65 \pm 6.35}{2.85-23.87}$	$\frac{11.91 \pm 3.14}{5.67-19.12}$	$\frac{11.83 \pm 4.22}{3.07-17.44}$
(La/Yb) _N	—	$\frac{7.96 \pm 2.31}{3.43-11.20}$	$\frac{9.92 \pm 1.73}{6.35-12.25}$	$\frac{7.62 \pm 1.39}{5.41-9.96}$
Eu/Eu*	—	$\frac{0.70 \pm 0.07}{0.58-0.86}$	$\frac{0.63 \pm 0.03}{0.55-0.68}$	$\frac{0.65 \pm 0.03}{0.60-0.70}$
n ₂	—	10	20	16

Таблица 1. Продолжение

Компоненты, дискриминантные функции, индикаторные отношения	Вычегодский прогиб			
	Регионарысы			
	Лапландский	Редкинский	Беломорский	Котлинский
SiO ₂ , мас. %	—	62.96 ± 2.59	62.41 ± 1.65	63.32 ± 1.54
		58.47–66.59	59.30–65.99	61.81–66.24
Al ₂ O ₃	—	16.18 ± 1.89	15.67 ± 0.96	14.82 ± 0.38
		12.99–20.89	14.02–17.35	14.30–15.32
Fe ₂ O ₃ общ	—	9.28 ± 2.62	9.82 ± 1.92	10.13 ± 0.87
		4.90–13.26	4.76–11.96	8.87–11.40
MgO	—	2.24 ± 0.45	2.90 ± 0.20	0.95 ± 0.32
		1.67–3.05	2.33–3.19	0.78–1.59
CaO	—	0.52 ± 0.15	0.91 ± 0.34	2.97 ± 0.22
		0.30–0.84	0.33–1.63	2.55–3.16
K ₂ O	—	3.94 ± 0.53	3.52 ± 0.56	1.53 ± 0.68
		2.78–4.62	2.53–4.66	0.80–2.60
Na ₂ O	—	1.73 ± 0.45	1.21 ± 0.29	3.60 ± 0.43
		0.60–2.40	0.70–1.70	3.00–4.08
F1	—	-1.15 ± 1.91	-4.36 ± 2.25	-1.93 ± 1.27
		-5.69...2.39	-7.15...0.25	-3.94... - 0.12
F2	—	-0.93 ± 2.01	0.01 ± 1.11	0.17 ± 0.81
		-5.79...2.12	-1.27...2.42	-0.66...1.16
<i>n</i> ₁	—	20	22	6
Sc, г/т	—	13.95 ± 3.78	11.66 ± 3.06	11.86 ± 1.95
		7.10–19.90	5.28–18.07	9.59–15.85
Co	—	19.31 ± 6.77	16.07 ± 3.52	14.77 ± 2.79
		9.66–30.31	8.44–24.29	12.09–21.05
La	—	33.86 ± 10.87	24.44 ± 9.55	21.26 ± 2.61
		10.26–56.64	11.19–51.17	19.28–27.01
Sm	—	5.72 ± 1.75	4.73 ± 2.55	4.36 ± 0.96
		2.92–8.56	2.57–14.28	3.82–6.68
Eu	—	1.10 ± 0.33	0.97 ± 0.48	0.96 ± 0.22
		0.58–1.77	0.56–2.72	0.84–1.50
Gd	—	4.79 ± 1.45	4.12 ± 2.40	4.09 ± 1.12
		2.54–7.60	2.36–12.62	3.27–6.78
Yb	—	2.35 ± 0.67	1.85 ± 0.60	2.15 ± 0.65
		0.66–3.44	1.13–3.29	1.78–3.75
Th	—	11.60 ± 3.36	7.33 ± 3.30	6.40 ± 1.61
		3.98–16.43	3.85–16.75	5.31–10.28
(La/Yb) _N	—	10.00 ± 2.98	8.93 ± 1.81	6.91 ± 0.88
		7.64–17.56	4.92–12.14	4.86–7.69
Eu/Eu*	—	0.65 ± 0.06	0.69 ± 0.07	0.70 ± 0.02
		0.56–0.75	0.44–0.78	0.68–0.75
<i>n</i> ₂	—	22	24	8

Таблица 1. Продолжение

Компоненты, дискриминантные функции, индикаторные отношения	Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий			
	Региоярус			
	Лапландский	Редкинский	Беломорский	Котлинский
SiO ₂ , мас. %	<u>61.38 ± 4.03</u>	<u>62.49 ± 3.72</u>	<u>60.47 ± 2.36</u>	<u>59.94 ± 1.88</u>
	52.14–71.18	56.72–70.52	50.92–65.46	56.33–65.10
Al ₂ O ₃	<u>17.69 ± 2.63</u>	<u>17.34 ± 1.87</u>	<u>17.23 ± 1.36</u>	<u>17.09 ± 0.65</u>
	12.42–26.75	12.35–21.39	14.59–22.53	15.18–18.42
Fe ₂ O ₃ общ	<u>7.03 ± 1.71</u>	<u>6.87 ± 2.10</u>	<u>7.30 ± 0.75</u>	<u>8.16 ± 1.17</u>
	1.86–12.21	2.57–9.90	5.66–9.08	6.26–10.88
MgO	<u>2.25 ± 0.51</u>	<u>2.18 ± 0.41</u>	<u>2.52 ± 0.18</u>	<u>0.39 ± 0.10</u>
	1.22–3.62	1.35–3.03	2.09–2.96	0.17–0.57
CaO	<u>0.45 ± 0.43</u>	<u>0.45 ± 0.34</u>	<u>0.52 ± 0.20</u>	<u>2.15 ± 0.24</u>
	0.12–2.16	0.12–1.47	0.14–1.36	1.77–2.56
K ₂ O	<u>4.18 ± 1.26</u>	<u>1.71 ± 0.66</u>	<u>1.37 ± 0.46</u>	<u>4.24 ± 0.48</u>
	1.30–7.52	0.30–3.10	0.40–2.42	3.16–5.26
Na ₂ O	<u>1.54 ± 0.85</u>	<u>4.02 ± 0.96</u>	<u>4.19 ± 0.62</u>	<u>1.39 ± 0.35</u>
	0.50–5.34	2.59–7.88	2.80–6.81	0.60–2.00
F1	<u>0.29 ± 2.17</u>	<u>0.23 ± 2.08</u>	<u>-1.43 ± 1.30</u>	<u>-0.07 ± 0.95</u>
	-5.86...4.64	-4.06...6.86	-4.75...2.46	-3.14...1.58
F2	<u>0.42 ± 1.36</u>	<u>0.18 ± 1.08</u>	<u>1.22 ± 0.60</u>	<u>0.09 ± 0.75</u>
	-3.67...4.04	-1.63...3.76	-0.45...2.36	-1.60...1.82
<i>n</i> ₁	59	41	92	34
Sc, г/т	<u>13.35 ± 6.65</u>	<u>15.32 ± 13.63</u>	<u>19.60 ± 5.07</u>	<u>17.92 ± 2.40</u>
	2.36–44.84	2.81–68.40	6.71–43.43	10.05–21.43
Co	<u>13.33 ± 5.52</u>	<u>14.99 ± 8.00</u>	<u>17.19 ± 3.75</u>	<u>16.52 ± 2.55</u>
	1.62–27.02	1.22–35.15	9.22–35.26	11.32–21.66
La	<u>39.85 ± 18.89</u>	<u>28.43 ± 14.48</u>	<u>46.14 ± 14.17</u>	<u>50.06 ± 9.71</u>
	7.29–111.78	5.80–58.35	7.99–74.68	19.76–67.76
Sm	<u>5.54 ± 2.76</u>	<u>4.54 ± 2.18</u>	<u>7.76 ± 2.34</u>	<u>8.15 ± 1.81</u>
	1.27–16.10	1.12–9.63	1.47–16.73	2.90–12.17
Eu	<u>1.12 ± 0.58</u>	<u>0.86 ± 0.48</u>	<u>1.53 ± 0.47</u>	<u>1.55 ± 0.34</u>
	0.26–3.16	0.20–2.16	0.33–3.54	0.70–2.39
Gd	<u>4.01 ± 2.19</u>	<u>3.61 ± 2.01</u>	<u>6.76 ± 2.11</u>	<u>7.23 ± 1.58</u>
	0.93–11.12	1.02–8.88	1.38–15.64	2.87–10.92
Yb	<u>1.82 ± 0.92</u>	<u>1.87 ± 0.92</u>	<u>3.12 ± 0.74</u>	<u>3.35 ± 0.41</u>
	0.36–6.42	0.61–4.14	0.92–4.43	2.23–4.38
Th	<u>11.63 ± 5.79</u>	<u>8.98 ± 4.22</u>	<u>15.03 ± 4.07</u>	<u>16.14 ± 2.70</u>
	1.87–38.13	0.89–17.42	1.93–22.56	6.55–22.93
(La/Yb) _N	<u>15.57 ± 5.26</u>	<u>10.35 ± 2.97</u>	<u>9.90 ± 1.66</u>	<u>10.03 ± 1.45</u>
	8.40–37.15	5.07–16.40	5.17–13.80	5.50–12.59
Eu/Eu*	<u>0.74 ± 0.08</u>	<u>0.65 ± 0.14</u>	<u>0.65 ± 0.04</u>	<u>0.62 ± 0.03</u>
	0.56–0.96	0.41–1.14	0.58–0.87	0.56–0.74
<i>n</i> ₂	51	26	93	28

