

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРГИЛЛИТОВ ВЕРХНЕГО ВЕНДА СЕВЕРО-ВОСТОКА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТАВА И ЭВОЛЮЦИИ ИСТОЧНИКОВ СНОСА (предварительные данные)

А.В. Маслов, В.Г. Оловянишников

Одной из задач в рамках работ по гранту РФФИ «Палеогеография и основные этапы развития вендского седиментационного бассейна области сочленения Русской платформы и Урала» является изучение состава обломочных пород комплексом петрографических, петро- и геохимических методов вещественного и реконструкция на этой основе палеоклиматических и палеогеодинамических обстановок, состава и особенностей эволюции областей размыва [Маслов и др., 2003а]. Для решения указанной задачи нами в настоящее время собирается аналитический материал по составу глинистых сланцев из различных литостратиграфических подразделений верхнего венда Онежского полуострова, восточных районов Мезенской синеклизы, Вычегодского прогиба, а также западного склона Среднего и Южного Урала и Волго-Уральской области (табл. 1).

Формирование осадочных последовательностей верхнего венда названных регионов происходило за счет размыва кристаллических пород Балтийского щита и Волго-Камского массива, а также «рециклированных орогенов» Тимана и Урала [Вендская система, 1985, Аксенов, 1998], что даст уникальную возможность сопоставления данных о составе и эволюции источников сноса, полученных традиционными петрографическими (изучение состава галек конгломератов и гравелитов и каркаса песчаников) и современными лито- и геохимическими методами.

Литостратиграфия верхнего венда. В типовом регионе развития верхневендских отложений, приосевой части Московской синеклизы, они подразделяются на (снизу вверх):

плетеневскую, усть-пинезскую, любимскую и решминскую свиты [Вендская система, 1985; Аксенов, 1998]¹.

Плетеневская свита развита локально и представлена гравелитами, грубозернистыми песчаниками и конгломератами с пакетами и пачками черных аргиллитов. В северо-восточном направлении в ее разрезе доминирующую роль постепенно получают пачки переслаивания алевролитов, аргиллитов и мелкозернистых песчаников. Состав обломочного материала в разрезах данного уровня тесно связан с составом подстилающих пород, т.е. имеет отчетливо выраженный местный характер.

Породы *усть-пинезской свиты* залегают трансгрессивно и несогласно на различных пачках плетеневской свиты, а также на породах кристаллического фундамента [Вендская система, 1985]. Преобладающую роль в составе свиты играют темно- и зеленовато-серые, а также шоколадно-коричневые аргиллиты с мало-мощными пачками и прослоями алевролитов и песчаников. В разрезах усть-пинезской свиты установлено присутствие трех вулканокласто-осадочных горизонтов. По мнению Е.М. Аксенова и С.А. Волковой [Аксенов, 1967; Аксенов, Волкова, 1969], они сформированы за счет поступления материала со стороны Урала и Тимана. Наиболее полные разрезы усть-пинезской свиты, мощность которых достигает 300-400 м, известны в Притиманье; здесь свита представлена преимущественно глинистыми алевролитами.

Вышележащая *любимская свита* залегает согласно с подстилающими отложениями усть-пинезской свиты; к западу и юго-западу

¹ Детальные работы по изучению строения разрезов и органических микрофоссилий [Кузьменко, Бурзин, 1996, Бурзин, 1998] позволили провести более детальное расчленение верхневендских отложений центральной части Московской синеклизы – ранее выделявшиеся здесь отложения плетеневской и усть-пинезской свит были объединены в редкинскую серию, подразделяющуюся на плетеневскую, гаврилов-ямскую, непейдинскую и макарьевскую свиты [Стратиграфическая схема. ., 2000].

Таблица 1

Схема корреляции верхневендских отложений Московско-Мезенской синеклизы и западного склона Урала по данным [Вендская система..., 1985; Аксенов, 1998; Гражданкин, 2003]

Система	Горизонт	Московско-Мезенская синеклиза			Западный склон Урала	
		Юго-восточное Беломорье	Центральная часть	Приитиманье	Средний Урал	Южный Урал
Верхний венд	Котлинский					
			Решминская свита	Падунская свита ****	Усть-сыльвицкая свита	Зиганская свита
		Ергинская свита*	Любимская свита	Мезенская свита		Кукаркаульская свита
	Редкинский	Зимнегорская свита**	Усть-пинежская свита		Чернокаменная свита	Басинская свита
		Верховская свита***				
		Лямичская свита****			Переваловская свита	
			Плетневская свита	?		
					Старолечнинская свита	Урюкская свита

Примечание. *соответствует мезенской свите в схеме А.Ф. Станковского и др. [Вендская система..., 1985] и любимской свите Л.Ф. Солонцова и Е.М. Аксенова [1970]; **соответствует зимнегорской и вайицким слоям усть-пинежской свиты в схеме А.Ф. Станковского и др.; ***соответствует сюзыминским и верховским слоям усть-пинежской свиты А.Ф. Станковского и др.; ****соответствует архангельским и лямичским слоям усть-пинежской свиты А.Ф. Станковского и др.; *****Д.В. Гражданкиным [2003] падунская свита в составе вендского комплекса не рассматривается.

она трансгрессивно срезает различные горизонты усть-пинежской свиты, а местами ложится и на кристаллический фундамент. Мощность свиты в районе Котласа составляет до 500 м [Вендская система, 1985]. В центральной части Московской синеклизы разрез любимской свиты представлен четырьмя трансгрессивными циклитами, мощность которых варьирует от 80-90 до 120-130 м. В подошве каждого из них наблюдаются серо- и зеленоцветные полевошпато-кварцевые песчаники и алевролиты, а в верхних частях присутствуют пачки темных зеленовато-серых и, иногда, пестроцветных аргиллитов с тонкими прослоями глинистых алевролитов. В северо-восточном направлении в верхних частях циклитов существенно увеличивается доля алевритового материала, параллельно растет и мощность свиты.

Решминская свита залегает с разрывом на различных горизонтах любимской свиты [Вендская система..., 1985]. В окрестностях Котласа и Усть-Няфты мощность свиты составляет более 500 м. В составе решминской свиты наблюдаются красно- и пестроцветные пласты и пачки аргиллитов, полевошпато-кварцевых и кварцевых алевролитов и песчаников. Количество последних растет в северо-восточной части Мезенской синеклизы и составляет порядка 60-70 % против менее 40 % в центральных районах Московской синеклизы [Вендская система, 1985; Аксенов, 1998].

В Мезенской синеклизе (Лешуконская депрессия, Сафоновская и Яренская котловины) любимской свите Московской синеклизы соответствует *мезенская свита*. Мощность ее варьирует от 150-200 до почти 900 м [Верхний докембрий..., 1986; Рифей и венд..., 1987]. Представлена мезенская свита в нижней части пакетами и пачками переслаивания темно-серых и темно-бурых линзовидно- и горизонтально-слоистых аргиллитов и алевролитов, а в верхней части в ее составе наблюдаются зеленовато-серые горизонтально- и косослоистые аргиллиты с прослоями алевролитов и песчаников.

