

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРГИЛЛИТОВ ВЕРХНЕГО ВЕНДА БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОГО ПЛАТО (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ БЕЛОМОРЬЕ) КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТАВА ИСТОЧНИКОВ СНОСА

А.В. Маслов, Д.В. Гражданкин, В.Н. Подковыров, Ю.Л. Ронкин

Состав палеоводосборов, выступавших в качестве источников обломочного материала для поздневендского бассейна, существовавшего на севере Восточно-Европейской платформы, в пределах Мезенской синеклизы, до настоящего времени является предметом дискуссии.

Так, А.Н. Петровская с соавторами [1972] считали, что питание обломочным материалом этого бассейна на протяжении всего позднего венда осуществлялось за счет изверженных пород основного ряда. Э.А. Пиррус [1980] отмечал, что в составе питающих провинций значительную роль играли хлоритсодержащие сланцы¹. Среди песчаников верхней части верхневендской последовательности (ергинский и падунский уровни) достаточно велика доля аркозовых и субаркозовых разностей [Гражданкин и др., 2005], что может указывать на снос кластики с Балтийского щита. Вместе с тем, анализ особенностей строения и обстановок накопления верхневендских отложений Юго-Восточного Беломорья показывает, что они были сфор-

мированы в подводнодельтовых обстановках, надводные же части дельт располагались, по всей видимости, северо-восточнее рассматриваемой нами территории – в области Варангер-Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса [Гражданкин, 2003; Гражданкин и др., 2005]. На привнос обломочного материала с северо-востока указывает и ярко выраженный одномодальный характер распределения индикаторов палеотечений, установленный по замерам падения косых слойков и простираения слепков промоин [Гражданкин, 2003].

Для разрешения указанных выше противоречий мы использовали современные геохимические методы исследования.

Материалом для исследований послужил керн скважины 770 Чидвия, пробуренной в верховьях р. Зимней Золотицы в 1980-х гг. (рис. 1) экспедицией 17 ПГО «Невскгеология», а также ряд образцов глин, отобранных из обнажения Зимние Горы и скв. С18 Агма, пробуренной в 1996 г. Новодвинской экспедицией (проба ГРД-1 отобрана из низов разреза лямичской свиты, проба ГРД-2 характеризует середину верхов-

¹ Т.е. по сути дела также породы основного состава (А.М. и др.).

кой свиты, пробы ГРД-5 и ГРД-6 представляют зимнегорскую свиту).

Определение содержаний рассеянных и редких элементов (14 REE, Li, Be, Sc, Ti, Cr, Ni, V, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, Tl, Pb, Th и U) выполнено с помощью высокочувствительного масс-спектрометра высокого разрешения с индуктивно-связанной плазмой для элементного анализа и изотопного скрининга (метод ICP-MS). Точность анализа определялась величиной концентрации того или иного элемента и составляла от 3 до 20-50 отн. % (для очень низких, на уровне предела обнаружения, содержаний). Достоверность полученных данных подтверждена также анализом дубликатов, отобранных случайным образом.

Беломорско-Кулойское плато располагается на северо-западном борту Мезенской синеклизы.

В основании осадочного чехла здесь залегает туфогенно-терригенная последовательность поздневендского возраста, представленная прибрежно-морскими, флювиально-морскими и аллювиальными отложениями [Гражданкин, 2003; Гражданкин и др., 2005; Станковский и др., 1985]. Мощность ее достигает 1000 м.

В настоящее время верхневендские отложения в Юго-Восточном Беломорье расчленены на лямичскую, верховскую, зимнегорскую и ергинскую свиты [Гражданкин, 2003]. Условно в состав верхнего венда помещается также падунская свита.

Осадочная последовательность лямичской и верховской свит (400 м) сложена циклическим чередованием интервалов тонкослоистых глин с пачками переслаивания мелкозернистых песчаников, алевролитов и глин. Каждый такой цикллит в основании сложен трансгрессивными тонкослоистыми глинами, которые сменяет конденсированная толща переслаивания алевролитов и глин с карбонатными прослойками, соответствующая пику трансгрессии, а завершается цикллит регрессивной пачкой переслаивания алевролитов и глин с прослоями штормовых песчаников. В наиболее мощных интервалах тонкослоистых глин в основании лямичской и верховской свит залегают тонкие прослои вулканических пеплов. Перечисленные особенности строения ля-

мицко-верховского подкомплекса позволяют интерпретировать эту последовательность как результат продвижения (надстраивания) и периодического отступления прибрежных обстановок со штормовым режимом седиментации в область подводных илистых равнин с относительно спокойной седиментацией в условиях мелководного эпиплатформенного бассейна.