Таблица 1. Окончание

Компоненты, дискриминантные функции, индикаторные отношения	Башкирский мегантиклинорий			
	Региоярус			
	Лапландский	Редкинский	Беломорский	Котлинский
SiO ₂ , мас. %	61.50 ± 3.03	—	—	59.20 ± 4.40
	57.50–67.99			50.98–74.22
Al ₂ O ₃	16.24 ± 2.76	—	—	16.94 ± 1.69
	10.75–21.45			11.44–19.95
Fe ₂ O ₃ общ	7.60 ± 2.18	—	—	8.70 ± 2.06
	4.40–13.50			4.73–14.37
MgO	1.94 ± 0.39	—	—	0.85 ± 0.60
	1.25–2.45			0.14–2.82
CaO	0.87 ± 0.81	—	—	3.60 ± 0.90
	0.15–3.10			1.60–5.34
K ₂ O	4.29 ± 0.97	—	—	4.21 ± 0.93
	2.60–6.70			1.52–5.44
Na ₂ O	0.86 ± 0.31	—	—	1.05 ± 0.69
	0.50–1.41			0.30–2.40
F1	-0.29 ± 3.38	—	—	-0.10 ± 2.15
	-9.24...4.70			-4.98...2.93
F2	-0.17 ± 1.82	—	—	2.44 ± 1.75
	-5.03...2.10			-2.88...6.88
n ₁	12	—	—	46
Sc, г/т	7.63 ± 4.57	—	—	17.89 ± 4.60
	2.80–15.42			9.50–27.09
Co	11.42 ± 2.94	—	—	21.29 ± 5.48
	6.00–18.00			13.33–33.51
La	19.82 ± 17.15	—	—	36.34 ± 12.31
	2.90–47.50			13.75–76.59
Sm	3.41 ± 2.72	—	—	7.18 ± 2.52
	0.70–8.38			3.56 – 18.96
Eu	0.67 ± 0.53	—	—	1.48 ± 0.52
	0.14–1.62			0.81–3.79
Gd	3.34 ± 2.17	—	—	6.23 ± 2.32
	0.71–6.05			3.32–17.56
Yb	1.22 ± 0.73	—	—	3.21 ± 0.57
	0.40–2.27			2.22–5.18
Th	7.33 ± 5.22	—	—	12.79 ± 1.80
	1.40–15.46			8.71–17.22
(La/Yb) _N	9.29 ± 3.50	—	—	7.57 ± 1.9
	4.50–14.17			13.64–14.12
Eu/Eu*	0.70 ± 0.05	—	—	0.68 ± 0.04
	0.63–0.77			0.56–0.77
n ₂	13	—	—	50

Русской платформы (RPSC, [Мигдисов и др., 1994]) и постархейский австралийский глинистый сланец (PAAS, [Taylor, McLennan, 1985]), составляет 37.5 и 38.2 г/т. Среднее содержание Th в PAAS равно 14.6 г/т.

Минимальное среднее содержание La в глинистых породах *редкинского региояруса* составляет 25.49 ± 14.82 г/т и является характерным для Юго-Восточного Беломорья. Максимальное значение $La_{\text{среднее}}$ (62.58 ± 14.09 г/т) установлено в тонкозернистых обломочных породах Лужско-Ладужской моноклинали. Средние величины $(La/Yb)_N$ в породах данного стратиграфического уровня варьируют от 7.96 ± 2.31 (Юго-Восточное Беломорье) до 10.35 ± 2.97 (Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий). При этом наименьшее значение отношения (3.43), сопоставимое с характерными значениями для магматических пород основного состава, присуще глинистым породам редкинского региояруса Юго-Восточного Беломорья, а наибольшее (17.56) – аргиллитам Вычегодского прогиба. Для RPSC и PAAS величины этого параметра равны соответственно 9.28 и 9.15. Величина европиевой аномалии в RPSC заметно меньше, чем в PAAS (0.76 против 0.65). Средние значения Eu/Eu^* в породах редкинского региояруса изменяются от 0.60 ± 0.07 (Лужско-Ладужская моноклинали) до 0.70 ± 0.07 (Юго-Восточное Беломорье). Минимальное среднее содержание Th отмечено в глинистых породах Юго-Восточного Беломорья (8.65 ± 6.35 г/т), максимальное – в тонкозернистых обломочных породах Лужско-Ладужской моноклинали (18.22 ± 1.66 г/т).

Средние концентрации La в глинистых породах *беломорского региояруса* варьируют от 24.44 ± 9.55 г/т (Вычегодский прогиб) до 46.14 ± 14.17 г/т (Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий). Наименьшее среднее значение $(La/Yb)_N$ (8.93 ± 1.81) определено в глинистых породах Вычегодского прогиба, максимальное (9.92 ± 1.73) – в глинах Юго-Восточного Беломорья. Средние величины Eu-аномалии варьируют от 0.63 до 0.69, и, с учетом погрешностей, могут рассматриваться как статистически вполне сопоставимые в тонкозернистых обломочных породах беломорского региояруса всех рассмотренных в настоящей работе регионов. Минимальное $Th_{\text{среднее}}$ (7.33 ± 3.30 г/т) установлено в тонкозернистых обломочных породах беломорского региояруса Вычегодского прогиба, максимальная величина $Th_{\text{среднее}}$ (15.03 ± 4.07 г/т) наблюдается в глинистых сланцах Среднего Урала.

Наиболее высокое среднее содержание La в глинистых породах *котлинского региояруса* (51.06 ± 8.06 г/т) характеризует отложения Лужско-Ладужской моноклинали, и практически такое же (50.06 ± 9.71 г/т) установлено в глинистых сланцах западного склона Среднего Урала ($50.06 \pm$

9.71 г/т). Минимальное значение $La_{\text{среднее}}$ (21.26 ± 2.61 г/т) определено в аргиллитах Вычегодского прогиба. Усредненные величины отношения $(La/Yb)_N$ в тонкозернистых обломочных породах котлинского яруса изменяются от 6.91 ± 0.88 (Вычегодский прогиб)⁸ до 10.03 ± 1.45 (Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий). Минимальное значение в выборке глинистых пород этого возраста составляет 3.61 (для позднепротерозойских андезитов этот параметр, рассчитанный по данным [Condie, 1993], равен 6.38, а для известково-щелочных базальтов того же возраста – 3.14), а максимальное достигает 14.12. Максимальная величина отношения $Eu/Eu^*_{\text{среднее}}$ (0.62) свойственна глинистым породам котлинского региояруса западного склона Среднего Урала и южного склона Балтийского щита; минимальное среднее значение (0.70) – характерно для тонкозернистых обломочных пород, вскрытых скв. Кельтменская 1. Наиболее близки к PAAS по среднему содержанию Th глинистые породы Лужско-Ладужской моноклинали и Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория (14.80 ± 2.76 и 16.14 ± 2.70 г/т соответственно). В то же время глинистые породы котлинского региояруса Вычегодского прогиба содержат в среднем всего 6.40 ± 1.61 г/т Th.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТОЧЕК СОСТАВОВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ВЕНДА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ, СЕВЕРНОЙ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ДИАГРАММАХ

Исследование особенностей локализации фигуративных точек составов глинистых пород венда северо-запада, севера, северо-востока и востока Восточно-Европейской платформы на различных диаграммах основывается на результатах 415 оригинальных и заимствованных в банке данных "PrecSed" (ИГГД РАН, А.В. Сочава и В.Н. Подковыров) валовых химических анализов (основные породобразующие оксиды, методы "мокрой" химии и РФА) и на 380 определениях содержания редких и рассеянных элементов, выполненных методом ИСП МС в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитики – Д.В. Киселева, Н.Н. Адамович, Н.В. Чередниченко, Л.К. Дерюгина и О.А. Березикова).

На диаграмме La/Sc–Th/Co подавляющее большинство индивидуальных точек с составами тонкозернистых обломочных пород венда северо-за-

⁸ Минимальная величина $(La/Yb)_N$ в глинистых породах котлинского региояруса, вскрытых скв. Кельтминская 1, составляет 4.86, максимальная – 7.69. Это предполагает присутствие на палеоводоразделах, служивших источниками тонкой алюмосиликокластики для Вычегодского прогиба в конце венда, существенной доли магматических пород основного состава.