Отложения усть-пинежской и мезенской свит вскрыты скважинами 1-Серегово и 1-Стожаровская в Вычегодском прогибе, расположен-

ном в юго-восточной части Мезенской синеклизы. Здесь верхневендские отложения представлены темно- и зеленовато-серыми, а также коричневатобурыми полевошпато-кварцевыми алевролитами и песчаниками, а также аргиллитами. В породах наблюдается горизонтальная, волнистая, косая и линзовидная слоистость, трещины синерезиса, знаки ряби, текстуры течений, а также разнообразные trace-fossils [Оловянишников, 1998; Оловянишников, Гражданкин, 1999]. Накопление указанных образований происходило в мелководно- и прибрежно-морских условиях, часто при чередовании субаквальных и субаэральных обстановок. Основным источником сноса обломочного материала являлись рифейские отложения Сысольского и Коми-Пермяцкого сводов, а также Тиманской гряды.

Текстурные особенности и состав верхней части верхневендских отложений Мезенской синеклизы и Вычегодского прогиба (трещины усыхания, знаки ряби, присутствие в породах рассеянного галита, самородной серы и прослоев гипса, красно- и пестроцветная окраска пород)² позволили В.Г. Гецену (Оловянишникову) [1988] рассматривать их в качестве эвапоритовой формации.

В Волго-Уральской области, на основании стратиграфического подобия разрезов, сходства литологических особенностей отдельных подразделений и общей направленности в эволюции изменения состава, окраски пород, положения в разрезах маркирующих вулканокластоосадочных горизонтов, данных определения изотопного возраста и присутствия остатков фауны и флоры, с плетневской свитой сопоставляется байкибашевская свита, старопетровская свита скоррелирована с усть-пинежской и любимской свитами. Салиховская свита примерно соответствует нижней части решминской свиты, а карлинская отвечает ее верхней части и, возможно, низам некрасовской свиты балтийской серии [Вендская система, 1985, Стратиграфическая схема..., 2000].

В юго-восточном Беломорье в береговых обрывах моря и по долинам рек вскрыты отложения усть-пинежской и любимской (мезен-

² В более поздней работе [Оловянишников, 2002] указывается на присутствие здесь сильвина, а также прожилок и включений ангидрита

кой) свит [Станковский и др., 1981; Вендская система, 1985]. В последние годы изучение условий формирования вендских отложений названного региона позволило существенно уточнить их строение и предложить новую схему литостратиграфии [Гражданкин, 2003]. В ней усть-пинезская свита (без базальных тампических слоев) А.Ф. Станковского и др. (см., например, [Вендская система, 1985] и др.) расчленяется на лямическую, верховскую и зимнегорскую свиты, а вместо любимской (мезенской) свиты выделена в том же объеме ергинская свита. Изотопный возраст (U-Pb метод) цирконов из прослоя пеплов, расположенного у основания верховской свиты составляет 558 ± 1 млн лет (данные М. Martin et al., см. [Гражданкин, 2003]). Цирконы из прослоя пеплов, залегающего у основания зимнегорской свиты, датированные тем же методом, имеют возраст $555,3 \pm 0,3$ млн лет [Martin et al., 2000]. *Лямическая свита* объединяет алевриты и глины, находящиеся в тонком ритмичном переслаивании, и серые песчаники, слагающие достаточно мощные проградационные клинья. *Верховская свита* сложена в нижней части чередующимися пятнистыми тонкослоистыми глинами и пакетами переслаивания алевритов и зеленовато-серых глин, а в верхней – тонкослоистыми светло-серыми с фиолетовым оттенком алевритами и зеленовато-серыми песчаниками с различными типами кривослоистости и разнообразными эрозионными текстурами. *Зимнегорская свита* представлена преимущественно тонкослоистыми серыми с фиолетовым оттенком алевритами, среди которых присутствуют маломощные линзовидные прослои песчаников с кривослоистой слоистостью. По латерали зимнегорская свита испытывает заметные фациальные изменения; ее границами являются поверхности размыва. *Ергинская свита* сложена пакетами переслаивания пестроцветных песчаников, алевритов и глин, которые объединяются в три прогрессивно построенных мезоциклита [Гражданкин, 2003].

Положение и состав источников сноса (данные петрографического анализа). Высокое стояние Восточно-Европейской платформы в раннем венде обусловило преимущественный снос обломочного материала с выступов кристаллического фундамента в окружающие их прогибы; в позднем венде значительная часть территории платформы подверглась слабым нисходящим движениям, что обусловило появление обширных внутриплатформенных и кра-

евых синеклиз и впадин. В позднем венде основными источниками кластики стали окружающие платформу орогены, а в нечетко выраженных Притиманском и Приуральском краевых прогибах, также как и в Приобруджанском, формировались молассовые и молассоидные комплексы [Вендская система..., 1985].

Для центральной части Московской синеклизы в позднем венде А.В. Сочава и др. [1992] предполагал существенное влияние внутрикратонных областей сноса на формирование состава обломочных пород. Так, аргиллиты плетневской свиты, характеризующиеся относительно пониженными содержаниями SiO_2 и высокими содержаниями Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO и TiO_2 , считались авторами продуктами разрушения кор выветривания, существовавших на породах кристаллического цоколя платформы. Аркозовые и полевошпато-кварцевые песчаники любимской свиты рассматривались как продукты разрушения существенно гранитоидных источников сноса. Источником тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород данного уровня являлись, по предположению А.В. Сочавы и др. [1992], орогенные области Тимана. В песчаниках вышеележащей усть-пинезской свиты заметную роль играет основной пирокластический материал, источником которого, предположительно, был также Тиман.

Основные черты палеогеографии позднего венда. Предполагается, что в начале плетневского времени на рассматриваемой нами территории имела место ингрессия мелководного бассейна [Вендская система, 1985; Аксенов, 1998]. Вдоль склонов Балтийского и Волго-Камского кристаллических массивов накапливались пролювиально-аллювиальные галечники, пески и гравий. По направлению к Притиманию они сменялись озерно-лагунными и прибрежно-морскими образованиями, часть из которых формировалась в застойных обстановках. Основными источниками алюмосиликокластики в это время являлись Балтийский щит и Волго-Камский выступ фундамента, а также ряд небольших относительно приподнятых областей, на которых существовали коры выветривания латеритного типа. Климат плетневского времени был предположительно влажным гумидным.

В усть-пинезское время на территории Притиманья устанавливается мелководно-морской режим. Периодически в западинах дна устанавливались застойные условия, что способ-

ствовало формированию в ряде иловых впадин «доманиковых фаций» [Вендская система, 1985]. Источниками сноса в это время продолжали являться Балтийский щит и Волго-Камский выступ фундамента, однако примерно с середины усть-пинезского времени в периферические районы платформы со стороны Тимана, Северного и Среднего Урала начинает поступать аллохтонный полимиктовый песчано-алевритовый материал, а также вулканокластический.

