

УДК 551.35

СИСТЕМАТИКА Th, Cr, Hf, Co И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БЕЛОГО МОРЯ И БАСЕЙНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА

© 2012 г. Член-корреспондент РАН А. В. Маслов, В. П. Шевченко, Ю. Л. Ронкин,
О. П. Лепихина, А. Н. Новигатский, А. С. Филиппов, Н. В. Шевченко

Поступило 21.10.2011 г.

Особенности формирования современных донных осадков Белого моря и впадающих в него рек (Северная Двина, Онега, Кемь и др.) в последнее время привлекают все большее внимание исследователей. Этому в существенной мере способствовала постановка специальных полидисциплинарных исследований в рамках проекта “Система Белого моря” [1, 2]. В результате проведенных нами в 2009–2011 гг. исследований установлено, что систематика Th, Cr, Hf, Co и редкоземельных элементов (РЗЭ) современных донных отложений Белого моря и бассейна Сев. Двины отвечает модели смещения кластики из двух геохимически контрастных областей питания: северо-западной, сложенной преимущественно кристаллическими породами архея и раннего протерозоя, а также юго-восточной, в строении которой принимают участие осадочные образования верхнего венда, кембрия, карбона, перми и мезозоя. Наиболее отчетливо это проявилось в изменении значений модельного Nd-возраста и $\epsilon_{Nd}(0)$.

Состав и геохимические особенности отложений Белого моря и впадающих в него крупных и мелких рек контролируются несколькими питающими провинциями. Наиболее крупными из них являются, с одной стороны, Кольско-Карельский геоблок (западная и северо-западная части водосбора), а с другой — значительная часть северо-западной периферии Мезенской синеклизы Русской плиты (юго-восточное Беломорье и области, расположенные к югу и юго-востоку от него), рис. 1 [3, 4]. Примерно 85% первой из указанных провинций представлены тоналит-трондьемитовыми гнейсами, гранитами, мигматитами и гранулитами, толеитовыми и феррометабазальтами,

метадацитами, металипаритами, конгломератами, а также габбро-анортозитами и щелочными гранитами архейского возраста. Породы нижнего протерозоя (разнообразные терригенные и карбонатные отложения, метапироксениты, гранофиры и габброиды) слагают ~10% площади Кольско-Карельского геоблока, а доля рифейских осадочных и магматических комплексов составляет не более 5% [5, 6]. Водосбор, дренируемый реками Сев. Двина и Онега, а также их притоками, сложен туфогенно-терригенными образованиями позднего венда (валдайская серия), палеозоя (карбон и пермь) и мезозоя [4].

Верхневендские отложения выходят на поверхность в береговых обрывах Белого моря, вдоль рек, прорезающих глубокие долины на Беломорско-Кулойском плато, а также по побережью Двинского и Онежского заливов. Их РЗЭ-систематика в той или иной мере сопоставима с систематикой магматических пород преимущественно кислого состава: $(La/Yb)_{PAAS}$ варьируется от 0.6 до 1.4, $(Gd/Yb)_{PAAS}$ изменяется в пределах 0.8–1.9, Eu-аномалия при нормировании на средний постархейский глинистый сланец (PAAS [7]) положительная — 1.2 ± 0.4 . Модельный Nd-возраст (T_{DM}) аргиллитов лямичской свиты составляет ~1.53 млрд лет. Величина T_{DM} в аргиллитах вышележащих верховской и ергинской свит равна 1.73–1.71 млрд лет. Глинистые породы зимнегорской свиты имеют модельный Nd-возраст 1.57–1.53 млрд лет, а для аргиллитов падунской свиты кембрия он равен 1.66–1.64 млрд лет [8]. Сведения о РЗЭ-систематике и значениях T_{DM} для более молодых отложений юго-восточной области питания отсутствуют, поэтому все дальнейшие сравнения основаны на приведенных выше данных.