падной, северной, северо-восточной и восточной частей Восточно-Европейской платформы локализовано в области значений La/Sc и Th/Co , свойственных продуктам размыва кислых магматических образований (рис. 4). Для десяти тринадцати исследованных литостратиграфических подразделений венда на этой диаграмме наблюдается компактное распределение фигуративных точек. И только тонкозернистые обломочные породы лапландского гляциогоризонта западного склона Среднего Урала и редкинского региояруса Среднего Урала и Юго-Восточного Беломорья показывают заметный разброс значений Th/Co . Возможно, это свидетельствует о том, что источники слагающей их алюмосиликокластики были представлены довольно разнородными породными ассоциациями, а продукты их размыва не претерпели в условиях холодного климата какой-либо существенной гомогенизации в процессе транспортировки. При условии корректности аналитических данных, это хорошо видно на примере близких по возрасту (?) тонкозернистых обломочных пород суировской и бакеевской свит Башкирского мегантиклинория: первые характеризуются средними значениями La/Sc и Th/Co 1.90 ± 1.00 и 0.39 ± 0.28 , а вторые – 3.09 ± 0.23 и 1.46 ± 0.25 .

На треугольной диаграмме $(CaO + MgO) - SiO_2 / 10 - (K_2O + Na_2O)$ [Bavinton, 1979, 1981] фигуративные точки тонкозернистых обломочных пород *редкинского региояруса* рассмотренных нами регионов компактно сконцентрированы вблизи скопления точек референтных объектов, таких как раннеархейские и среднепротерозойские фельзиты, архейские тоналит-трондьемит-гранитные ассоциации и протерозойские гранитоиды (по [Condie, 1993]) (рис. 5а). Это дает основание считать, что источниками слагающего их материала могли быть кислые магматические породы или сформированные в результате их размыва "переходные" осадочные образования, но также и в той или иной степени преобразованные породы фундамента. Примерно таким же образом распределены на диаграмме фигуративные точки глинистых пород *беломорского региояруса* (см. рис. 5б). Сходное распределение на рассматриваемой диаграмме характерно и для глинистых пород *котлинского региояруса* (см. рис. 5в), но есть и ряд отличий. Так, тонкозернистые обломочные породы этого подразделения венда, развитые в пределах Лужско-Ладожской моноклинали, показывают более высокие величины $SiO_2/10$, а глинистые породы западного склона Южного Урала – более высокие значения $(CaO + MgO)$. Последняя особенность позволяет предполагать в них несколько более высокую долю продуктов размыва магматических пород среднего или основного состава.

На диаграмме F1–F2 [Roser, Korsch, 1988] точки составов глинистых пород *лапландского гляцио-*

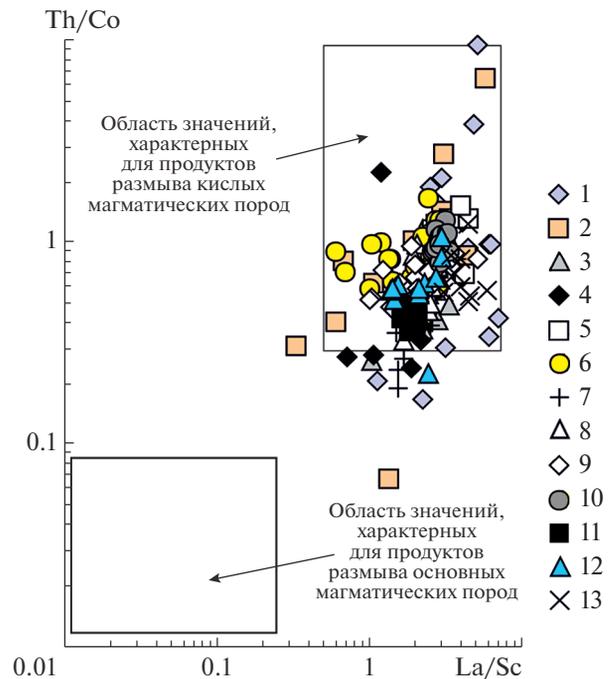


Рис. 4. Распределение точек состава глинистых пород венда различных частей Восточно-Европейской платформы на диаграмме $La/Sc - Th/Co$ [Taylor, McLennan, 1985].

1 – лапландский гляциогоризонт, западный склон Среднего Урала; 2 – редкинский региоярус, там же; 3 – редкинский региоярус, Вычегодский прогиб; 4 – редкинский региоярус, Юго-Восточное Беломорье; 5 – редкинский ярус, Лужско-Ладожская моноклинали; 6 – беломорский региоярус, западный склон Среднего Урала; 7 – беломорский региоярус, Вычегодский прогиб; 8 – беломорский региоярус, Юго-Восточное Беломорье; 9 – котлинский региоярус, западный склон Южного Урала; 10 – котлинский региоярус, западный склон Среднего Урала; 11 – котлинский региоярус, Вычегодский прогиб; 12 – котлинский региоярус, Юго-Восточное Беломорье; 13 – котлинский региоярус, Лужско-Ладожская моноклинали.

горизонта Среднего и Южного Урала сосредоточены примерно поровну в областях, характерных продуктов размыва осадочных образований и изверженных пород среднего состава, и немногие (часто единичные) фигуративные точки локализованы в области продуктов размыва кислых и основных магматических пород (рис. 6а). В целом, состав рассматриваемых образований более близок к PAAS, чем к RPSC.

Распределение индивидуальных точек с составами тонкозернистых обломочных пород *редкинского региояруса* на диаграмме F1–F2 является сопоставимым с распределением точек глинистых пород лапландского гляциогоризонта (см. рис. 6б). Фигуративные точки глинистых сланцев и аргиллитов западного склона Среднего Урала и Вычегодского прогиба подразделяются примерно по-

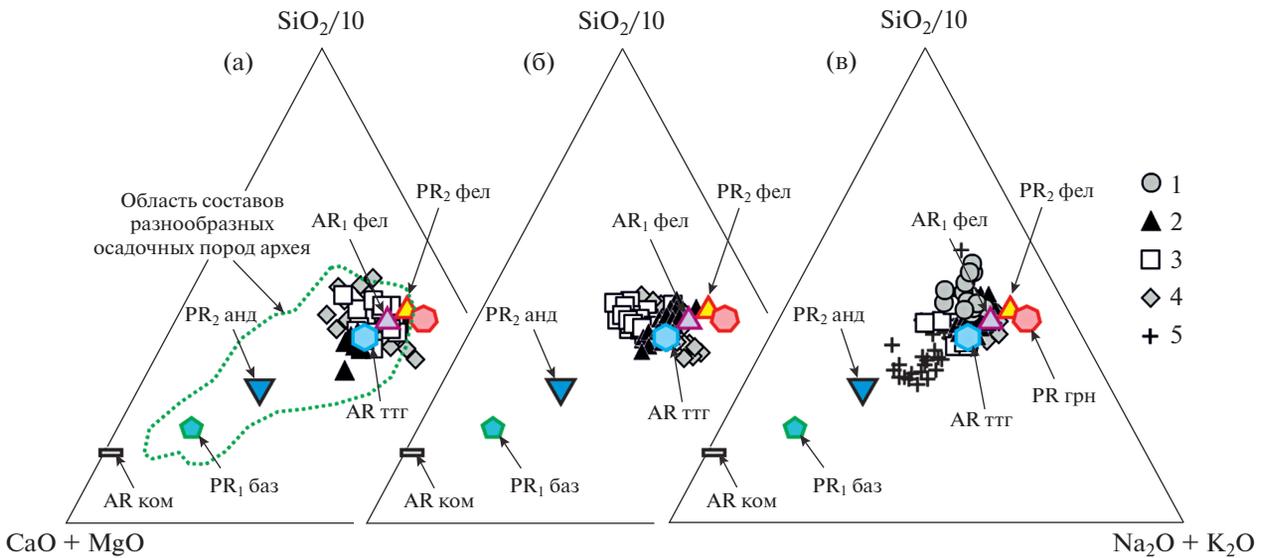


Рис. 5. Особенности локализации точек состава глинистых пород верхнего венда (а – редкинский регион, б – беломорский регион, в – котлинский регион) различных частей Восточно-Европейской платформы на диаграмме $(\text{CaO} + \text{MgO})\text{-SiO}_2/10\text{-(K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O)}$ [Bavinton, 1979, 1981].

1 – Балтийская/Лужско-Ладожская моноклинали; 2 – Юго-Восточное Беломорье; 3 – Вычегодский прогиб; 4 – Средний Урал; 5 – Южный Урал. Поле осадочных пород архея по материалам [Bavinton, 1979, 1981], положение референтных точек различных типов магматических пород (AR ком – архейские коматииты, PR₁ баз – раннепротерозойские базальты, PR₂ анд – среднепротерозойские андезиты, AR ттг – архейские тоналит-тронджемит-гранитные ассоциации, AR₁ фел – раннеархейские фельзиты, PR₂ фел – среднепротерозойские фельзиты, PR грн – протерозойские гранитоиды), по данным из работы [Condie, 1993].