В любимское время на рассматриваемой нами территории установился мелководно-морской режим. Бассейн этого времени отличался, по-видимому, меньшими глубинами и более активным гидродинамическим режимом. Источниками алюмосиликокластики в это время являлись выступы фундамента (Балтийский щит и Волго-Камский массив), а также воздымавшиеся по периферии Восточно-Европейской платформы орогены примерно в равном соотношении. С середины любимского времени начинается регрессия бассейна, продолжившаяся и в рещминское время. В связи с этим в Предуральском и Предтиманском краевых прогибах накапливались преимущественно континентальные полимиктовые отложения. Климат рещминского времени считается жарким, с чередованием влажных и сухих сезонов, на что указывают находки галита, гипса, барита и ряд других особенностей отложений [Вендская система, 1985].

Таковы в общих чертах главные особенности формирования алюмосиликокластических последовательностей верхнего венда в При тиманье и области сочленения Восточно-Европейской платформы и западной мегазоны Урала, полученные к концу 1990-х гг. с использованием классических седиментологических, литолого-палеогеографических, петрографических и литохимических методов.

В настоящей заметке мы рассмотрим геохимические особенности аргиллитов различных литостратиграфических подразделений верхнего венда юго-восточного Беломорья и Вычегодского прогиба. Медианные содержания³ ряда малых и редкоземельных элементов в представительных образцах аргиллитов, отобранных одним из авторов (В.Г. Оловянишников) из зим-

негорской, ергинской и мезенской свит, приведены в **таблице 2**. Методика определения содержаний рассеянных и редких элементов описана в работе [Маслов и др., 2004, в печати].

Окислительно-восстановительные обстановки. Выполненный нами ранее [Маслов и др., 2003б] анализ редокс-обстановок, существовавших в рифейских и вендских бассейнах, располагавшихся на территории современной западной мегазоны Урала, показал, что наиболее согласующимися их индикаторами являются отношения Mo/Mn , $V/(V+Ni)$, Ni/Co , Mn и V/Cr . Однако взятый сам по себе ни один из указанных индексов, за исключением Mo/Mn , не является достоверным показателем окислительно-восстановительных обстановок в придонном слое бассейнов седиментации. По материалам В.Н. Холодова с коллегами [Холодов, Недумов, 1991; Холодов, Пауль, 1999 и др.], в бассейнах с сероводородным заражением величина отношения Mo/Mn варьирует от 0,0n до 0,n, тогда как в хорошо аэрируемых водосмахах она составляет существенно менее 0,00n.

В проанализированных нами аргиллитах мезенской, зимнегорской и ергинской свит величина отношения Mo/Mn варьирует от 0,0002 (ергинская свита) до 0,0019 (зимнегорская свита), что однозначно указывает на доминирование в бассейнах окислительных обстановок в придонных слоях воды. Никель-кобальтовое отношение также не превышает порогового значения 5,0 ед., разделяющего отложения, сформированные в окислительных и дисокисных обстановках [Jones, Manning, 1994; Маслов и др., 2003б]. Значение индекса $V/(V+Ni)$ в аргиллитах мезенской, зимнегорской и ергинской свит весьма стабильно и составляет ~ 0,68-0,71, что указывает, по данным приведенным в работах [Lewan, 1984; Hatch, Leventhal, 1992], на накопление исходных осадков в умеренно бескислородных условиях.

В качестве показателя **климатических обстановок** использовано отношение $\Sigma Ce/\Sigma Y$ [Балашов и др., 1964; Ронов и др., 1972; Балашов, 1976], составляющее в прибрежно-морских отложениях аридного климата порядка 2,2-2,4, а в глинах гумидного климата поднимающееся до 3,9-4,8 ед. В аргиллитах зимнегорс-

³ В настоящей работе мы используем медианные значения тех или иных отношений и индексов, так как только данный статистический параметр позволяет дать обобщенную оценку совокупностей исходных аналитических данных с неизвестным характером распределения [Rock et al., 1987; Lee, 2002].

Таблица 2

Медианные содержания ряда малых и редкоземельных элементов (в г/т)
в аргиллитах верхнего венда и некоторые геохимические индексы

Элементы и их отношения	Вычегодский прогиб		Юго-восточное Беломорье	
	Мезенская свита		Зимнегорская свита	Ергинская свита
	Нижняя часть	Верхняя часть		
Sc	12,54	13,57	16,04	5,62
Cr	75,70	88,92	89,72	38,88
Mn	558,02	367,41	250,53	3663,59
Co	14,88	14,64	15,82	4,90
Ni	39,92	46,28	45,58	16,05
Y	29,88	32,19	29,55	19,32
Mo	0,79	0,79	0,42	0,81
La	33,89	37,33	42,13	17,01
Ce	72,00	82,27	92,17	35,96
Pr	8,45	9,16	10,23	4,24
Nd	31,93	34,76	36,91	16,01
Sm	6,19	6,71	6,59	3,39
Eu	1,28	1,33	1,28	0,79
Gd	5,18	5,73	5,02	3,28
Tb	0,82	0,90	0,80	0,57
Dy	4,96	5,26	4,86	3,39
Ho	1,03	1,07	1,03	0,65
Er	2,88	3,02	3,05	1,75
Tm	0,45	0,46	0,49	0,25
Yb	2,90	2,93	3,19	1,58
Lu	0,44	0,44	0,48	0,25
Th	11,35	11,97	13,74	5,98
sum REE	172,58	190,62	210,88	89,12
La _N /Yb _N	7,75	8,46	9,00	7,29
LREE/HREE	8,09	8,56	9,69	3,16
Eu/Eu*	0,70	0,69	0,64	0,73
La _N /Sm _N	3,45	3,24	4,18	6,54
Gd _N /Yb _N	1,45	1,62	1,35	1,68
Cr/Ni	2,00	1,93	1,99	2,42
La/Sc	2,43	2,72	2,60	3,03
La/Ni	0,83	0,82	0,93	1,06
La/Co	2,15	2,55	2,57	3,47
Th/Co	0,72	0,82	0,86	1,22
Th/Cr	0,14	0,15	0,15	0,15
Th/Sc	0,83	0,88	0,86	1,06
sum Ce / sum Y	3,17	3,30	3,91	2,49
Mo/Mn	0,0013	0,0016	0,0019	0,0002
Количество образцов	4	5	5	1

кой свиты Онежского полуострова величина отношения $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ составляет 3,91, указывая тем самым на гумидные климатические обстановки накопления тонкой алюмосиликокластики в данное время. Несколько меньше этот параметр в аргиллитах мезенской свиты Вычегодского прогиба (3,17-3,30), однако и в данном случае тонкозернистые терригенные породы скорее всего накапливались в гумидных обстановках. В то же время в глинистых алевролитах основания ергинской свиты венда величина отношения $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ составляет всего 2,49 ед. (см. табл. 2), что типично, исходя из представлений Ю.А. Балашова и его коллег, для отложений аридных климатических обстановок. Учитывая, что ергинский уровень в нашей выборке представлен только одной пробой, эти данные мы оставляем пока без комментариев, однако в будущем на указанное обстоятельство следует обратить особое внимание.