Всего для исследования микроэлементной систематики современных донных осадков Белого моря и его юго-восточной питающей провинции нами использована коллекция из 70 проб, отобранных в разные годы в экспедициях в бассейне Сев. Двины и ее притоков и рейсах НИС “Про-

*Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург*

*Институт океанологии им. П.П. Шишова
Российской Академии наук, Москва*

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

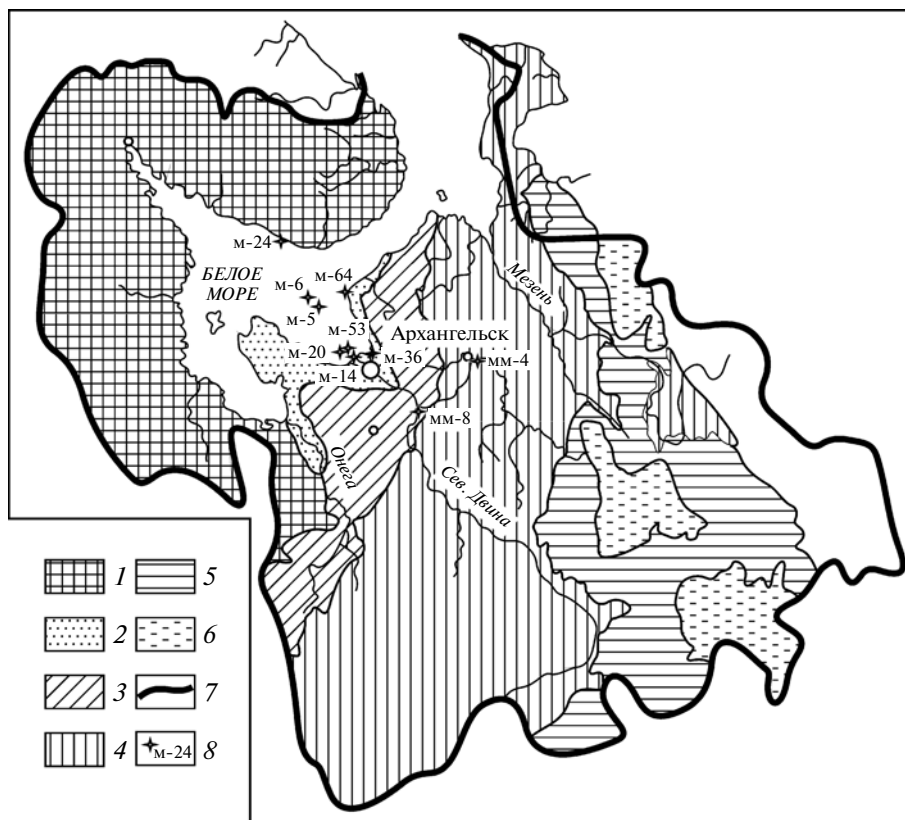


Рис. 1. Схема геологического строения водосбора Белого моря (граница водосбора показана по данным [3]) и положение проб, для которых исследована Sm–Nd-систематика. 1 – архей и протерозой, 2 – венд, 3 – карбон, 4 – пермь, 5 – триас, 6 – юра, 7 – граница водосбора, 8 – проба и ее номер.

фессор Штокман” и проанализированных в ИГГ УрО РАН методом ICP-MS с помощью высокоразрешающего секторного масс-спектрометра ELEMENT2 [9]. Для десяти из них, представляющих нижнее течение рек Сев. Двина и Пинега, маргинальный фильтр Сев. Двины, литоральные отложения Терского берега Кольского полуострова и глубоководную часть Двинской губы (залива) на границе с бассейном Белого моря (далее Бассейн), определены также значения T_{DM} . Подготовка образцов соответствовала методике, описанной в [10]. По гранулометрическому составу подавляющая часть исследованных нами проб относится к алевропелитам.

РЗЭ-систематика. Среднее суммарное содержание РЗЭ в исследованных нами пробах варьируется от 26–37 г/т (отрезки Сев. Двины выше и ниже устья р. Пинега и нижнее течение Пинеги) до 66–96 г/т (дельта Сев. Двины и Двинская губа) и ~130 г/т (граница Двинской губы с Бассейном и Терский берег). Это несколько ниже, чем приведено для речной взвеси Сев. Двины в работе [11], но общий характер распределения РЗЭ в этих пробах донных осадков и в речной взвеси Сев. Двины принципиально не различается.