Лямичко-верховская последовательность отвечает наиболее продолжительной морской фазе развития бассейна. В средней части верховской свиты в регрессивную часть одного из цикллитов вклинивается пакет флювиально-морских песчаников, выполняющих разнообразные слепки каналов. Этот пакет отвечает наиболее низкому стоянию уровня моря за время накопления лямичко-верховской последовательности [Гражданкин, 2003]. Интервал максимального затопления для

всего подкомплекса, видимо, заключен в нижней части верховской свиты.

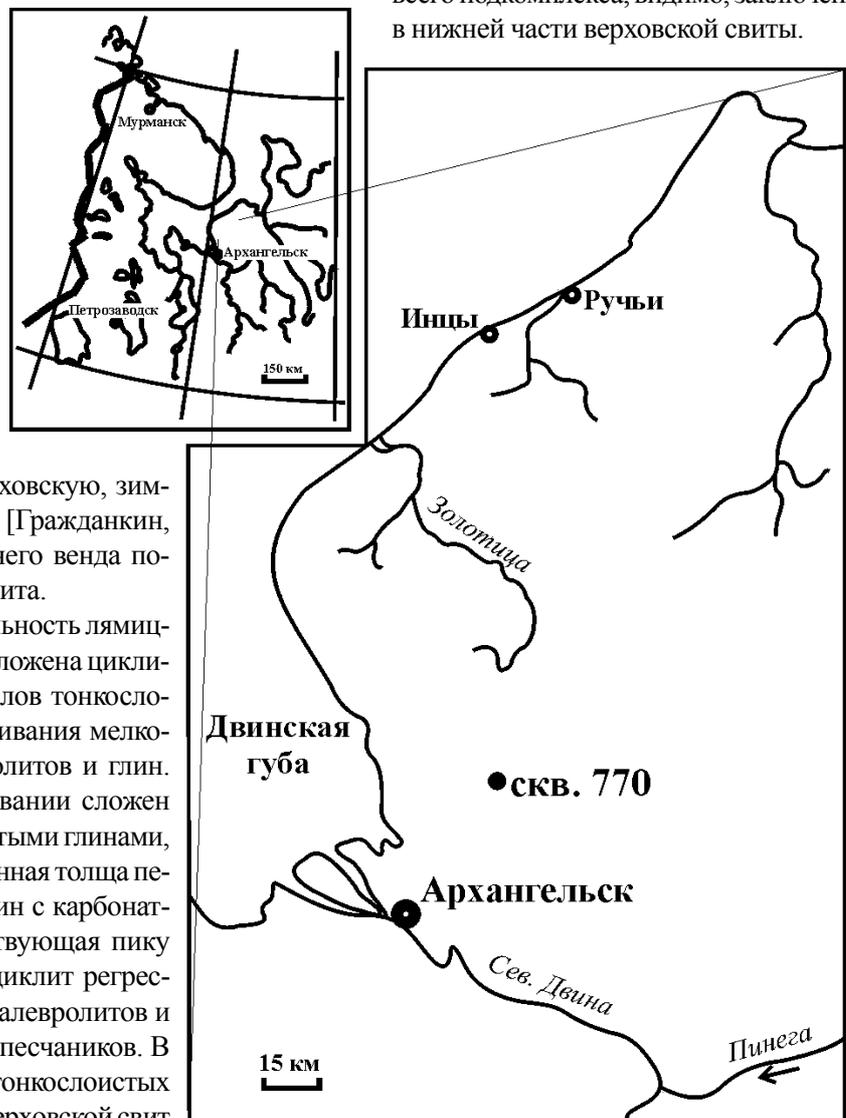


Рис. 1. Положение скв. 770 в пределах Беломорско-Кулойского плато.

Строение зимнегорской свиты ярко отражает особенности соответствующего этапа развития бассейна. Осадочная последовательность свиты установлена только на северо-востоке Беломорья, что свидетельствует о резком сокращении бассейна седиментации в предзимнегорское время, благодаря чему на большей части Беломорско-Кулойского плато отложения свиты не накапливались. Смена фаций на границе верховской и зимнегорской свит, отвечающая замещению мелководно-морских обстановок на флювиально-морские, также указывает на сокращение бассейна. Кроме того, в направлении к северо-востоку в строении разрезов свиты увеличивается роль алевролитов и глин, при этом мощность суммарного разреза свиты также возрастает до 200 м в скв. Торожма. С другой стороны, в наиболее южных разрезах (Зимние Горы) в основании свиты выявлено несколько поверхностей размыва, пакеты кварцевых песчаников, гравелиты и конгломераты, что свидетельствует о существенной роли процессов подводной эрозии и близости палеоберега. Следовательно, современные границы распространения зимнегорской свиты на территории Беломорско-Кулойского плато приблизительно отвечают границам палеобассейна. В целом, на зимнегорский этап развития приходится максимально низкое стояние уровня моря за время накопления вендского комплекса.