Еще одним индикатором палеоклимата является индекс $\text{CIA} = 100 \times \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [Nesbit, Young, 1982; Fedo et al., 1995]. В настоящее время мы пока не располагаем представительной выборкой химических анализов по аргиллитам верхнего венда из рассматриваемых в настоящей работе районов, однако для самых первых, ориентировочных суждений, можно использовать данные по химическому составу аргиллитов плетневской, усть-пинежской, любимской, лежской и галичской свит центральной части Московской синеклизы, опубликованные в начале 90-х гг. А.В. Сочавой и др. [1992] (табл. 3). Анализ изменения значений индекса CIA, рассчитанного нами по данным А.В. Сочавы и др., снизу вверх по разрезу верхнего венда показывает прогрессирующее уменьшение от ~ 76 ед. в плетневское время до менее 66 ед. в галичское время (рис. 1), что, возможно, указывает на постепенную смену на палеоводосборах гумидных обстановок более аридными, обусловившими постепенное снижение в течение позднего венда степени зрелости тонкой алюмосиликокластики поступавшей в область седиментации.

Вместе с тем к данному выводу следует подходить с достаточной степенью осторожности, так как величина отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в аргиллитах названных свит вверх по разрезу увеличивается от 0,15 до 0,27 (рис. 2), подчеркивая тенденцию к поступлению в бассейн с течением времени все менее рециклированного, или менее зрелого, материала.

На рис. 3 показаны вариации медианных концентраций Th, Cr, Sc и РЗЭ в аргиллитах различных литостратиграфических уровней верхнего венда Мезенской синеклизы по отношению к PAAS. В аргиллитах зимнегорской свиты содержания Th, Sc и всех РЗЭ несколько выше, чем в PAAS; напротив, содержания хрома заметно ниже. Аргиллиты ергинского уровня характеризуются существенно меньшими, нежели в PAAS, содержаниями Th, Cr, Sc и легких РЗЭ. Несколько понижены в них концентрации средних РЗЭ, тогда как тяжелые РЗЭ также присутствуют в заметно меньшем, чем в PAAS, количестве. Аргиллиты нижней части мезенской свиты заметно обеднены хромом, тогда как концентрации тория, скандия и всех РЗЭ в них примерно те, что типичны и для PAAS. Только в образце 3m концентрации Th, Cr, Sc и легких РЗЭ заметно ниже, чем в постархейском австралийском сланце. Глинистые породы верхней части мезенской свиты, также как и все рассмотренные выше, заметно обеднены хромом; концентрации других, рассматриваемых здесь элементов, в них либо несколько ниже, либо выше, чем в PAAS.

Состав и эволюция источников сноса.

Сумма РЗЭ в аргиллитах верхней части усть-пинежской свиты составляет около 170 г/т, в верхних ее горизонтах она достигает 190 г/т; аргиллиты зимнегорской свиты содержат несколько более высокую сумму РЗЭ – 210 г/т. Все указанные значения типичны для тонкозернистой алюмосиликокластики, сформированной за счет разрушения преимущественно пород кислого состава. Напротив, аргиллиты ергинской свиты имеют сумму РЗЭ примерно в 2,5 раза меньшую, что позволяет сделать два предположения – либо они сформированы за счет размыва пород преимущественно основного состава, либо, что, по всей видимости, более правильно, исходя из достаточно высоких значений в них отношения La_N/Yb_N , низкие содержания в них РЗЭ обусловлены заметным разбавлением глинистого материала алевроитовой алюмосиликокластикой.

Величина отношения $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ в аргиллитах мезенской и зимнегорской свит достаточно близка и варьирует от 8,09 до 9,69 ед., что, как известно, предполагает формирование исходных осадков за счет эрозии на палеоводосборах преимущественно пород кислого состава. Этот же параметр в аргиллитах ергинского уровня составляет всего 3,16 ед., что, воз-

Средний химический состав аргиллитов верхнего венда центральной части Московской синеклизы, по данным А.В. Сочавы и др. [1992]

	Плетеневская свита	Усть-пинейская свита	Любимская свита	Лежская свита	Галичская свита
SiO ₂	53,55	57,84	60,25	62,89	60,65
TiO ₂	0,97	0,80	0,89	0,94	0,87
Al ₂ O ₃	21,94	18,73	17,99	16,54	17,54
Fe ₂ O _{3 total}	8,24	7,55	8,15	7,28	7,39
MnO	0,04	0,21	0,06	0,05	0,04
MgO	2,33	2,11	2,17	2,60	2,50
CaO	0,32	0,52	0,36	0,31	0,34
Na ₂ O	1,07	1,15	1,25	0,59	0,70
K ₂ O	3,20	3,69	3,73	3,60	4,76
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,08	0,09	0,04
ppp	7,76	6,86	4,70	4,64	4,69
Сумма	99,50	99,53	99,63	99,53	99,52
CIA	76	69	69	70	66
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0,15	0,20	0,21	0,22	0,27

Рис. 1. Вариации значений индекса CIA в аргиллитах снизу вверх по разрезу верхнего венда центральной части Московской синеклизы.

Свиты: V₂plt – плетеневская; V₂u-pin – усть-пинейская; V₂lub – любимская; V₂lzh – лежская; V₂gl – галичская.

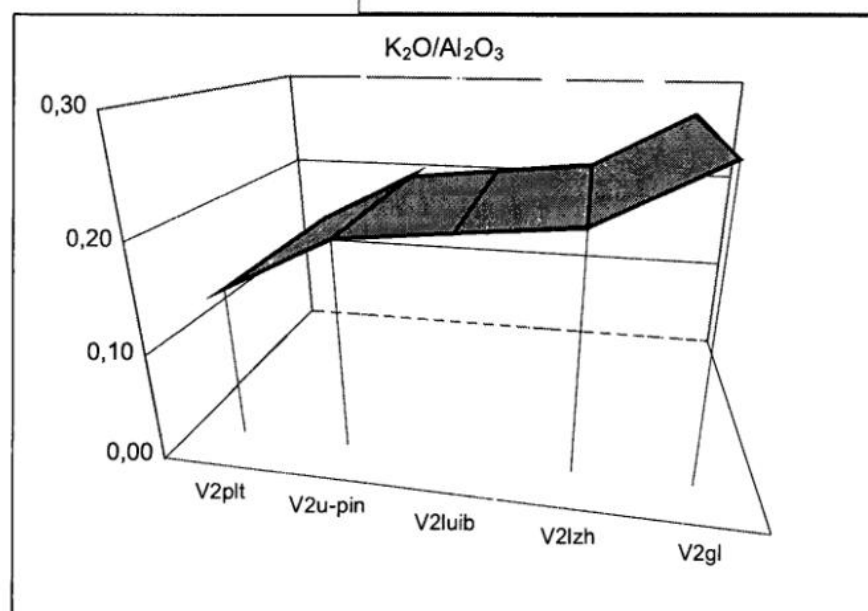
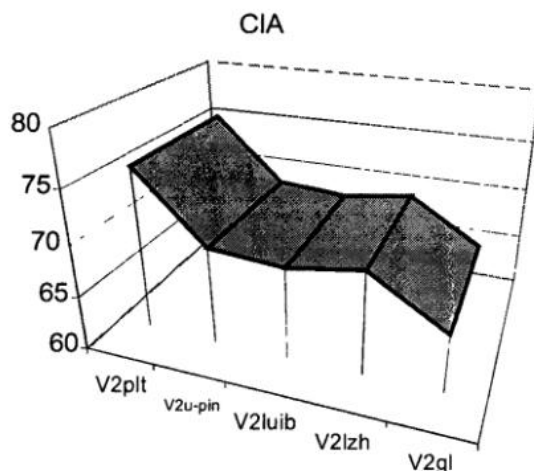


Рис. 2. Вариации величины отношения K₂O/Al₂O₃ в аргиллитах верхнего венда центральной части Московской синеклизы.