Нормированные на PAAS спектры распределения РЗЭ в донных отложениях Пинеги, пробы которых отобраны от пос. Пинега до ее устья, характеризуются довольно пологим, слабовыпуклым в области средних лантаноидов, обилием (рис. 2а) и следующими основными особенностями: $(La/Yb)_{PAAS} = 0.56 \pm 0.09$, $(La/Sm)_{PAAS} = 0.75 \pm 0.06$. Деплетирование тяжелых РЗЭ в них отсутствует $(Gd/Yb)_{PAAS} = 0.95 \pm 0.13$, Eu-аномалия (по PAAS) варьируется от 1.08 до 1.52. Эти спектры в определенной мере сходны со спектрами РЗЭ в глинистых сланцах и аргиллитах чехлов древних платформ (Русская, Северо-Американская, Китайская и др. [12]), но имеют более выраженную положительную Eu-аномалию.

Донные отложения Сев. Двины выше и ниже устья Пинеги отличаются как более низкими, так и более высокими значениями $(La/Yb)_{PAAS}$, $(Eu/Eu^*)_{PAAS}$ и других параметров (рис. 2б, табл. 1), что указывает, по всей видимости, на отсутствие в ряде случаев эффективного перемешивания осадков, обусловленное относительно невысокой скоростью течения и/или влиянием притоков. В то же время в дельте Сев. Двины РЗЭ-систематика донных осадков статистически почти не отличается от систематики донных отложений Пи-

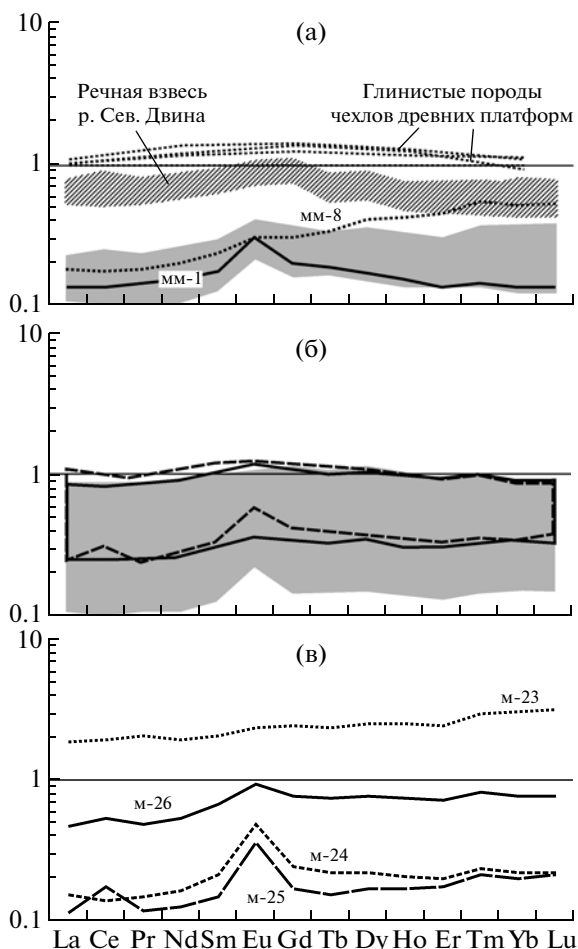


Рис. 2. Нормированные на PAAS спектры распределения РЗЭ в современных донных осадках Белого моря и восточной части его водосбора. а: серый фон — пробы, отобранные в нижнем течении Пинеги от пос. Пинега до ее впадения в Сев. Двину; проба мм-8 — Сев. Двина в 20 км выше впадения в нее Пинеги; проба мм-1 — р. Сев. Двина в 2 км ниже впадения в нее Пинеги. б: серый фон — пробы, отобранные в дельте Сев. Двины; сплошная линия — пробы, отобранные в Двинском заливе; штриховая линия — пробы, отобранные у границы Двинского залива с Бассейном. в: пробы, отобранные у Терского берега Кольского полуострова в районе устья Варзуги.

неги (рис. 2б), хотя суммарное содержание РЗЭ в последнем случае немного ниже. Это же, за исключением несколько меньшей средней величины $(Eu/Eu^*)_{PAAS}$, характерно и для современных донных осадков Двинского залива.

Общая особенность донных отложений всех описанных выше районов — достаточно хорошо выраженная положительная Eu-аномалия относительно PAAS, величина которой составляет от 1.1–1.2 до 1.3, а в пробе, отобранной на Сев. Двине в 2 км ниже устья Пинеги, достигает ~1.6. Почти такое же высокое среднее значение $(Eu/Eu^*)_{PAAS}$ (~1.68) присуще пробам, отобран-

ным в литоральной зоне у Терского берега Белого моря. Максимальная величина этого параметра составляет здесь ~2.3 (рис. 2в, проба м-25).