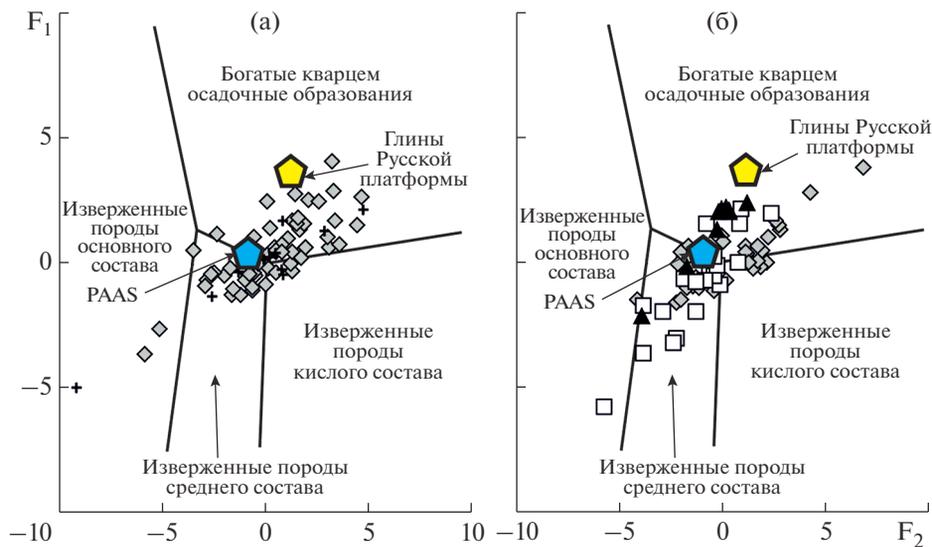


Рис. 6. Распределение точек составов глинистых пород лапландского гляциогоризонта (а) и редкинского региона (б) различных частей Восточно-Европейской платформы на диаграмме F₁–F₂ [Roser, Korsch, 1988]. Условные обозначения см. рис. 5.

ровну и группируются в области продуктов размытия осадочных образований, а также в области магматических пород среднего состава. Точки глинистых пород редкинського региона Лужско-Ладожской моноклинали, напротив, как правило, бывают сосредоточены лишь в первой из вышеназванных областей. Возможно, это является

следствием значительной доли продуктов выветривания в породах-источниках тонкой алюмосиликокластики.

Фигуративные точки тонкозернистых обломочных пород беломорского региона распределены на диаграмме F₁–F₂ иначе. Так, преобладающая часть точек глинистых пород этого возраста

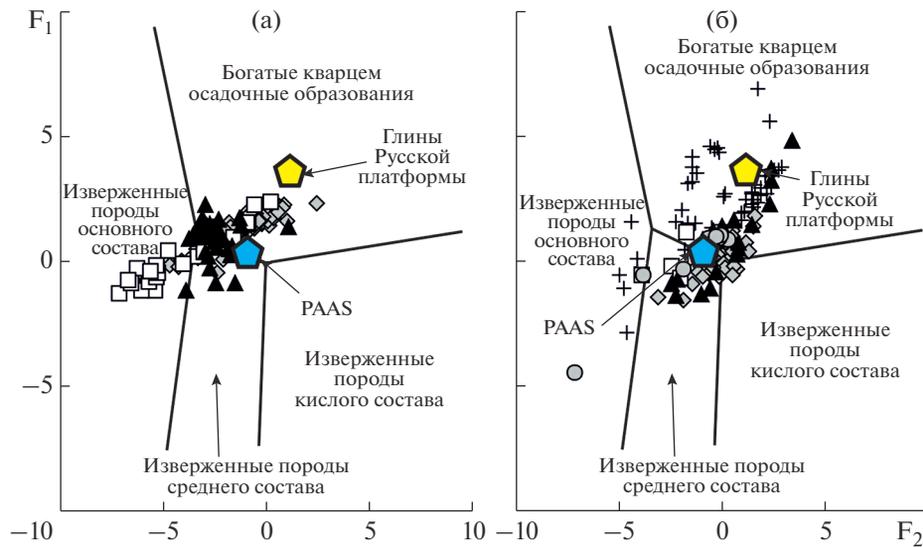


Рис. 7. Распределение точек составов глинистых пород беломорского (а) и котлинского (б) региоярусов различных частей Восточно-Европейской платформы на диаграмме F1–F2 [Roser, Korsch, 1988].
Условные обозначения см. рис. 5.

в Кваркушко-Каменногорском мегантиклинории соответствует области продуктов размыва осадочных образований (рис. 7а). Сходным образом локализованы точки тонкозернистых обломочных пород Юго-Восточного Беломорья. В то же время, наибольшая часть фигуративных точек глинистых пород того же возраста, вскрытых скв. Кельтменская 1, отчетливо тяготеет к области составов, соответствующих продуктам эрозии основных магматических пород.

Преобладающая часть точек с составами глинистых сланцев и аргиллитов *котлинского региояруса* западного склона Южного Урала на диаграмме F1–F2 располагается в области составов, формирующихся в результате эрозии богатых кварцем осадочных образований (см. рис. 7б). И значительно меньше точек локализовано в области составов, связанных с размывом основных магматических пород. Точки глинистых пород данного уровня венда Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория распределены в областях продуктов размыва как осадочных пород, так и средних и кислых магматических образований. Примерно также локализованы на данном графике и точки глинистых сланцев Юго-Восточного Беломорья. Тонкозернистые обломочные породы котлинского региояруса Лужско-Ладожской моноклинали, судя по распределению фигуративных точек на диаграмме, могут рассматриваться как сложенные преимущественно продуктами размыва осадочных образований.

На диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ точки тонкозернистых обломочных пород *лапландского гляциогоризонта* западного склона Среднего Урала сосредоточены преимущественно в зоне пере-

крытия областей составов поверхностных донных осадков устьевых частей современных рек категорий 1 (крупные реки) и 2 (реки, дренирующие, в основном, площади развития осадочных пород), а также в зоне перекрытия областей 1, 2 и 3 (реки, дренирующие площади развития магматических/метаморфических комплексов). Некоторая часть точек локализована в области, соответствующей донным осадкам устьевых частей рек категории 3, или находится вне каких-либо классификационных областей (рис. 8а). Фигуративные точки глинистых пород бакеевской свиты Южного Урала также тяготеют к зоне перекрытия областей 1, 2 и 3, а составы тонкозернистых обломочных пород суировской свиты попадают на диаграмме в область донных осадков устьевых частей рек категории 4 (реки, питающиеся продуктами размыва вулканических ассоциаций) или находятся в зоне перекрытия областей 4 и 1 или областей 4 и 2.

На диаграмме $(La/Yb)_N - Th$ преобладающая часть точек составов тонкозернистых обломочных пород лапландского гляциогоризонта Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория сосредоточена в зоне перекрытия областей донных осадков рек категорий 1 и 2 (см. рис. 8б). Значительно меньше точек располагается непосредственно в области донных осадков категории 1 или находится вне контуров классификационных областей. Примечательно, что 5 точек из 50 (т.е. ~10%) тяготеют к области донных осадков рек категории 4. В этой же области располагается большинство точек глинистых пород суировской свиты венда Южного Урала. Точки глинистых сланцев бакеевской свиты, напротив, сосредоточены

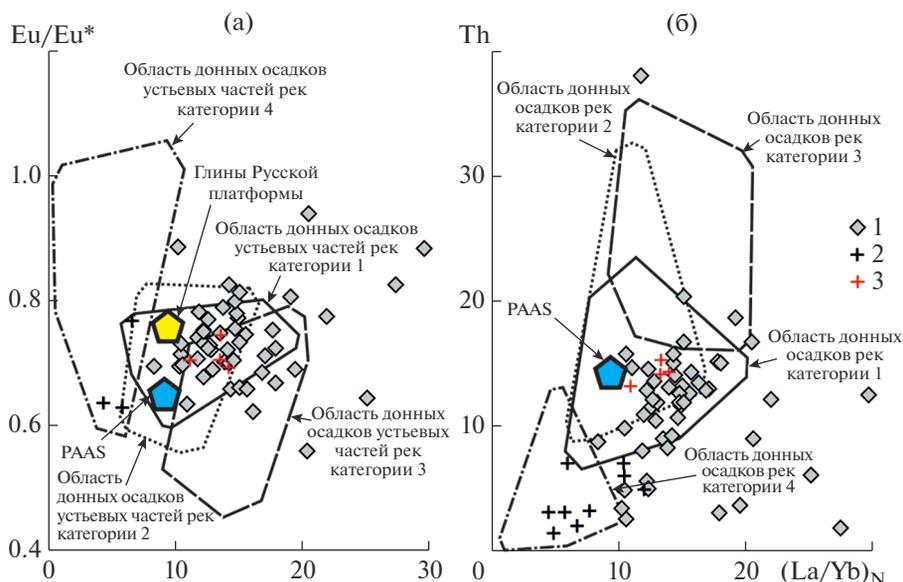


Рис. 8. Распределение точек состава тонкозернистых обломочных пород лапландского гляциогоризонта на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* (а) и $(La/Yb)_N$ – Th (б). Глинистые породы: 1 – западного склона Среднего Урала; 2 – суировской свиты западного склона Южного Урала; 3 – бакеевской свиты западного склона Южного Урала.