Условные обозначения см. на рис. 1.

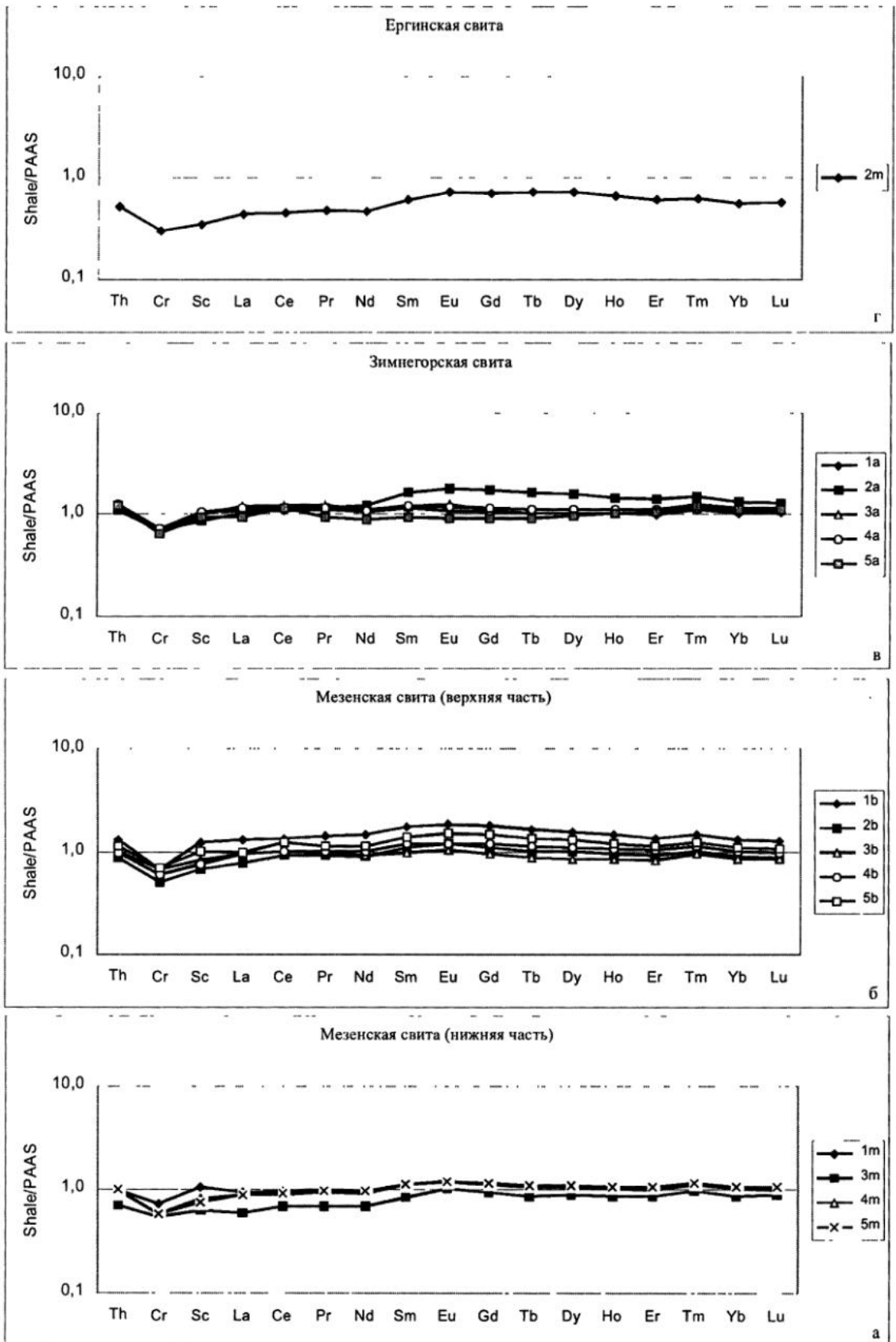


Рис. 3. Вариации медианных концентраций Th, Cr, Sc и РЗЭ в аргиллитах различных уровней верхнего венда Мезенской синеклизы по отношению к PAAS.

Уровни разреза: а – нижняя часть мезенской свиты; б – верхняя часть мезенской свиты; в – зимнегорская свита; г – ергинская свита.

можно, указывает на существенное участие в их составе материала основных и ультраосновных пород источников сноса [Yang et al., 1998]; в то же время отношение Gd_N/Yb_N в аргиллитах ергинской свиты несколько выше (1,68 против < 1,5 ед.) тех значений, что типичны для основных и средних вулканитов.

Спектры РЗЭ аргиллитов зимнегорской свиты Зимнего берега Белого моря характеризуются высоким значением отношения La_N/Yb_N и относительно небольшой величиной отношения Gd_N/Yb_N (рис. 4). Напротив, аргиллиты ергинского уровня имеют менее высокое значение отношения La_N/Yb_N и повышенное, по сравнению с зимнегорским уровнем, значение отношения Gd_N/Yb_N . Показателен также и менее крутой наклон правой ветви спектра в аргиллитах ергинской свиты, что отражается в более низком значении отношения La_N/Sm_N , чем это типично для аргиллитов зимнегорского уровня (4,18 против 6,54 ед.).

Что касается мезенской свиты, то при сравнении спектров РЗЭ аргиллитов нижней и верхней ее частей можно видеть увеличение значения отношений La_N/Yb_N и Gd_N/Yb_N вверх по разрезу и параллельно некоторое уменьшение параметра La_N/Sm_N . Возможно, это указывает на преимущественный размыв гранитоидов и пород так называемых рециклированных орогенов, что следует и из сопоставимых или более высоких концентраций тяжёлых РЗЭ, чем это типично для PAAS [Подковыров и др., 2002] (см. рис. 3).

Eu/Eu* отношение в аргиллитах нижней и верхней частей мезенской свиты Вычегодского прогиба практически одинаково (0,70-0,69 ед.) и несколько повышено против PAAS. В аргиллитах зимнегорского уровня оно составляет 0,64, однако в аргиллитах ергинского уровня заметно выше – 0,73 ед.

Индикаторами состава источников сноса являются также отношения La/Sc , La/Ni , La/Co , Th/Co , Th/Cr и Th/Sc [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, Taylor, 1991; McLennan et al., 1993].