Рассматривая особенности ергинского этапа осадконакопления, важно отметить выраженный трансгрессивный характер нижней границы ергинского подкомплекса. Во-первых, к низам подкомплекса приурочена резкая смена морфологии мелких циклитов с регрессивной на прогрессивную, что отражает перелом в развитии осадочной системы [Гражданкин, 2003]. Во-вторых, наряду с признаками размыва мы видим резкую смену фаций: в разрезе Зимних Гор нижняя граница подкомплекса разделяет преимущественно флювиально-морские отложения подводных песков и каналов, характеризующих обстановки песчаных отмелей, от вышележащих мелководно-морских отложений прибойных микродельт. В-третьих, отложения ергинской свиты в более южных разрезах трансгрессивно налегают на поверхность отложений верховской свиты. Кроме того, в основании ергинской свиты присутствуют локальные размывы в виде карманов, заполненных песчаниками с галькой.

Черепитчатый характер залегания гальки в относительно мелкозернистом песчаном

матрикс, следы волочения гальки и тонкая штриховка на ее поверхности указывают на многократный перемыв. Нижняя граница ергинской свиты, таким образом, отвечает событию максимального затопления бассейна Мезенской синеклизы. При такой интерпретации, нижняя часть ергинского подкомплекса соответствует высокому положению уровня моря. В кровле зимнегорской последовательности наблюдаются размыв и врезанная долина с перепадом рельефа до 29 м, заполненным отложениями «ергинских слоев» в схеме А.Ф. Станковского. После заполнения долины, на территории Беломорско-Кулойского плато установились обстановки типа «подводной дельтовой равнины». Мощность отложений ергинской свиты превышает 120 м, что указывает на существование устойчивого и сильного круглогодичного речного стока с северо-востока [Grazhdankin, 2004].

Падунская свита, мощность которой превышает 250 м, сложена средне- и крупнозернистыми красноцветными песчаниками, в то время как алевролиты и глины имеют подчиненное значение. В нижней части свиты, мощностью около 70 м, основную роль играют песчаники с мульдобразной косою и грубой горизонтальной слоистостью, которые характеризуют отложения многочисленных рукавов (русел) подводной дельтовой распределительной системы. В средней части свиты выделяется толща мощностью до 100 м, сложенная песчаниками с флазерной слоистостью, формирование которых происходило в обстановках приливного мелководья. Верхние 80 м свиты сложены ритмичным чередованием песчаников и алевролитов, что свидетельствует о трансгрессивном характере осадконакопления. В целом падунский комплекс отложений отвечает условиям постепенного прогибания бассейна. При сопоставлении разрезов Беломорско-Кулойского плато установлено, что на северо-востоке рассматриваемой территории наблюдается залегание падунских отложений на более молодых горизонтах ергинской свиты. Эта особенность строения не только указывает на эрозионный характер нижней границы падунской свиты, но и позволяет предположить, что область наиболее интенсивного прогибания бассейна располагалась на северо-востоке, в более проксимальной его части по отношению к предполагаемым источникам сноса алюмосиликокластики.

В скв. 770 нижняя граница верхневендских отложений проводится на глубине 855 м по

подошве пачки пестроцветных тонкослоистых глин с прослоями вулканических пеплов, залегающей на красноцветных слюдястых полевошпат-кварцевых песчаниках чидвийской свиты верхнего рифея [Якобсон и др., 1991]. Верхневендские отложения расчленяются здесь на лямицкую, верховскую, ергинскую и падунскую свиты. Отложения зимнегорской свиты в данной скважине отсутствуют; ергинская свита на глубине 456 м залегает непосредственно на верховской. На глубине 44 м на породы венда с размывом ложатся четвертичные образования. Нижняя граница падунской свиты проходит на глубине 243 м, нижняя граница верховской – на глубине 652 м.

Для реконструкции состава пород водосборов и их мониторинга нами проведен анализ спектров редкоземельных элементов (REE) и рассмотрены соотношения элементов-примесей, типичных для пород кислого и основного состава в более чем 25 пробах аргиллитов из всех литостратиграфических подразделений разреза.