в зоне перекрытия областей донных осадков современных рек категорий 1 и 2. Таким образом, формирование отложений лапландского гляциогоризонта венда Башкирского мегантиклинория, вероятно, происходило за счет поступления в область седиментации, в основном, продуктов размыва осадочных образований или поступало со значительных по своей площади водосборов, сложенных разнообразными комплексами пород, геохимические характеристики которых, взятые в целом, были близки к PAAS.

Точки глинистых пород *редкинского региояруса* западного склона Среднего Урала на графике $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* в основном сосредоточены в зоне перекрытия областей составов донных отложений современных рек категорий 1 и 2 (или 1, 2 и 3); часть точек присутствует и в области осадков приустьевых частей рек категории 3, а также находится вне каких-либо классификационных областей (рис. 9а). Примерно так же распределены и индивидуальные точки с составами тонкозернистых обломочных пород *редкинского региояруса*, представляющих Вычегодский прогиб, Юго-Восточное Беломорье и Лужско-Ладожскую моноклинал. Несколько точек глинистых пород *редкинского региояруса* Юго-Восточного Беломорья располагаются в области значений $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* , характерных для донных отложений приустьевых частей рек, питающихся продуктами размыва преимущественно вулканогенных комплексов пород (категория 4).

На графике $(La/Yb)_N$ – Th подавляющая часть фигуративных точек глин *редкинского региояруса* присутствует в зоне перекрытия областей с составами, характерными для донных отложений приустьевых частей современных рек категорий 1 и 2. В зоне перекрытия областей 1, 2 и 3, напротив, точек почти нет, однако в области отложений современных рек категории 4 и в зоне перекрытия областей 1, 2 и 4 можно видеть довольно большое количество точек (см. рис. 9б).

Фигуративные точки глинистых пород *беломорского региояруса* на диаграмме $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* образуют компактную совокупность. В основном они приурочены к зоне перекрытия областей 1, 2 и 3, а также к зоне перекрытия областей 1, 2 и 4 (рис. 10а). При этом точки глинистых пород западного склона Среднего Урала и Вычегодского прогиба присутствуют во всех четырех классификационных областях диаграммы, а точки тонкозернистых обломочных образований *беломорского региояруса* Юго-Восточного Беломорья локализованы в зоне перекрытия областей 1, 2 и 3 и непосредственно в области 3. Это дает основание думать, что в составе тонкозернистых пород Юго-Восточного Беломорья, а также глинистых сланцев *беломорского региояруса* Среднего Урала, присутствуют продукты размыва как осадочных образований, так и магматических и метаморфических ассоциаций.

На диаграмме $(La/Yb)_N$ – Th фигуративные точки глинистых пород *беломорского региояруса* западного склона Среднего Урала отчетливо тяго-

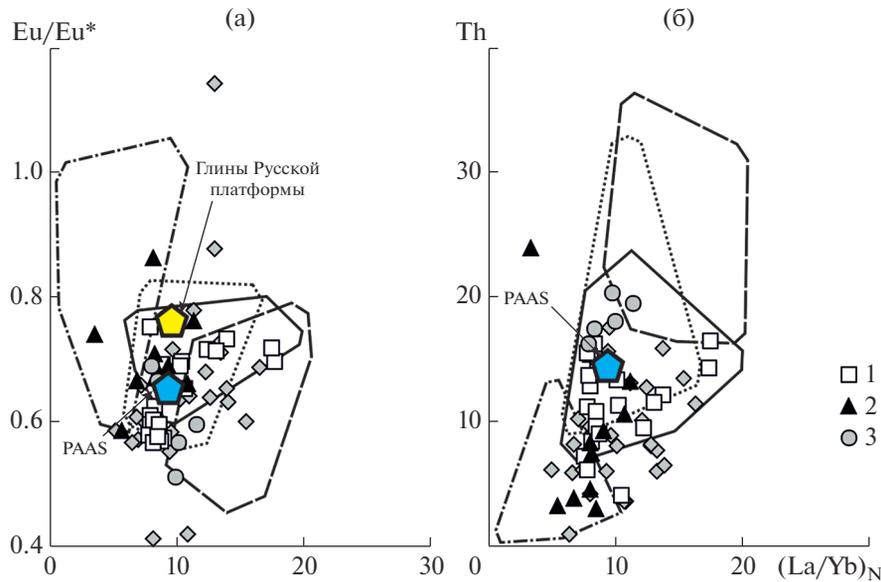


Рис. 9. Распределение точек состава тонкозернистых обломочных пород редкинского региояруса на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ (а) и $(La/Yb)_N-Th$ (б).

Глинистые породы: 1 – Вычегодского прогиба; 2 – Юго-Восточного Беломорья; 3 – Балтийской/Лужско-Ладожской моноклинали.

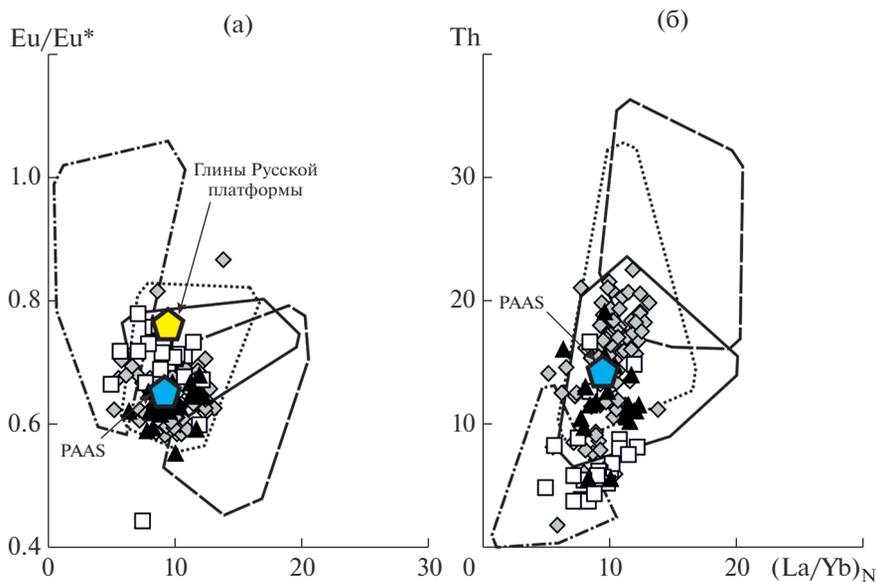


Рис. 10. Распределение точек состава глинистых пород беломорского региояруса на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ (а) и $(La/Yb)_N-Th$ (б).

Условные обозначения см. рис. 8, 9.

теют к областям составов донных осадков приустьевых частей рек категорий 1, 2 и 3 (см. рис. 10б), Точки глинистых сланцев Юго-Восточного Беломорья, в основном, сосредоточены в зоне перекрытия областей 1 и 2. В этой зоне располагается также и небольшая часть точек с составами глинистых пород Вычегодского прогиба. Несколько больше точек присутствует в области донных

осадков приустьевых частей рек категории 1, а основная часть точек группируется в области донных осадков категории 4 (реки, дренирующие вулканические провинции) или вблизи нее.

Глинистые породы котлинского региояруса в целом на диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ в основном сосредоточены в зоне перекрытия всех имеющихся на ней классификационных областей (рис. 11а).