На диаграмме $Gd_N/Yb_N—Eu/Eu^*$ точки составов большинства исследованных нами проб локализованы¹ в области постархейских кратонных осадков (рис. 3а). В то же время часть точек, характеризующихся весьма небольшими отрицательными значениями Eu/Eu^* или отсутствием Eu-аномалии, тяготеет к среднему составу архейского аргиллита [7]. К их числу принадлежит ряд проб, отобранных в нижнем течении Пинеги, на Сев. Двине в 2 км ниже устья Пинеги и в северодвинской дельте. Две из четырех проб, отобранных в литоральной зоне Терского берега (пробы м-24 и м-25), характеризуются существенно более высокими, чем в среднем архейском аргиллите, величинами положительной Eu-аномалии.

Систематика Th, Cr, Hf и Co. На диаграмме $Co/Hf—Ce/Cr$ практически ни одна из исследованных нами проб не попадает в поле значений, характерных для продуктов размыта примитивных архейских субстратов [13] (рис. 3б), хотя ряд проб обладает величинами Ce/Cr , сопоставимыми с этими значениями.

На диаграмме $Eu/Eu^*—Cr/Th$ (рис. 3в) практически все точки имеющейся в нашем распоряжении выборки характеризуются значениями Cr/Th , промежуточными между теми, что присущи среднему архейскому аргиллиту и PAAS. Анализ полей, образуемых на данной диаграмме пробами, отобранными в нижнем течении Пинеги, в дельте Сев. Двины, в Двинском заливе и на границе последнего с Бассейном (рис. 3г), показывает значительное перекрытие, демонстрируя тем самым их существенное сходство, обусловленное ролью Сев. Двины как основного поставщика терригенного материала для Белого моря. Поле составов современных литоральных осадков Терского берега имеет благодаря высоким значениям Eu/Eu^* в двух пробах принципиально иную ориентировку, нежели поля рассмотренных выше образований. Однако можно предполагать, что и в данном случае в указанном районе присутствуют как архейские, так и постархейские компоненты, что не противоречит общей геологической ситуации.

Положение точек составов исследуемых нами образований на диаграмме $Hf—La/Th$ (рис. 3д), как и РЗЭ-систематика, указывает на ведущую роль в формировании их геохимического облика продуктов размыта зрелой континентальной коры.

Sm—Nd-систематика. Величины T_{DM} в пробах мм-4 и мм-8, отобранных соответственно

¹ Здесь нормирование содержания РЗЭ в пробах выполнено на основе их содержания в хондрите [7].

Таблица 1. Содержание (г/т) элементов-примесей и значения ряда их индикаторных отношений в современных донных осадках Белого моря, бассейна нижнего течения Сев. Двины и ее притоков