Реконструкция состава источников сноса по спектрам REE основана на том, что магматические породы основного состава характеризуются низкими отношениями легких редкоземельных элементов к тяжелым (LREE/HREE) и не имеют достаточно выраженной Eu аномалии, тогда как кислым породам свойственны высокие отношения LREE/HREE и отчетливая отрицательная (менее 0,9) аномалия Eu [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. Соотношение кислых и основных пород в источниках сноса может быть оценено и по общему виду спектра распределения REE. Значения отношения $La_N/Yb_N < 4$ и пологий общий облик спектра ($Gd_N/Yb_N < 1,5$) позволяют предполагать существенную роль в источниках сноса магматических пород основного состава, тогда как при величине $La_N/Yb_N > 8$ (и, соответственно, крутом наклоне спектра) можно сделать вывод о преобладании в областях питания кислых магматических образований. Высокие значения отношения $La_N/Yb_N (\geq 20)$ указывают на доминирование на палеоводосборах гранитоидов [Wronkiewicz, Condie, 1990]. Европиевая аномалия (Eu/Eu*) в аргиллитах также является показателем состава размывавшихся на палеоводосборах пород. В случае, когда величина европиевой аномалии относительно невелика (~ 0,95-0,90), можно сделать вывод о преобладании в областях размыва раннедокембрийских (архейских ?) кристаллических пород или пород, сформированных за счет ювенильного материала, не претерпевшего су-

щественного преобразования в континентальной коре. При величине $Eu/Eu^* < 0,90$ можно предполагать, что породы в источниках сноса претерпели определенную внутрикоровую трансформацию [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. Так как большинство малых элементов переносятся из областей сноса в области осадконакопления без существенной дифференциации на путях переноса, а их содержания и соотношения в различных типах магматических образований различны, то по величине ряда геохимических коэффициентов в аргиллитах можно сделать вывод о составе областей размыва. Например, для кислых магматических образований (граниты, гранодиориты) характерны на один-два порядка более высокие, нежели для базитов, значения отношений Th/Sc, La/Sc, La/Co, Th/Co, Th/Cr, V/Ni и др. и наоборот, основные магматические породы имеют на один-два порядка более высокие значения отношений Cr/Zr, Cr/V и др. На доминирование в источниках сноса мафит/ультрамафитовых комплексов указывают высокие отношения Ni/Co и Cr/V, а также низкая величина V/Ni.

Теперь кратко рассмотрим особенности изменения ряда из указанных параметров снизу вверх по разрезу верхнего венда Беломорско-Кулойского плато.

Сумма редкоземельных элементов. Сумма REE в аргиллитах верхнего венда Беломорско-Кулойского плато снизу вверх по разрезу обнаруживает отчетливо выраженную тенденцию к росту (рис. 2). В аргиллитах основания лямицкой свиты ее величина составляет ~ 150 г/т, в породах верховской свиты около 225 г/т, в глинах зимнегорского уровня – 235 г/т. Аргиллиты и глины ергинской и падунской свит характеризуются медианными величинами ΣREE , соответственно, 250 и 261 г/т. Внутри ергинской свиты существенные вариации ΣREE не наблюдаются, в разрезе верховской свиты колебания суммы REE есть, но какая-либо определенная тенденция к изменению данного параметра по разрезу свиты отсутствует. В разрезе же падунской свиты наблюдается отчетливо выраженный рост суммарного содержания REE в глинах от ~ 250 г/т в нижней части до 350 г/т у кровли.

Отношение LREE/HREE. В глинах основания лямицкой свиты рассматриваемое отношение имеет значение ~ 7,4. В глинистых породах верховской свиты медианное значение данного отношения возрастает до 9,7. Глины зим-

негорского уровня характеризуются еще большей величиной LREE/HREE (10,6). Почти столь же большая величина рассматриваемого параметра характерна и для глинистых пород ергинского уровня (10,1). Глины падуновской свиты имеют величину LREE/HREE ~ 8,6, а у самой кровли этого литостратиграфического подразделения данный параметр даже меньше его значения в глинах основания лямичковской свиты. Таким образом, максимальные величины отношения LREE/HREE наблюдаются в тонкозернистой алюмосиликокластике средней части разреза верхнего венда, у основания его и кровли рассматриваемый параметр имеет заметно меньшие значения. Показательно, что в разрезах верховской, ергинской и падуновской свит величина LREE/HREE испытывает существенные вариации.

Отношение La_N/Yb_N . Особенности изменения данного параметра снизу вверх по разрезу верхнего венда Беломорско-Кулойского плато достаточно схожи с характером изменения величины отношения LREE/HREE. Глины нижней части лямичковской свиты характеризуются минимальным значением данного параметра (~ 7,18). В глинах и аргиллитах верховской, зимнегорской и ергинской свит наблюдается тенденция к росту названного отношения, тогда как в глинистых породах падуновского уровня величина

La_N/Yb_N имеет промежуточное, между типичными для аргиллитов верховской и лямичковской свит, значение. Так же как и величина LREE/HREE, рассматриваемое отношение характеризуется существенными вариациями внутри каждого литостратиграфического подразделения, за исключением лямичковской и зимнегорской свит.