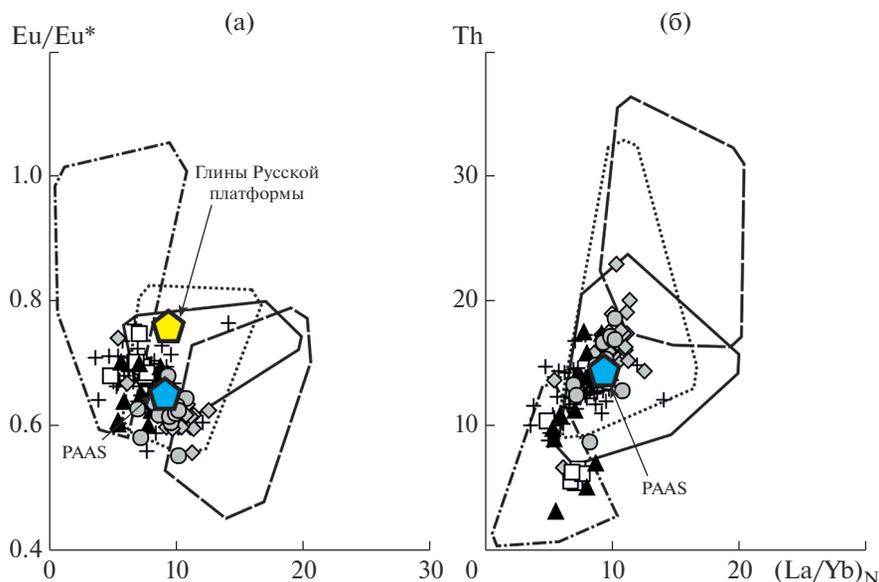


Рис. 11. Распределение точек состава глинистых пород котлинского региояруса на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* (а) и $(La/Yb)_N$ – Th (б).
Условные обозначения см. рис. 8, 9.

При этом фигуративные точки глинистых сланцев и аргиллитов данного яруса Юго-Восточного Беломорья и Вычегодского прогиба отсутствуют в области донных отложений приустьевых частей современных рек категории 3, а точки аргиллитов Лужско-Ладужской моноклинали отсутствуют в области 4. Точки аргиллитов котлинского региояруса западного склона Южного Урала более заметно группируются в области составов донных осадков современных рек категории 4 в сравнении с областью осадков рек категории 3.

На диаграмме $(La/Yb)_N$ – Th в зоне перекрытия областей, соответствующих донным осадкам современных рек категорий 1, 2 и 3 присутствуют только единичные точки глинистых пород котлинского региояруса западного склона Среднего Урала (см. рис. 11б). Основная часть фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород этого региояруса венда сосредоточена в зоне перекрытия областей, соответствующих современным донным осадкам приустьевых частей рек категорий 1 и 2, т. е. в их составе преобладают продукты размыва разнообразных осадочных образований. Некоторая часть точек глинистых пород котлинского региояруса Вычегодского прогиба, Юго-Восточного Беломорья и западного склона Южного Урала может располагаться как в области приустьевых осадков рек категории 4 (реки этой категории питаются в основном продуктами размыва вулканических ассоциаций), так и в зоне перекрытия областей донных осадков современных рек категорий 1 и 4 или 1, 2 и 4. По-видимому, на палеоводосборах котлинского времени собственно

магматические и метаморфические породы имели ограниченное развитие.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Все сказанное выше показывает, что источниками основной части тонкой алюмосиликокластики, слагающей осадочные последовательности венда северо-западной, северной, северо-восточной и восточной частей Восточно-Европейской платформы, являлись преимущественно зрелые в геохимическом отношении комплексы пород и/или субстраты-источники. Это хорошо видно по распределению точек составов глинистых пород различных литостратиграфических подразделений (валдайской, серебрянской, сьлицкой и ашинской серий) на диаграммах $(CaO + MgO) - SiO_2/10 - (Na_2O + K_2O)$ и $La/Sc - Th/Co$. Исключением являются тонкозернистые обломочные породы котлинского региояруса западного склона Южного Урала, в составе которых, по-видимому, доля продуктов разрушения магматических пород основного или среднего состава более значительна, по сравнению с глинистыми породами всех остальных литостратиграфических подразделений венда; то же можно предполагать и для глинистых пород суировской свиты Южного Урала.

Вместе с тем информация о составе комплексов пород, или субстратов-поставщиков тонкой алюмосиликокластики для осадочных последовательностей венда, полученная на основе диаграмм $(CaO + MgO) - SiO_2/10 - (Na_2O + K_2O)$ и $La/Sc - Th/Co$, представляется все же недостаточно кон-

кретной. Вследствие этого для реконструкции состава палеоводосборов также использовалась диаграмма F1–F2. Распределение точек составов глинистых пород на этой диаграмме показывает, что источниками тонкой алюмосиликокластики в течение венда являлись как осадочные образования, так и магматические породы кислого и среднего состава. Исключением являются глинистые породы беломорского регионаруса Вычегодского прогиба, в которых можно предполагать более заметную долю продуктов разрушения основных магматических пород.

Полученные результаты не противоречат ранее сделанным выводам [Маслов и др., 2008, 2016; Маслов, Подковыров, 2013; Подковыров и др., 2011, 2017 и др.] и хорошо согласуются с существующими палеогеографическими реконструкциями [Аксенов, 1985 и ссылки в этой работе]. В то же время они не позволяют прийти к каким-либо определенным выводам относительно характера речных систем, питавших осадочные бассейны венда обломочным материалом, о размерах и типах их водосборных пространств. Судить о характеристиках водосборов можно, по-видимому, только с помощью диаграмм $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$, классификационные области которых основаны на геохимических характеристиках донных осадков устьевых частей современных рек различных категорий, приведенных в публикации [Bayon et al., 2015].

Распределение точек составов тонкозернистых обломочных пород на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ позволяет думать, что в течение венда питание мелководных морских бассейнов, существовавших в полосе от южной периферии Балтийского щита (современная Балтийская/Лужско-Ладожская моноклиналь) до западного склона современного Южного Урала, происходило преимущественно взвешенным материалом, транспортировавшимся реками категории 1 (крупные реки с разнообразными по составу пород водосборами) и/или категории 2 (реки, питающиеся преимущественно продуктами размыва осадочных образований). Так как площадь водосборов современных рек указанных категорий достаточно велика (например, р. Сена – 79 тыс. км², р. Нил – до 3 млн км², р. Амазонка – почти 6 млн км²), можно предполагать, что вендские бассейны седиментации⁹, существовавшие в центральной, северной и восточной частях Восточно-Европейской платформы, занимали существенно большие площади, по срав-

нению с современными полями распространения верхневендских отложений. Кроме того, по аналогии с общим строением водосборов рек категории 1 (например, Маккензи, Фрейзер и др.) можно ожидать, что на площадях вендских речных водосборов значительная доля (20...30...40...?) приходилась на осадочные/метаосадочные образования, или эти водосборы были представлены только такими породами. Таким образом, это позволяет предполагать, что площади распространения на Восточно-Европейской платформе осадочных толщ рифея (в настоящее время приуроченных только к авлакогенам) могли быть более значительными, чем это оценивается в настоящее время.

Наряду с реками категорий 1 и 2, определенный вклад в формирование поздневендских осадочных последовательностей, судя по распределению точек составов глинистых пород редкинско-беломорского и котлинского регионарусов на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, вносили также и реки, которые поставляли продукты размыва магматических и метаморфических комплексов, слагающих цоколь Восточно-Европейской платформы. В беломорское и котлинское время в ряде регионов (южные районы Мезенской впадины, восток Башкирского мегантиклинория и, возможно, Волго-Уральская область) в размыв были вовлечены и вулканические ассоциации, служившие источниками тонкой алюмосиликокластики, транспортировавшейся реками категории 4. Локализация точек составов глинистых пород венда северо-западной, северной, северо-восточной и восточной частей Восточно-Европейской платформы на диаграмме $(La/Yb)_N - Th$ это подтверждает.

Полученные нами с помощью различных литогеохимических методов и подходов выводы относительно типов водосборов и питающих провинций, которые могли быть источниками тонкозернистого обломочного материала для осадочных последовательностей венда ряда регионов Восточно-Европейской платформы, не противоречат существовавшим ранее представлениям об основных процессах накопления кластики в вендских отложениях [Аксенов, 1985 и ссылки в этой работе]. Вместе с тем, они позволяют думать, что водосборы в венде были в основном сложены дорифейскими и рифейскими (?) осадочными и метаосадочными образованиями, площадь распространения которых в пределах Восточно-Европейской платформы была, по-видимому, значительно больше той, которую можно видеть сегодня. Многие исследователи также считают, что существенный вклад в накопление валдайской, серебрянской, сыльвицкой и ашинской серий, а также бижбулякского комплекса вносил алюмокластический материал, поступавший со стороны обрамлявших платформу складчатых сооружений (Тиман, Се-

⁹ Седиментационный бассейн мы понимаем, вслед за П.П. Тимофеевым [1986], как участок земной коры, где накапливаются или накапливались осадки. Соответственно, размеры такого бассейна (от истоков питающих его рек до конечного/приемного водоема включительно) всегда существенно больше, чем площадь, занимаемая теми или иными соотносимыми с ним осадочными последовательностями.

верный, Средний и Южный Урал) [Сочава и др., 1992; Сочава, 1996; Оловянишников, 1998; Маслов, Подковыров, 2013 и др.]. Однако, как выяснилось в последнее время, это не всегда могло быть так.

Так, по данным работы [Ивлева и др., 2016], в позднем венде основным источником кластики для восточных районов современной Балтийской/Лужско-Ладожской моноклинали был одноименный щит, и только в самом начале раннего кембрия, при сохранении сноса с Балтийского щита, существенную роль в качестве поставщика обломочного материала приобрела тиманская окраина Балтики.