При сопоставлении названных параметров в аргиллитах зимнегорской и ергинской свит, мы видим хорошо выраженную тенденцию к росту отношений La/Sc , La/Co , Th/Co , Th/Sc и La/Ni вверх по разрезу (рис. 5, а), что позволяет предполагать, в отличие от тенденции по отношению $\Sigma LREE/\Sigma HREE$, некоторый рост доли пород кислого состава в областях сноса от зимнегорского к ергинскому времени.

Вариации этих же отношений в аргиллитах нижней и верхней частях мезенской свиты выражены менее резко – только La/Sc и La/Co имеют ясно выраженную тенденцию к росту вверх по разрезу (рис. 5, б). Менее ярко аналогичная тенденция выражена для отношения Th/Co . Остальные индексы снизу вверх по разрезу заметно не меняются. Все это, возможно, указывает на некоторое увеличение доли кислых магматических пород в источниках сноса к концу времени накопления отложений мезенской свиты.

На диаграмме $Eu/Eu^*-Gd_N/Yb_N$ точки составов аргиллитов верхнего венда локализованы преимущественно в области перекрытия полей постархейских кратонных осадков и отложений активных в тектоническом отношении областей (рис. 6).

На диаграмме $(La/Yb)_N-Yb_N$ [Martin, 1986] фигуративные точки аргиллитов сконцентрированы в поле составов постархейских гранитоидов (рис. 7), более обогащенных тяжёлыми РЗЭ по сравнению с кислыми магматическими породами архея.

На диаграмме $Th/Sc-Sc$ фигуративные точки составов аргиллитов венда юго-восточного Беломорья и Мезенской впадины локализованы достаточно компактно и по своему составу весьма близки к NASC и PAAS (рис. 8), т.е. соответствуют стандартным составам постархейских глинистых сланцев. Показательно также и то, что точки аргиллитов всех трех рассматриваемых в настоящей статье литостратиграфических подразделений верхнего венда существенно отличаются как по содержанию Sc, так и по величине отношения Th/Sc от средних составов архейских гранитоидов и пород тоналит-трондьемит-гранитной ассоциации, что позволяет предполагать относительно небольшую роль последних в формировании терригенных последовательностей венда юго-восточного Беломорья и Вычегодского прогиба.

Все сказанное выше позволяет сделать следующие выводы.

Накопление алюмосиликокластических отложений мезенской, зимнегорской и ергинской свит происходило в условиях доминирования в бассейне окислительных обстановок в придонных слоях воды. Климат времени формирования отложений зимнегорского и мезенского времени можно считать гумидным. В ергинское время накопление осадков на территории современного юго-восточного Беломорья происходило, по всей видимости, в более суро-

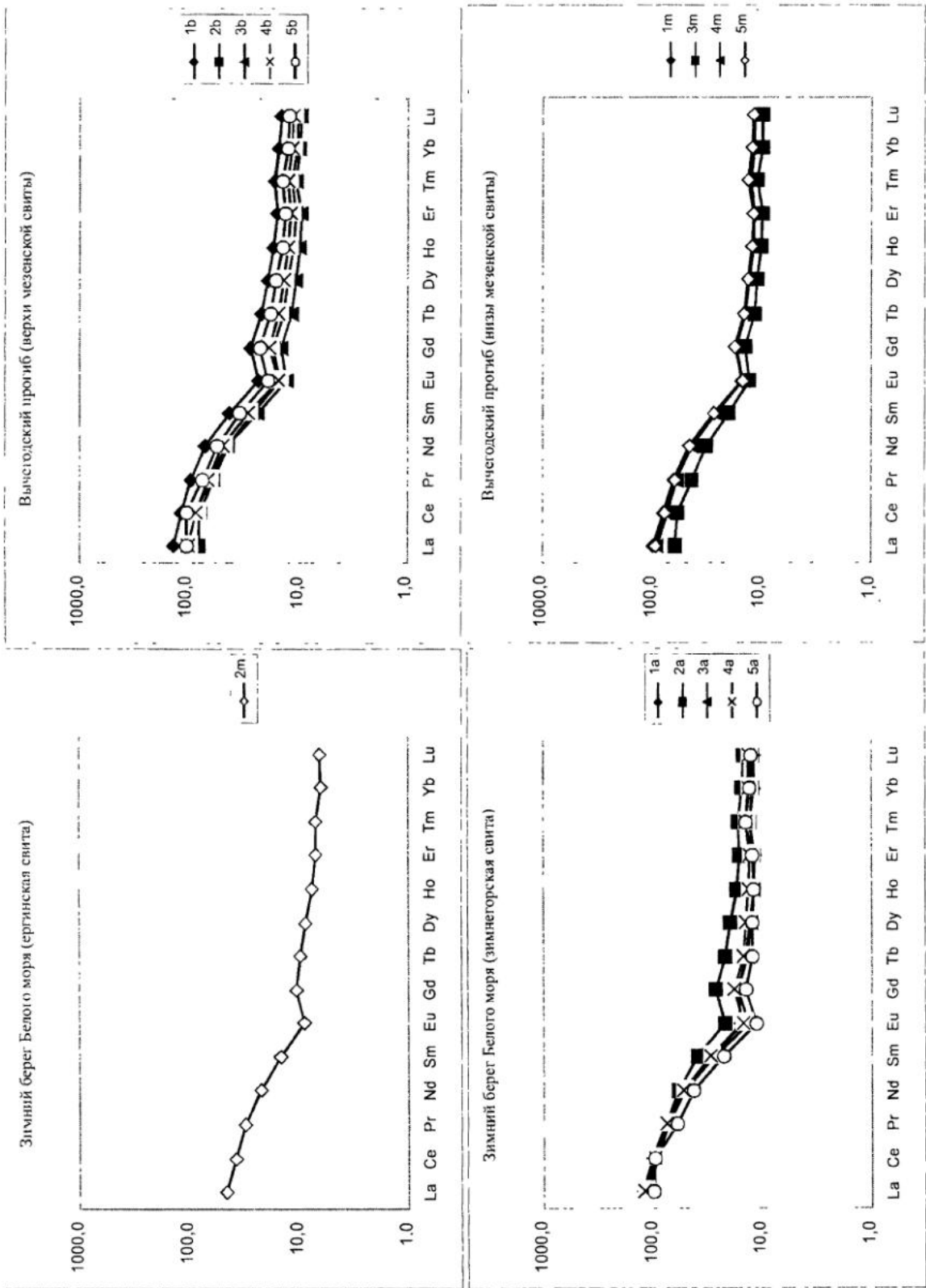


Рис. 4. Спектры РЗЭ в аргиллитах различных литостратиграфических уровней венда юго-восточного Беломорья и Вычегодского прогиба.

Рис. 5. Вариации отношений La/Sc , La/Co , Th/Co , Th/Sc , Th/Cr и La/Ni в аргиллитах зимнегорской и ергинской (а) и нижней и верхней частях мезенской (б) свит.

zmn – зимнегорская свита; erg – ергинская свита; mzn₁ – нижняя часть мезенской свиты; mzn₂ – верхняя часть мезенской свиты.