Отношение Gd_N/Yb_N . В целом, по разрезу верхнего венда величина отношения Gd_N/Yb_N не выходит за рамки 1,0-2,0, что указывает на отсутствие какого-либо существенного деплетирования тяжелых REE. Только в двух пробах аргиллитов из верхних частей ергинской (pm-8) и падуновской (pm-1) свит отношение Gd_N/Yb_N достигает значений 2.53-2.54, и это позволяет предполагать, что в составе указанных проб присутствует некоторая доля архейского компонента.

Отношение Eu/Eu^ .* Этот геохимический параметр демонстрирует во всем разрезе верхнего венда удивительную стабильность. Его медианное значение (с учетом всех 26 проб) составляет 0.62, что всего лишь на несколько сотых меньше, чем значение Eu/Eu^* в среднем австралийском постархейском глинистом сланце (PAAS) [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. Только в средней части верховской свиты, в интервале 549-565 м, в трех пробах аргиллитов (pm-22, pm-21 и pm-20) величина европиевой аномалии составляет 0,52-0,54.

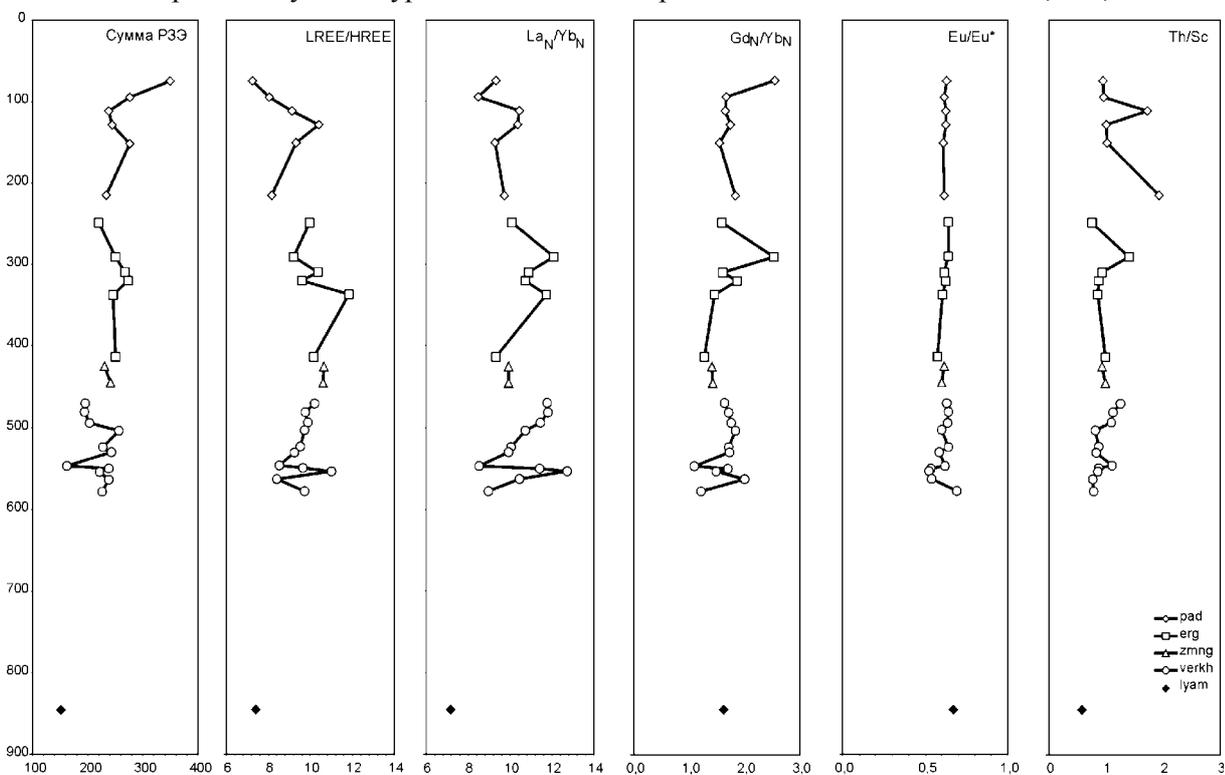


Рис. 2. Вариации значений ΣREE , LREE/HREE, La_N/Yb_N , Gd_N/Yb_N , Eu/Eu^* и Th/Sc в аргиллитах и глинах верхневендской последовательности Беломорско-Кулойского плато.

Свиты: lyam – лямичковская; verkh – верховская; zmng – зимнегорская; erg – ергинская; pad – падуновская.