Элементы и отношения	I	II	III	IV	V	VI	VII
Cr	194.89	$\frac{21.22 \pm 33.83}{8.51-99.59}$	16.94	$\frac{36.01 \pm 50.79}{6.17-251.30}$	$\frac{78.94 \pm 60.57}{37.77-303.39}$	$\frac{78.30 \pm 33.56}{45.88-120.95}$	$\frac{28.89 \pm 96.46}{11.73-223.41}$
Co	4.38	$\frac{2.74 \pm 0.46}{2.33-3.75}$	2.81	$\frac{3.99 \pm 5.39}{1.34-18.94}$	$\frac{6.96 \pm 4.38}{3.73-17.48}$	$\frac{12.17 \pm 8.47}{5.43-25.61}$	$\frac{3.67 \pm 11.45}{1.54-26.53}$
La	6.77	$\frac{5.69 \pm 1.77}{4.01-8.67}$	5.13	$\frac{8.80 \pm 8.68}{4.02-33.12}$	$\frac{16.21 \pm 7.66}{9.63-32.18}$	$\frac{20.73 \pm 13.43}{9.50-42.22}$	$\frac{8.42 \pm 31.58}{4.33-71.29}$
Ce	13.81	$\frac{13.03 \pm 3.50}{8.31-19.67}$	10.71	$\frac{18.00 \pm 17.40}{8.03-69.19}$	$\frac{33.76 \pm 16.05}{20.11-65.74}$	$\frac{47.79 \pm 23.66}{25.12-78.67}$	$\frac{20.88 \pm 68.18}{11.07-155.99}$
Hf	2.54	$\frac{1.42 \pm 1.07}{0.92-3.53}$	0.78	$\frac{1.96 \pm 1.79}{0.77-8.69}$	$\frac{3.97 \pm 1.28}{1.82-7.03}$	$\frac{3.20 \pm 0.54}{2.68-3.81}$	$\frac{3.85 \pm 10.46}{2.23-24.25}$
Th	1.16	$\frac{1.47 \pm 0.58}{0.78-2.29}$	3.00	$\frac{1.87 \pm 2.68}{0.71-9.19}$	$\frac{3.86 \pm 2.54}{1.95-9.85}$	$\frac{5.61 \pm 4.48}{2.29-12.73}$	$\frac{2.92 \pm 4.60}{1.61-11.01}$
Cr/Th	168.01	$\frac{12.24 \pm 14.66}{3.91-43.51}$	5.65	$\frac{18.20 \pm 24.80}{6.91-112.63}$	$\frac{17.34 \pm 17.81}{10.21-79.45}$	$\frac{11.48 \pm 4.46}{8.81-20.05}$	$\frac{10.48 \pm 7.03}{6.18-20.30}$
La/Th	5.83	$\frac{3.54 \pm 1.19}{2.23-5.38}$	1.71	$\frac{4.11 \pm 0.93}{2.66-6.03}$	$\frac{3.89 \pm 0.70}{2.85-5.10}$	$\frac{3.43 \pm 0.43}{3.04-4.15}$	$\frac{3.10 \pm 1.92}{2.31-6.48}$
Ce/Cr	0.07	$\frac{0.35 \pm 0.48}{0.14-1.59}$	0.63	$\frac{0.33 \pm 0.24}{0.09-1.30}$	$\frac{0.36 \pm 0.16}{0.09-0.65}$	$\frac{0.63 \pm 0.06}{0.55-0.70}$	$\frac{0.65 \pm 0.19}{0.47-0.94}$
Co/Hf	1.73	$\frac{1.58 \pm 0.75}{0.87-2.79}$	3.61	$\frac{1.71 \pm 1.15}{0.47-5.04}$	$\frac{1.59 \pm 1.08}{0.54-4.34}$	$\frac{4.01 \pm 2.16}{1.97-7.76}$	$\frac{1.08 \pm 0.55}{0.69-2.01}$
Eu/Eu*	0.75	$\frac{0.87 \pm 0.11}{0.71-1.00}$	1.07	$\frac{0.84 \pm 0.13}{0.67-1.06}$	$\frac{0.76 \pm 0.10}{0.66-1.05}$	$\frac{0.76 \pm 0.13}{0.67-0.99}$	$\frac{0.99 \pm 0.40}{0.68-1.51}$
Gd _N /Yb _N	0.81	$\frac{1.34 \pm 0.28}{1.13-1.90}$	2.01	$\frac{1.39 \pm 0.22}{1.02-1.79}$	$\frac{1.42 \pm 0.27}{1.08-1.87}$	$\frac{1.84 \pm 0.31}{1.53-2.31}$	$\frac{1.26 \pm 0.20}{1.10-1.53}$
(La/Yb) _{PAAS}	0.33	$\frac{0.56 \pm 0.09}{0.42-0.65}$	1.02	$\frac{0.75 \pm 0.15}{0.4-1.06}$	$\frac{0.77 \pm 0.16}{0.55-1.04}$	$\frac{1.06 \pm 0.42}{0.42-1.76}$	$\frac{0.60 \pm 0.06}{0.53-0.68}$
(La/Sm) _{PAAS}	0.77	$\frac{0.75 \pm 0.06}{0.69-0.84}$	0.77	$\frac{0.84 \pm 0.09}{0.67-1.03}$	$\frac{0.85 \pm 0.09}{0.68-1.01}$	$\frac{0.87 \pm 0.18}{0.18-1.17}$	$\frac{0.77 \pm 0.09}{0.70-0.90}$
(Gd/Yb) _{PAAS}	0.6	$\frac{0.95 \pm 0.13}{0.83-1.14}$	1.48	$\frac{1.04 \pm 0.16}{0.75-1.32}$	$\frac{1.08 \pm 0.20}{0.80-1.37}$	$\frac{1.38 \pm 0.23}{0.23-1.69}$	$\frac{0.94 \pm 0.15}{0.81-0.13}$
(Eu/Eu*) _{PAAS}	1.14	$\frac{1.33 \pm 0.17}{1.08-1.52}$	1.63	$\frac{1.31 \pm 0.19}{1.02-1.61}$	$\frac{1.17 \pm 0.15}{1.01-1.60}$	$\frac{1.18 \pm 0.20}{0.20-1.52}$	$\frac{1.68 \pm 0.62}{1.03-2.31}$
<i>n</i>	1	6	1	34	15	5	4