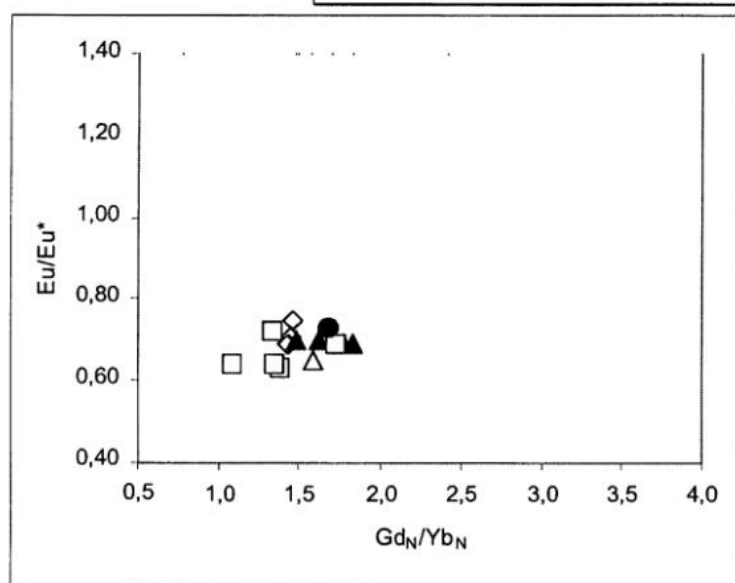
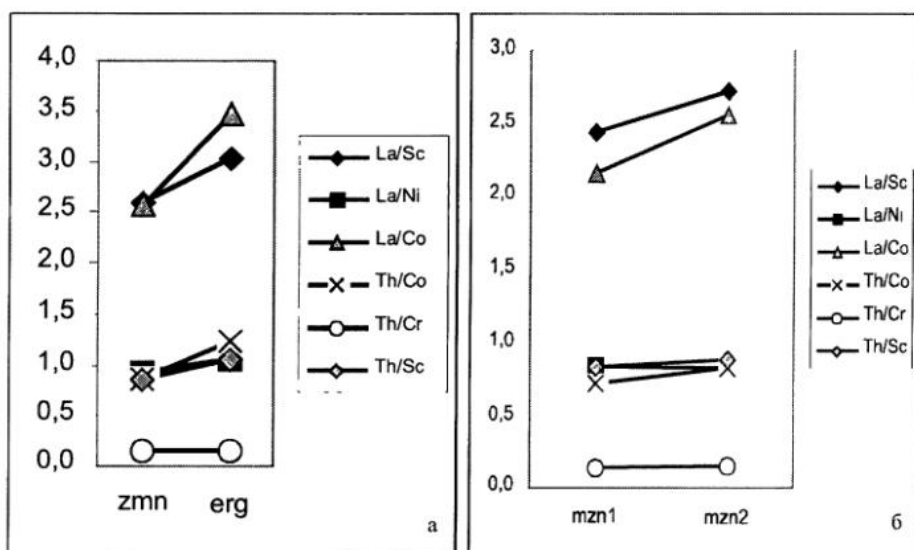
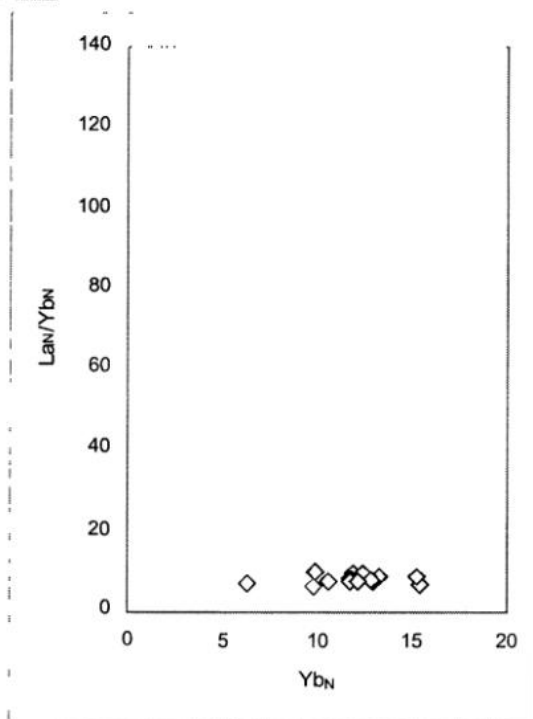


Рис. 6. Положение фигуративных точек составов аргиллитов венда на диаграмме $\text{Eu/Eu}^* - \text{Gd}_N/\text{Yb}_N$.

Условные обозначения: ромбики – аргиллиты нижней части мезенской свиты; заливные треугольники – аргиллиты верхней части мезенской свиты, кружок – аргиллиты ергинского уровня; квадратики – аргиллиты зимнегорской свиты.

Рис. 7. Положение фигуративных точек составов аргиллитов венда на диаграмме $(\text{La/Yb})_N - \text{Yb}_N$.



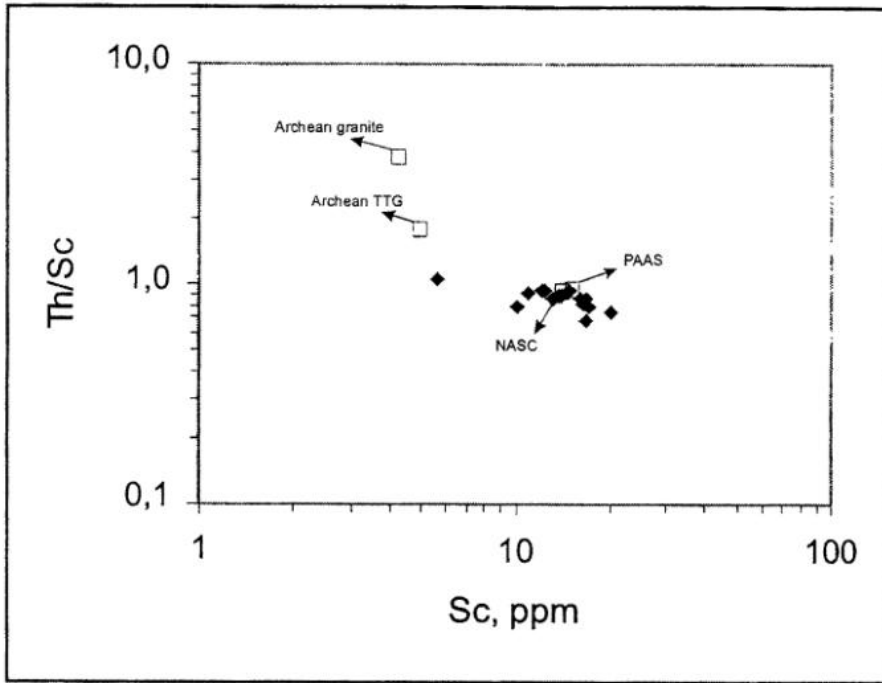


Рис. 8. Локализация фигуративных точек составов аргиллитов венда юго-восточного Беломорья и Мезенской впадины на диаграмме Th/Sc-Sc.