Отношение Th/Sc. Аргиллиты основания лямницкой свиты характеризуются весьма низкой величиной данного отношения (0,57), сопоставимой со значениями Th/Sc в породах ряда диорит-гранодиорит. В глинистых породах верховской свиты медианное значение данного параметра составляет 0,86, а в целом по разрезу свиты мы видим рост отношения Th/Sc от 0.78 до 1.25. Медианные значения Th/Sc в глинистых породах трех верхних подразделений разреза достаточно сходны и составляют, соответственно, 0,96, 0,89 и 1,01. Основываясь на приведенных значениях и общем характере изменения величины отношения Th/Sc снизу вверх по разрезу, мы можем предполагать, что в начале поздневендского этапа осадконакопления (лямицкое время) в областях сноса доминировали породы среднего состава, а позднее (верховско-падунское время) состав размывавшегося субстрата стал более кислым. Примечательно, что в глинах и аргиллитах кровли верховской и зимнегорской свит, а также зимнегорской и подошвы ергинской свит значения отношения Th/Sc весьма близки, что указывает на отсутствие сколько-нибудь существенных изменений в составе областей питания в течение всего лямницко(?)–ергинского этапа. Иная ситуация наблюдается на границе ергинской и падунской свит. Глины в кровле ергинской свиты (проба рт-7, отметка 248 м) характеризуются величиной отношения Th/Sc ~ 0,7, тогда как глины из основания падунской свиты (проба рт-6, отметка 215 м) имеют значение рассматриваемого параметра 1,93 (!!).

На диаграмме La–Th точки составов аргиллитов и глин всех литостратиграфических единиц разреза слагают весьма компактное поле (рис. 3); исключение составляет точка глин лямницкой свиты, имеющая заметно меньшие содержания как Th, так и La, нежели все остальные пробы. Высокие значения отношения La/Th (2,5–3,5) указывают на размыв в областях сноса преимущественно пород кислого состава.

Спектры REE аргиллитов и глин всех литостратиграфических уровней верхнего венда достаточно однообразны и имеют форму, характерную для подавляющего большинства постархейских глинистых пород (рис. 4).

Все сказанное выше позволяет сделать следующие выводы. Наличие в аргиллитах и глинах верхнего венда Беломорско-Кулойского плато ясно выраженной европиевой аномалии и типичная для большинства пост-архейских глинистых

пород форма спектров REE позволяют предполагать, что породы архейского возраста на палеоводосборах представлены практически не были. Характерные для глин и аргиллитов верхнего венда величины отношений LREE/HREE и La_N/Yb_N свидетельствуют, что на всем протяжении позднего венда в областях размыва преобладали породы среднего состава (диориты, гранодиориты и т.п.). Максимально высокие значения указанных отношений наблюдаются на ергинском уровне; в глинистых породах основания и кровли верхневендской последовательности они заметно меньше. Существенного изменения состава областей размыва на границах верховской и зимнегорской свит, а также зимнегорской и ергинской свит, по всей видимости, не происходило. Только для границы ергинской и

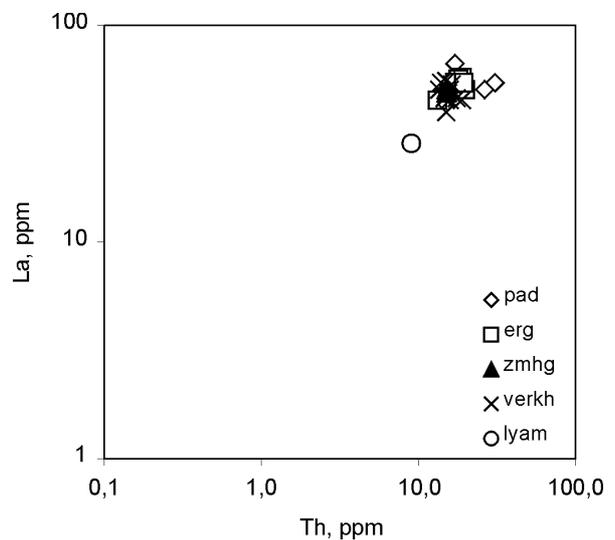


Рис. 3. Положение фигуративных точек состава аргиллитов и глин верхнего венда на диаграмме La–Th. Свиты: lyam – лямницкая; verkh – верховская; zmhg – зимнегорская; erg – ергинская; pad – падунская.