Примечание. Над чертой — среднее значение и величина стандартного отклонения, под чертой — минимальное и максимальное значения. *n* — число проанализированных проб. Места отбора проб: I — р. Северная Двина в 20 км выше места впадения в нее р. Пинега; II — р. Пинега от пос. Пинега до устья; III — р. Северная Двина в 2 км ниже впадения в нее р. Пинега; IV — дельта р. Северная Двина; V — Двинский залив; VI — граница Двинского залива с Бассейном; VII — Терский берег (Кольский п-ов) в районе устья р. Варзуга.

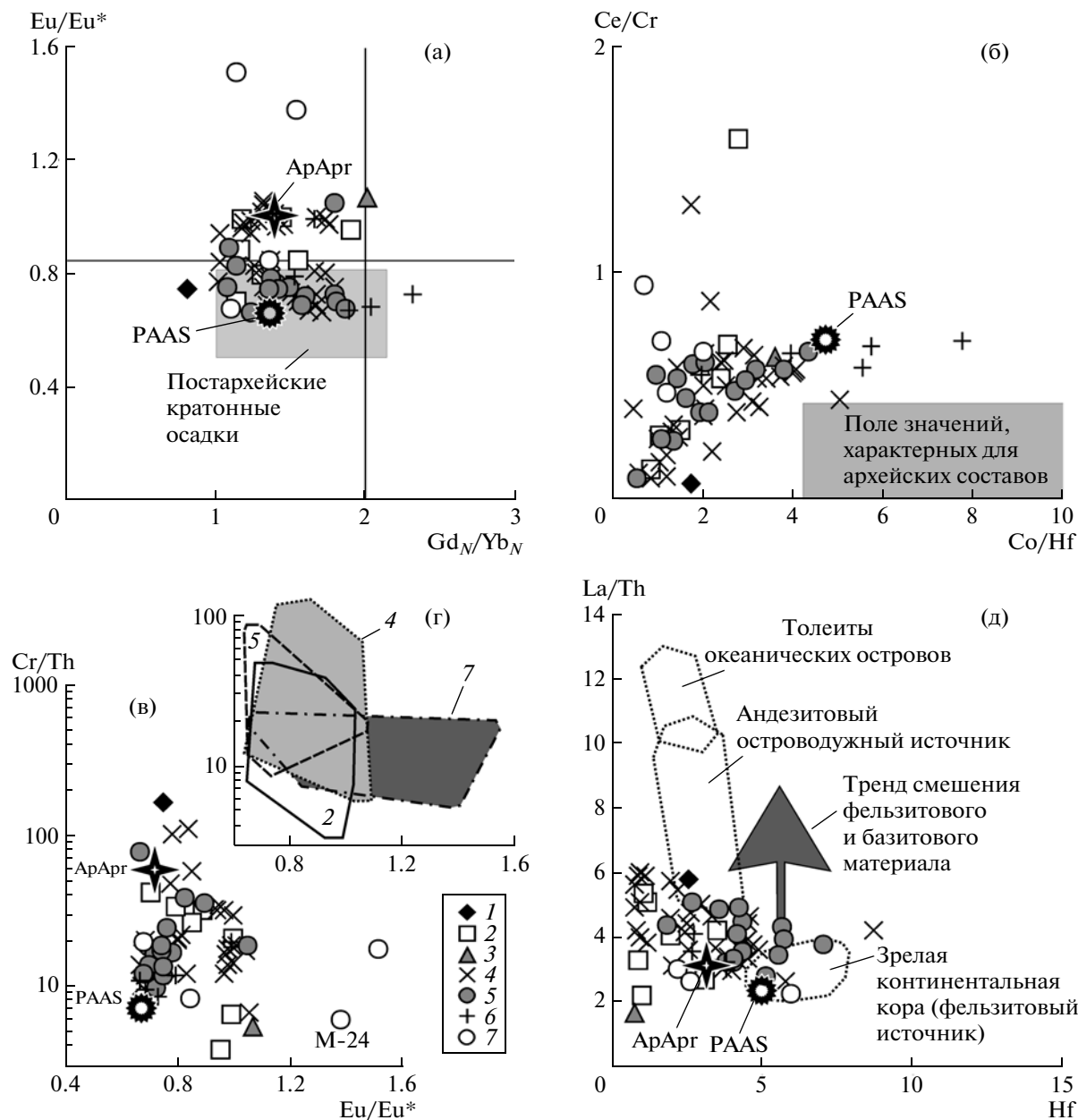


Рис. 3. Распределение фигуративных точек состава современных донных осадков Белого моря и восточной части его водосбора на различных геохимических диаграммах (а–д). 1 – Сев. Двина в 20 км до места впадения в нее Пинеги, 2 – Пинега от пос. Пинега до места впадения в Сев. Двину, 3 – Сев. Двина в 2 км ниже впадения в нее Пинеги, 4 – дельта Сев. Двины, 5 – Двинский залив, 6 – граница Двинского залива с Бассейном, 7 – Терский берег (Кольский п-ов) в районе устья Варзуги. PAAS – средний постархейский австралийский глинистый сланец, ArAr – средний архейский аргиллит, по [7]; поле значений, характерных для архейских составов, по данным [13]; поля составов на диаграмме д – по данным [14, 15].

выше пос. Пинега и в окрестностях пос. Орлецы, варьируются от 1.60 до 1.34 млрд лет (табл. 2), что несколько или заметно меньше, чем в тонкозернистых терригенных породах валдайской серии [8]. Это (особенно в случае пробы мм-8), скорее всего, указывает на размыв в поствендское время в пределах юго-восточной питающей провинции "ювенильных" магматических комплексов. Па-

раметр T_{DM} в осадках маргинального фильтра Сев. Двины составляет от ~1.60 до 1.86 млрд лет.