вых климатических условиях (аридных?). На эту же тенденцию указывает и характер изменения снизу вверх по разрезу верхнего венда центральной части Московской синеклизы индекса CIA: от 76 ед. в аргиллитах плетневского уровня до менее 66 ед. в глинах галичской свиты.

Данные по средним содержаниям РЗЭ в аргиллитах и глинах мезенской и зимнегорской свит указывают на формирование их за счет разрушения преимущественно пород кислого состава. Существенно иной вывод может быть сделан для глинистых пород ергинского уровня Беломорья, но он нуждается в верификации на более представительном материале. На преимущественно кислый состав субстрата, размывавшегося в мезенское и зимнегорское время, указывают также высокие значения в аргиллитах и глинах отношений La_N/Yb_N и $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ и особенности спектров РЗЭ. В глинах ергинского уровня последнее отношение составляет всего 3,16 ед., что, возможно, указывает на существенное участие в их составе материала основных и ультраосновных пород. Для отложений данного уровня характерно также менее высокое значение отношения La_N/Yb_N , повышенное, по сравнению с зимнегорским уровнем, значение Gd_N/Yb_N и более низкое значение отношения La_N/Sm_N .

Аргиллиты мезенской свиты Вычегодского прогиба накапливались, вероятно, в основном за счет размыва гранитоидов и так называемых рециклированных орогенов. Первое мож-

предполагать, что основными источниками тонкой алюмосиликокластики в венде для рассматриваемых образований являлись постархейские гранитоиды. На это же указывает и близость составов проанализированных нами аргиллитов к составам NASC и PAAS.

Исследования по данной теме выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 03-05-64121).

Список литературы

- Аксенов Е.М. О вендском комплексе на востоке Русской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. № 9. С. 81-91.
- Аксенов Е.М. История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук в виде научного доклада. С-Пб.: ИГТД РАН, 1998. 106 с.
- Аксенов Е.М., Волкова С.А. Вулканогенно-осадочные горизонты редкинкой свиты валдайской серии // Докл. АН СССР. 1969. Т. 188. № 3. С. 635-638.
- Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
- Балашов Ю.А., Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Туранская Н.В. Влияние климатических и фациальных условий на разделение редкоземельных элементов в осадочном процессе // Геохимия. 1964. № 10. С. 995-1014.
- Бурзин М.Б. Палеобиогеография позднего венда Русской платформы // Палеогеография венда-раннего палеозоя Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 136-146.

Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы / Отв. ред. Б.С. Соколов и М.А. Федонкин. М.: Наука, 1985. 236 с.

Верхний докембрий европейского севера СССР: объяснительная записка к схеме стратиграфии. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО АН СССР, 1986. 40 с.

Гецен В.Г. Палеотектоника северо-востока Европейской платформы в позднем протерозое // Труды ИГ КомиНЦ УрО РАН. Вып. 68. Сыктывкар: КомиНЦ УрО АН СССР, 1988. С. 32-46.

Гражданкин Д.В. Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в юго-восточном Беломорье // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11. № 4. С. 3-23.

Кузьменко Ю.Т., Бурзин М.Б. Стратиграфическая схема вендских отложений Московской синеклизы. Объяснительная записка. М.: РМСК, 1996. 46 с.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Петров Г.А. К оценке редокс-обстановок рифейских и вендских бассейнов осадконакопления западного склона Урала // Литосфера. 2003б. № 2. С. 75-93.

Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Подковыров В.Н. и др. Вендские осадочные последовательности области сочленения Русской платформы и Урала: мультидисциплинарный подход к реконструкции особенностей формирования // Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов: тектоника, магматизм, метоморфизм, седиментогенез, полезные ископаемые. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003а. С. 36-39.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. РЗЭ, Cr, Th и Sc в глинистых сланцах типового разреза рифея как показатели состава и эволюции источников сноса // Литосфера. 2004. В печати.

Оловянишников В.Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 162 с.

Оловянишников В.Г. Галогенные формации северо-востока Европейской части России // Терригенные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий: седименто- и литогенез, минерализация: Мат-лы 5 Уральск. литологического совещ. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 169-172.

Оловянишников В.Г., Гражданкин Д.В. Следы жизнедеятельности бесскелетной фауны в верхнедокембрийских отложениях Вычегодского прогиба // Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазоносности рифея и венда восточной части Восточно-Европейской платформы. Ч. 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1999. С. 54-55.

Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. Глинистые отложения Сибирского гипостратотипа рифея и венда: химический состав, Sm-Nd систематика источников и этапы формирования // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 4. С. 33-55.

Рифей и венд Европейского севера СССР / Под ред. В.А. Дедеева и В.Г. Гецена. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1987. 124 с.

Ронов А.Б., Балашов Ю.А., Гирич Ю.П. и др. Закономерности распределения редкоземельных элементов в осадочной оболочке и в земной коре // Геохимия. 1972. № 12. С. 1483-1513.

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.

Станковский А.Ф., Веричев Е.М., Гриб В.П., Добейко И.П. Венд юго-восточного Беломорья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1981. № 2. С. 78-87.

Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка. Уфа: ИГ УНЦ РАН, ЦНИИГеолнефть, БашНИПИНефть. 2000. 80 с.

Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

Холодов В.Н., Недумов Р.И. О геохимических критериях появления сероводородного заражения в водах древних водоемов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 12. С. 74-82.

Холодов В.Н., Пауль Р.К. Фации и генезис фосфоритов Каратау. Сообщение 1. Вендско-кембрийский палеоводоем и морфометрия фосфатных пеллет // Литология и полез. ископаемые. 1999. № 4. С. 350-367.

Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // Geology. 1995. V. 23. P. 921-924.

Hatch J.R., Leventhal J.S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. // Chem. Geol. 1992. V. 99. P. 65-82.

Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. V. 111. P. 111-129.

Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea // Sed. Geol. 2002. V. 149. P. 219-235.

Lewan M.D. Factors controlling the proportionality of vanadium to nickel in crude oils // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 2231-2238.

Martin H. Effect of steeper Archean geothermal gradients on geochemistry of subduction-related magmas // Geology. 1986. V. 4. P. 753-756.

Martin M.W., Grahdankin D.V., Bowring S.A. et al. Age of Neoproterozoic bilaterian body and trace fossils, White Sea, Russia: implications for Metazoan evolution // Science. 2000. V. 288. P. 841-845.

McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // J. Geol. 1991. V. 99. P. 1-21.

McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics // In: Johnsson M.J. and Basu A. (Eds.), Processes controlling the composition of clastic sediments. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 1993. V. 284. P. 21-40.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715-717.

Rock N.M., Webb J.A., McNaughton N.J. et al Nonparametric estimation of averages and errors for small datasets in isotope geoscience: a proposal // Chem. Geol. 1987. V. 66. P. 163-177.

Yang H., Kyser K., Ansdell K Geochemical and Nd isotopic compositions of the metasedimentary rocks in the La Ronge Domam, Trans-Hudson Orogen, Canada implications for evolution of the domain // Prec. Res. 1998. V. 92. P. 37-64.