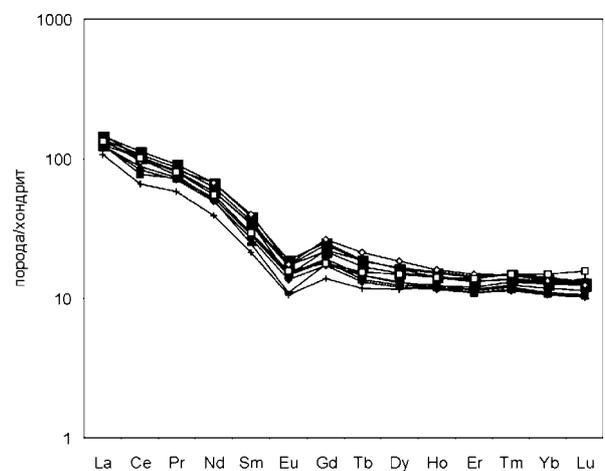


Рис. 4. Нормализованные по хондриту спектры распределения REE в глинах верховской свиты.

**Некоторые геохимические параметры аргиллитов и глин верхнего венда
Беломорско-Кулойского плато, вскрытых скв. 770 Чидвия**

Глубина, м	Свита	№№ проб	LREE/HREE	ΣREE	La _N /Yb _N	Gd _N /Yb _N	Eu/Eu*	Th/Sc
74.3	Падунская	pm-1	7.23	350.31	9.30	2.54	0.63	0.94
94.5		pm-2	8.04	276.65	8.50	1.66	0.61	0.95
111.5		pm-3	9.11	239.21	10.46	1.66	0.62	1.72
128.5		pm-4	10.38	245.30	10.38	1.75	0.62	1.00
151		pm-5	9.33	276.97	9.30	1.54	0.61	1.02
215		pm-6	8.17	234.30	9.73	1.83	0.61	1.93
248	Ергинская	pm-7	9.98	219.90	10.07	1.59	0.64	0.74
290		pm-8	9.19	250.20	12.08	2.53	0.64	1.40
309.5		pm-9	10.37	267.27	10.90	1.61	0.61	0.92
320		pm-10	9.62	273.06	10.72	1.87	0.62	0.86
337		pm-11	11.84	246.11	11.72	1.46	0.61	0.85
413.5		pm-12	10.15	251.49	9.33	1.27	0.57	0.98
470	Верховская	pm-13	10.21	195.59	11.78	1.64	0.63	1.25
481		pm-14	9.78	194.02	11.80	1.71	0.64	1.12
493.8		pm-15	9.87	203.86	11.43	1.75	0.63	1.09
503.2		pm-16	9.74	256.36	10.71	1.84	0.60	0.80
523.5		pm-17	9.52	227.30	10.03	1.71	0.64	0.86
530		pm-18	9.23	243.09	9.90	1.73	0.58	0.83
546.5		pm-19	8.51	161.75	8.51	1.09	0.62	1.10
549.8		pm-20	9.64	238.79	11.41	1.69	0.53	0.87
553.7		pm-21	10.99	221.69	12.70	1.48	0.52	0.86
563.2		pm-22	8.41	239.24	10.43	1.99	0.54	0.77

падунской свит, исходя из резкого повышения величины отношения Th/Sc в глинах основания падунской свиты по сравнению с глинами кровли ергинской свиты, можно предполагать появление в области сноса пород более кислого состава (граниты?). Величина отношения Eu/Eu* в разрезе скв. 770 не обнаруживает каких-либо ясно выраженных экскурсов в область значений 0,40-0,45 (см. рис. 2), характерных, по данным приведенным в работе [Фелицын, Сочава, 1996], для отложений основания котлинского горизонта, и наблюдающихся в аргиллитах в интервале глубин 400-420 м в разрезе соседней скв. 1000 Тучкино. Возможно, пачка аргиллитов с аномально высокими значениями европиевой аномалии просто отсутствует в отобранном керне скв. 770, однако подтвердить это на имеющемся материале нам не удалось.

Исходя из геохимических особенностей глинистых пород верхневендской последова-

тельности Беломорско-Кулойского плато, очевидно, что в источниках сноса доминировали породы среднего состава при подчиненной роли гранитоидов. Наличие в аргиллитах и глинах всего разреза хорошо выраженной европиевой аномалии указывает на размыв пород, претерпевших заметную дифференциацию в континентальной коре, и минимальную роль среди них субстратов архейского возраста (однако на то, что подобные субстраты на палеоводосборах все же присутствовали указывают, на наш взгляд, высокие (~ 2,5) величины отношения Gd_N/Yb_N в нескольких пробах глин падунского и ергинского уровней). По приведенным данным нельзя, однако, сделать вывод о присутствии в области размыва осадочных или осадочно-метаморфических образований.

В то же время, по ряду лито- и геохимических критериев можно попытаться оценить степень рециклирования слагающей верхневен-

дскую последовательность тонкозернистой алюмосиликокластики.