Донные отложения, отобранные на границе Двинского залива и Бассейна (пробы м-5 и м-6), характеризуются несколько более древним модельным Nd-возрастом ($T_{DM} \sim 2.0$ млрд лет). Наконец, ряду исследованных нами проб литоральных отложений, отобранных у Терского берега

Таблица 2. Модельный Nd-возраст современных донных осадков Белого моря и рек Сев. Двина и Пинега

Проба	Место отбора	Sm, г/г	Nd, г/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	$\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$	T_{DM} , млн лет
мм-8	I, ст. 28 (СД-2004)	1.07	5.46	0.1180 ± 6	0.512198 ± 4	–8.5	1337
мм-4	II, ст. П-1 (СД-2006)	3.77	19.3	0.1185 ± 6	0.512038 ± 3	–11.7	1596
м-53	V, 0-2 ПШ-4925	4.03	20.7	0.1177 ± 6	0.511974 ± 6	–12.9	1682
м-20	V, 0-2 ПШ-4684	3.22	16.2	0.1199 ± 6	0.511890 ± 3	–14.6	1859
м-36	IV, ст. 64, (СД–2005, май)	5.02	25.5	0.1191 ± 6	0.511959 ± 4	–13.2	1731
м-14	IV, ст. 41 (СД–2006, май)	0.86	4.19	0.1238 ± 6	0.511976 ± 4	–12.9	1794
м-24	VII, т. 22 (2008, июль)	1.16	5.82	0.1208 ± 6	0.511325 ± 15	–25.6	2822
м-6	VI, 0-5 ПШ-4698	6.53	33.9	0.1165 ± 6	0.511770 ± 4	–16.9	1981
м-5	VI, 0-3 ПШ-4697	7.01	37.1	0.1143 ± 6	0.511714 ± 4	–18.0	2024

Примечание. Места отбора проб, обозначенные римскими цифрами, см. в табл. 1. Поправка $\pm 2\sigma$ соответствует последним значащим цифрам.

Кольского полуострова, присущи две черты, резко отличающие их как от осадков маргинального фильтра Сев. Двины, так и от отложений Бассейна. Во-первых, они имеют хорошо выраженную положительную Eu-аномалию (например, проба м-24, $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{PAAS}} = 2.1$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.38$); во-вторых, им присуще наибольшее из всех проанализированных нами проб значение модельного Nd-возраста (~ 2.8 млрд лет), близкое к медианному значению T_{DM} для магматических и супракристалльных образований основных структурных элементов Балтийского щита (~ 2.9 млрд лет) [8].