Песчаники тамических слоев (или тамической подсвиты), залегающие, как предполагается, в основании верхневендского разреза Юго-Восточного Беломорья, содержат обломочные цирконы, U–Pb-изотопный возраст которых соответствует временному интервалу 2839...1836 млн лет [Кузнецов и др., 2014]. Это позволяет считать, что источниками слагающего эти песчаники материала являлись кристаллические комплексы цоколя Восточно-Европейской платформы.

В песчаниках керносской свиты Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, по данным работы [Маслов и др., 2012], присутствуют обломочные цирконы как мезо- и неогаргейского (~15%), так и палеопротерозойского (~60%) возраста, что в значительной степени сближает их с тиллитовидными конгломератами танинской свиты. В то же время, около четверти кристаллов циркона имеет мезопротерозойский (пики 1549–1508, 1472, 1465, 1376–1340, 1270–1242, 1186, 1115 и 1034 млн лет) и тонийский (для одного зерна $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст ядра составляет ~1177, а обломки – около 892 млн лет) возраст. Таким образом, популяция обломочных цирконов в породах лапландского и редкинского региоярусов западного склона Среднего Урала объединяет как продукты размыва дорифейских кристаллических комплексов цоколя Восточно-Европейской платформы, так и присутствующих среди них, скорее всего, догренильских (1.5–1.2 млрд лет) и гренильских (1.3–1.0 млрд лет) образований.

U–Pb-изотопный возраст обломочных цирконов, выделенных из песчаников толпаровской свиты (лапландский региоярус) Башкирского мегантиклинория, варьирует от 2905 до 889 млн лет [Кузнецов и др., 2019]. Из них ~9% зерен характеризуются неопротерозойским возрастом, около 70% – мезопротерозойским (пики 1418 и 1172 млн лет), а 22% – палеопротерозойским и мезоаргейскими возрастными. В песчаниках басинской свиты (котлинский региоярус): 63% всей популяции цирконов – это кристаллы мезопротерозойского возраста (пики – 1213 и 1501 млн лет); ~30% цирконов имеет палеопротерозойский возраст (пики – 1907 и

2000 млн лет). На долю цирконов неопротерозойского возраста приходится 3%, и примерно столько же составляют зерна нео- и мезоаргейского возрастов [Кузнецов и др., 2012а, 2012б]. Песчаники кукараукской свиты того же региояруса содержат обломочные цирконы, диапазон возрастов которых составляет ~3188...~617 млн лет (~8% – зерна неопротерозойского возраста ~62% и 17% – доли зерен с мезо- и палеопротерозойскими возрастными, 13% – зерна нео- и мезоаргейского возраста). Таким образом, здесь, как и в породах лапландского и редкинского региоярусов западного склона Среднего Урала, наряду с преобладающими кристаллами мезопротерозойского возраста, есть более древние зерна, источниками которых были кристаллические комплексы фундамента Восточно-Европейской платформы.

В то же время, в пользу поступления тонкозернистой алюмосиликокластики на периферию платформы со стороны Варангер-Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса, или Тиманского орогена, сложенного позднекембрийскими осадочно-метаморфическими, вулканогенно-обломочными и магматическими комплексами [The Neoproterozoic Timanide ..., 2004 и др.], свидетельствуют величины ряда индикаторных отношений (Th/Cr, Th/Sc и др.) в глинистых породах верхнего венда Предтиманского предгорного прогиба, которые позволили установить, что примитивные в геохимическом отношении архейские субстраты, доминирующие в составе Кольского и Волго-Уральского мегаблоков Восточно-Европейской платформы [Земная кора ..., 1978; Докембрийская геология ..., 1988; Бибикина и др., 2008, 2015; Минц и др., 2010; Bogdanova et al., 2010 и др.], не принимали заметного участия в формировании осадочного выполнения Предтиманского предгорного прогиба.

Об этом свидетельствуют также и данные о модельном Nd-возрасте (T_{DM}) глинистых пород Предтиманского предгорного прогиба. Так, аргиллиты верхнего венда Юго-Восточного Беломорья имеют модельный Nd-возраст от 1.73–1.71 до 1.57–1.53 млрд лет [Маслов и др., 2008]. Тонкозернистые обломочные породы сълвицкой серии западного склона Среднего Урала обладают значениями T_{DM} в интервале 1.77–1.73 млрд лет [Маслов и др., 2005]. Это резко отличается от более древних величин T_{DM} , характерных для инфракрупных образований Балтийского щита и Волго-Уральского геоблока. Модельный Nd-возраст аргиллитов байкибашевской и старопетровской свит бижбулякского комплекса Шкаповско-Шиханской впадины варьирует от 2.3 до 2.2 млрд лет [Маслов и др., 2006], тогда как тонкозернистые обломочные породы вышележащей салиховской свиты имеют заметно омоложенные значения (~1.58 млрд лет). Причиной этого могло быть

усиление сноса обломочного материала с востока, со стороны растущего Белорецкого метаморфического поднятия – фрагмента Варангер-Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса во время накопления осадков салиховской свиты [Маслов и др., 2009].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне признательны В.П. Шевченко (ИО РАН) за консультации по вопросам современного осадконакопления, Д.В. Гражданкину (ИНГГ СО РАН), М.Т. Крупнину (ИГГ УрО РАН), Н.Г. Воробьевой (ГИН РАН) за помощь в сборе образцов глинистых пород различных осадочных последовательностей венда и Н.С. Глушковой (ИГГ УрО РАН) за подготовку иллюстраций к данной работе.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены в соответствии с темами госзадания ИГГ УрО РАН, ГИН РАН и ИГГД РАН.

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.
- Беккер Ю.Р.* Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
- Бибикова Е.В., Богданова С.В., Ларионов А.Н. и др.* Новые данные о раннеархейском возрасте гранитоидов Волго-Уральского сегмента Восточно-Европейского кратона // Докл. РАН. 2008. Т. 419. № 2. С. 219–223.
- Бибикова Е.В., Богданова С.В., Постников А.В. и др.* Ранняя кора Волго-Уральского сегмента Восточно-Европейского кратона: изотопно-геохронологическое изучение терригенного циркона из метаосадочных пород большечеремшанской серии и их Sm–Nd модельный возраст // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23. № 1. С. 3–26.
- Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы / Отв. ред. Б.С. Соколов, М.А. Федонкин. М.: Наука, 1985. 222 с.
- Геология СССР.* Т. 1. Геологическое описание. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. М.: Недра, 1971. 504 с.
- Гордеев В.В.* Глобальная роль маргинального фильтра океана // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Материалы VII Всероссийского литологического совещания. Т. I. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. С. 242–244.
- Гордеев В.В., Лисицын А.П.* Геохимическое взаимодействие пресноводной и морской гидросфер // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5–6. С. 721–744.
- 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., Маслов А.В., Крупнин М.Т.* Строение и этапы формирования вендских отложений съвицкой серии западного склона Среднего Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17. № 5. С. 20–40.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупнин М.Т., Ронкин Ю.Л.* Осадочные системы съвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.
- Докембрийская геология / Отв. ред. Д.В. Рундквист, Ф.П. Митрофанов. Л.: Наука, 1988. 440 с.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М. и др.* Основание венда на Южном Урале: Rb–Sr возраст глауконитов бакеевской свиты // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 82–96.
- Земная кора восточной части Балтийского щита / Отв. ред. К.О. Кратц. Л.: Наука, 1978. 232 с.
- Ивлева А.С., Подковыров В.Н., Еришова В.Б. и др.* Результаты U–Pb (LA-ICP-MS)-датирования обломочных цирконов из верхневендско-нижнекембрийских отложений востока Балтийской моноклизы // Докл. РАН. 2016. Т. 468. № 4. С. 441–446.
- Келлер Б.М., Вейс А.Ф., Горожанин В.М.* Толпаровский разрез верхнего докембрия (Южный Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1984. № 9. С. 119–124.
- Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А. и др.* 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. РАН. 2014. Т. 458. № 3. С. 313–317.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Маслов А.В. и др.* Первые результаты U/Pb-датирования детритовых цирконов из песчаников верхневендской бакеевской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС, 2019. С. 305–309.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццлло А.В. и др.* Возраст детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала – подтверждение пространственной сопряженности Уральского края Балтики и Квинслендского края Австралии в структуре Родинии (“Australia upside down conception”) // Литосфера. 2012а. № 4. С. 59–77.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццлло А.В. и др.* Первые результаты массового U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала: палеогеографический и палеотектонический аспекты // Докл. РАН. 2012б. Т. 447. № 1. С. 73–79.
- Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
- Лукашин В.Н., Кречик В.А., Ключиткин А.А., Стародымова Д.П.* Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи (Балтийское море) // Океанология. 2018. Т. 58. № 6. С. 933–947.
- Маслов А.В.* К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 28–36.