Известно, что для рециклированных тонкозернистых терригенных образований характерна величина отношения $K_2O/Al_2O_3 < 0,3$ (в «first cycle» породах этот параметр $> 0,4$)² [Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995]. Формирующиеся при длительном переотложении тонкой алюмосиликокластики (или, что то же самое, многократном переотложении осадочных пород) осадочные последовательности обнаруживают некоторое увеличение с течением времени содержаний слабо растворимых компонентов, таких как, например, Th и Y. Параллельно, вверх по разрезу происходит снижение содержаний относительно хорошо растворимых элементов (U, Sr и др.). Процессы рециклинга ведут также к постепенному увеличению отношения LREE/HREE, однако, в отличие от той ситуации, когда подобный тренд определяется сменой в источниках сноса основных пород кислыми, при многократном переотложении не происходит фракционирования Eu и, следовательно, величина Eu/Eu* остается неизменной и, наоборот, в последовательностях сложенных породами «first cycle» типа, значения отношений LREE/HREE и Eu/Eu* симбатно растут вверх по разрезу.

Как же ведут себя указанные лито- и геохимические отношения в разрезе верхнего венда Беломорско-Кулойского плато? Медиана отношения K_2O/Al_2O_3 в аригиллитах и глинах верховской свиты составляет 0,25, глины пробы ГРД-1, отобранной у подошвы лямичкой свиты, имеют величину данного отношения также 0,25. В глинах ергинской свиты рассматриваемый параметр увеличивается, и при существенном разбросе значений можно видеть, что медианное значение отношения K_2O/Al_2O_3 составляет $0,295 \pm 0,02$. Медиана K_2O/Al_2O_3 в глинах падунской свиты составляет 0,28. Из сказанного можно сделать вывод, что глин «first cycle» типа в рассматриваемом нами разрезе, по всей видимости, нет. Во всей верхневендской последовательности мы видим рост значений K_2O/Al_2O_3 в интервале от лямичкой до ергинской свит; в глинах падунской свиты этот параметр несколько снижается. Содержания Th и Y в глинистых породах снизу вверх по разрезу несколько рас-

тут, содержание U практически не меняется, а содержания Sr если и увеличиваются, то весьма незначительно. Величина LREE/HREE в интервале от подошвы лямичкой свиты до кровли ергинской свиты растет, а европиевая аномалия практически не меняется (~0,62, см. рис. 2). На таком же уровне она остается и в глинах падунской свиты, несмотря на заметное снижение в них величины отношения LREE/HREE.

Таким образом, основываясь на критериях, предложенных в работах [Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995, и др.], можно констатировать, что снизу вверх по разрезу верхнего венда Беломорско-Кулойского плато (по крайней мере, в интервале от подошвы лямичкой до кровли ергинской свит) роль рециклированного тонкозернистого терригенного материала растет, а это, в свою очередь, не противоречит предположению, что в качестве одного из источников кластики в рассматриваемое нами время выступали также осадочно-метаморфические породы Варангер-Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса, как это следует из анализа индикаторов палеотечений.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект 03-05-64121) и Программы 25 Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» (госконтракт № 10104-71/П-25/155-353/090605-013).

Список литературы

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., Подковыров В.Н., Маслов А.В. Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Юго-Восточное Беломорье) // Литология и полезн. ископаемые. 2005. № 3. С. 267-280.

Петровская А.Н., Воловиковская А.И., Володченко А.И. К вопросу об условиях осадконакопления в верхнедокембрийское и кембрийское время на юге центральной части Московской синеклизы // Литология и палеогеография палеозойских отложений Русской платформы. М.: Наука, 1972. С. 47-57.

Пиррус Э.А. Глинистые минералы в вендских и кембрийских породах и их значение для палеогеографии и стратиграфии // Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 1980. С. 97-104.

Станковский А.Ф., Веричев Е.М., Добейко И.П. Венд Юго-Восточного Беломорья // Вендская систе-

² Для гранитоидного субстрата или субстрата, сходного по своему валовому химическому составу с составом верхней континентальной коры.

ма. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука, 1985. С. 67-76.

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

Фелицын С.Б., Сочава А.В. Eu/Eu* в аргиллитах верхнего венда Русской платформы // Докл. АН. 1996. Т. 351. № 4. С. 521-524.

Якобсон К.Э., Кузнецова М.Ю., Станковский А.Ф. и др. Рифей Зимнего Берега Белого моря // Сов. геология. 1991. № 11. С. 44-48.

Cox R., Lowe D. A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover // *J. Sed. Res.* 1995. V. A65. P. 1-12.

Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59. P. 2919-2940.

Grazhdankin D. Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland // *Gee, D.G. & Pease, V. L. (eds). The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica.* 2004. Geological Society, London, Memoirs. V. 30. P. 37-46.

Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: cratonic evolution during the early Proterozoic // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1990. V. 54. P. 343-354.