Величина $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$ в донных отложениях Сев. Двины выше устья Пинеги составляет –8.5, в осадках нижнего течения Пинеги, дельты Сев. Двины и Двинского залива она варьируется от –11.7 до 14.6, что хорошо сопоставимо с указываемыми в работе [12] данными для глинистых пород Русской плиты ($\varepsilon_{\text{Nd}_{\text{cp}}} - 13.4$). Литоральные образования у Терского берега характеризуются существенно более низкой величиной $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$ (–25.6), тогда как донные отложения на границе Двинской губы и Бассейна имеют промежуточные, между осадками Терского берега и маргинального фильтра Сев. Двины, значения данного параметра (табл. 2, –16.9 и –18.0), что можно, как и данные о модельном Nd-возрасте, интерпретировать как отражение процессов смешения тонкой алюмосиликокластики, поступающей в Белое море с Кольского полуострова и приносимой Сев. Двиной.

В целом характер распределения фигуративных точек составов современных донных осадков Белого моря и бассейна нижнего течения Сев. Двины на диаграммах $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N - \text{Eu}/\text{Eu}^*$ и $\text{Eu}/\text{Eu}^* - \text{Cr}/\text{Th}$ и присущие им значения ряда других индикаторных отношений элементов-примесей дают основания считать, что систематика Th, Cr, Hf, Co и РЗЭ современных донных осадков Белого моря, а также бассейна нижнего течения Сев. Двины и ее при-

токов отвечает достаточно простой модели смешения кластики из двух геохимически контрастных областей питания: западной и северо-западной, сложенной преимущественно архейскими и раннепротерозойскими кристаллическими комплексами, и восточной и юго-восточной, в строении которой принимают участие почти исключительно фанерозойские осадочные образования. Наиболее чувствительными индикаторами этого являются модельный Nd-возраст исследованных нами тонкозернистых терригенных образований и параметр $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну и В.Б. Коробову за ценные советы, а также Д.В. Ерошенко, В.А. Жамоиде, С.М. Исаченко, Н.К. Федоровой и экипажам НИС “Профессор Штокман”, “Айберг-2” и “Акванавт-2” за помощь в отборе проб.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты 06–05–64223 и 09–05–00279), Совета при Президенте РФ по грантам и финансовой поддержке ведущих научных школ (грант НШ-3714.2010.5) и Президиума РАН (программа фундаментальных исследований № 21, проект “Системные исследования морей Европейской части России”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А. и др. В кн.: Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. М.: Науч. мир, 2010. С. 559–597.
2. Система Белого моря. Т. 1. Природная среда водосбора Белого моря / Под ред. А.П. Лисицына, И.А. Немировской, В.П. Шевченко. М.: Науч. мир, 2010. 480 с.
3. Лисицын А.П. В кн.: Система Белого моря. Т. 1. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Науч. мир, 2010. С. 353–445.

4. *Губайдуллин М.Г.* В кн.: Система Белого моря. Т. 1. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Науч. мир, 2010. С. 40–57.
5. Докембрийская геология СССР / Под ред. Д.В. Рундквиста, Ф.П. Митрофанова. Л.: Наука, 1988. 440 с.
6. Ранний докембрий Балтийского щита / Под ред. В.А. Глебовицкого. СПб.: Наука, 2005. 711 с.
7. *Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 376 с.
8. *Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н. и др.* // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 3. С. 290–312.
9. *Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Голик С.В. и др.* В кн.: Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 423–433.
10. *Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др.* Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 274 с.
11. *Шевченко В.П., Покровский О.С., Филиппов А.С. и др.* // ДАН. 2010. Т. 430. № 5. С. 686–692.
12. *Ронов А.Б., Мигдисов А.А.* // Литология и полез. ископаемые. 1996. № 5. С. 451–475.
13. *Маслов А.В.* // Геохимия. 2007. № 4. С. 370–389.
14. *Gu X.X.* // Geochim. et cosmochim. acta. 1994. V. 58. P. 4615–4631.
15. *Nath B.N., Kunzendorf H., Pluger W.L.* // J. Sed. Res. 2000. V. 70. P. 1081–1094.