- Маслов А.В.* Литогеохимический облик отложений ашинской серии венда западного склона Южного Урала // Литосфера. 2014. № 1. С. 13–32.
- Маслов А.В.* Некоторые особенности ранневендской седиментации на Южном и Среднем Урале // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 6. С. 624–639.
- Маслов А.В., Вовна Г.М., Киселев В.И. и др.* U–Pb-систематика обломочных цирконов из отложений серебрянской серии Среднего Урала // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 2. С. 180–196.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н. и др.* Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 3. С. 290–312.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н. и др.* Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского форландового бассейна Тиманского орогена // Геохимия. 2009. № 12. С. 1294–1318.
- Маслов А.В., Козина Н.В., Кловиткин А.А. и др.* Распределение редкоземельных элементов и систематика $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в современных донных осадках Каспийского моря // Докл. РАН. 2014. Т. 459. № 2. С. 203–207.
- Маслов А.В., Козина Н.В., Шевченко В.П. и др.* Систематика редкоземельных элементов в современных донных осадках Каспийского моря и устьевых зон рек Мира: опыт сопоставления // Докл. РАН. 2017. Т. 475. № 2. С. 195–201.
- Маслов А.В., Мельничук О.Ю., 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.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н.* Верхневендская нескладчатая моласса северо-восточной, восточной и юго-западной периферии Восточно-Европейской платформы: основные черты литогеохимии // Геохимия. 2013. Т. 51. № 1. С. 50–71.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др.* Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аргиллитах венда западного склона Среднего Урала // Докл. РАН. 2005. Т. 401. № 5. С. 668–672.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Ишерская М.В., Лепихина О.П.* Систематика редкоземельных элементов и Nd модельный возраст аргиллитов верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины // Докл. РАН. 2006. Т. 410. № 6. С. 799–803.
- 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., Школьник С.И., Летникова Е.Ф. и др.* Ограничения и возможности литогеохимических и изотопных методов при изучении осадочных толщ. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2018. 383 с.
- Маслов А.В., Ялышева А.И., Подковыров В.Н. и др.* Литогеохимический состав песчаников ашинской серии венда Южного Урала // Литология и полез. ископаемые. 2016. № 5. С. 347–374.
- Мигдисов А.А., Балашов Ю.А., Шарков И.В. и др.* Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы // Геохимия. 1994. № 6. С. 789–803.
- Миц М.В., Сулейманов А.К., Бабаянц П.С. и др.* Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и Татсейс. М.: Геокарт, ГЕОС, 2010. Т. 1. 408 с., Т. 2. 400 с.
- Оловянишников В.Г.* Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 162 с.
- Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Маслов А.В.* Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда южной части Вычегодского прогиба // Литология и полез. ископаемые. 2011. № 5. С. 484–504.
- 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.
- Разумовский А.А., Новиков И.А., Рудько С.В. и др.* U–Pb изотопный возраст пепловых туфов поздневендской басинской свиты (ашинская серия, Южный Урал) // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛП Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2020. С. 219–224.
- Савенко В.С.* Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 174 с.
- Савенко В.С., Покровский О.С., Дюпре Б., Батулин Г.Н.* Химический состав взвешенного вещества крупных рек России и сопредельных стран // Докл. РАН. 2004. Т. 398. № 1. С. 97–101.
- Сочава А.В.* Петрохимия вендских терригенных отложений Русской платформы и ее складчатого обрамления // Палеогеография венда–раннего палеозоя (ПВРП-96). Тезисы докладов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1996. С. 146–149.
- Сочава А.В., Коренчук Л.В., Пиррус Э.А., Фелицын С.Б.* Геохимия верхневендских отложений Русской платформы // Литология и полез. ископаемые. 1992. № 2. С. 71–89.
- Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
- Тимофеев П.П.* Проблемы изучения осадочных формаций // Формации осадочных бассейнов. М.: Наука, 1986. С. 2–9.
- Чумаков Н.М.* Оледенения Земли: История, стратиграфическое значение и роль в биосфере. М.: ГЕОС, 2015. 160 с.
- Шевченко В.П., Покровский О.С., Филиппов А.С. и др.* Об элементном составе взвеси реки Северная Двина (бассейн Белого моря) // Докл. РАН. 2010. Т. 430. № 5. С. 686–692.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Bavinton O.A.* Interflow sedimentary rocks from the Kambalda ultramafic sequence: their geochemistry, metamorphism and genesis. PhD thesis. Australian National Univ., 1979. 487 p.
- Bavinton O.A.* The Nature Sulfidic Metasediments at Kambalda and Their Broad Relationships with Associated Ultramafic Rocks and Nickel Ores // Economic Geol. 1981. V. 76. P. 1606–1628.
- Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C. et al.* Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17–38.

- Bogdanova S., De Waele B., Bibikova E. et al.* Volgo-Uralia: the first U–Pb, Lu–Hf and Sm–Nd isotopic evidence of preserved Paleoproterozoic crust // *Am. J. Sci.* 2010. V. 310. P. 1345–1383.
- Cameron E.M., Hall G.E.M., Veizer J., Krouse H.R.* Isotopic and elemental hydrogeochemistry of a major river system: Fraser River, British Columbia, Canada // *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*. 1995. V. 122. P. 149–169.
- 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.
- 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.
- Grazhdankin D.V.* Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota // *J. Paleontol.* 2014. V. 88. № 2. P. 269–283.
- Kolesnikov A.V., Danelian T., Gommeaux M. et al.* Arumberriamorph structure in modern microbial mats: implications for Ediacaran palaeobiology // *Bull. Soc. Géol. France*. 2017. V. 188. № 1–2. P. 57–66.
- Kolesnikov A.V., Marusin V.V., Nagovitsin K.E. et al.* Ediacaran biota in the aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the South Urals // *Precambrian Res.* 2015. V. 263. P. 59–78.
- Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V. et al.* Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion // *Precambrian Res.* 2017. V. 298. P. 157–173.
- Peucker-Ehrenbrink B., Miller M.W., Arsouze T., Jeandel C.* Continental bedrock and riverine fluxes of strontium and neodymium isotopes to the oceans // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2010. V. 11. Q03016. <https://doi.org/10.1029/2009GC002869>
- Roser B.D., 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.
- Shumlyanskyy L., Nosova A., Billstrom K. et al.* The U–Pb zircon and baddeleyite ages of the Neoproterozoic Volyn Large Igneous Province: implication for the age of the magmatism and the nature of a crustal contaminant. *GFF*. 2016. V. 138. № 1. P. 17–30. <https://doi.org/10.1080/11035897.2015.1123289>
- Taylor S.R., McLennan S.M.* The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.
- The Neoproterozoic Timanide orogen of Eastern Baltica / Eds D.G. Gee, V. Pease. *Geol. Soc. London. Memoirs*. 2004. V. 30. 255 p.
- Turgeon S., Brumsack H.-J.* Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria–Marche basin of central Italy // *Chem. Geol.* 2006. V. 234. P. 321–339.

Categories of Catchment Areas-Sources of Thin-Grained Aluminosiliciclastics for Vendian Sedimentary Sequences of North and Eastern Parts of the East-European Platform

A. V. Maslov^{1, 2, *} and V. N. Podkovyrov^{3, **}

¹ Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Vonsovsky str., 15, Yekaterinburg, 620016 Russia

² Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017 Russia

³ Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences,
Makarov emb., 2, St. Petersburg, 199034 Russia

*e-mail: amas2004@mail.ru

**e-mail: vpodk@mail.ru

Despite the current characterization of the accumulation conditions of the Vendian sedimentary sequences of the northwestern, central, northern, northeastern and eastern parts of the East European platform, the question of the types of catchments and the ratio of crystalline complexes, sedimentary and metasedimentary strata in their composition is at least debatable. We found that the location of clayey rock data points for various Vendian lithostratigraphic units on the (CaO + MgO)–SiO₂/10–(Na₂O + K₂O), La/Sc–Th/Co, and F1–F2 diagrams indicates mainly geochemically quite mature rock complexes/substrates-sources of the main part of fine-grained aluminosiliciclastics. These include both sedimentary formations and igneous rocks of acidic and intermediate composition. The localization of clayey rock data points on the (La/Yb)_N–Eu/Eu* and (La/Yb)_N–Th diagrams suggests that the shallow-water Vendian sedimentary basins were fed mainly by aluminosiliciclastics transported by major rivers draining large continental areas and/or rivers, draining “mixed/sedimentary” formations. This suggests that the distribution area on the East European platform of the Riphean sedimentary deposits (currently confined only to aulacogens) and the Lower Proterozoic metasedimentary formations could be significantly larger.

Keywords: East European platform, Kvarqush–Kamennogorsk meganticlinorium, Bashkir meganticlinorium, Vendian, category of catchment areas, thin-grained aluminosiliciclastics.