

УДК 551.35

РЕДКИЕ И РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2020 г. А. В. Маслов^{а, *}, Н. В. Политова^{б, ***}, Н. В. Козина^{б, **},
В. П. Шевченко^{б, ****}, Т. Н. Алексеева^б

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

^бИнститут океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Нахимовский проспект, 36, Москва, 117997 Россия

*e-mail: amas2004@mail.ru

**e-mail: politova@ocean.ru

***e-mail: kozina_nina@bk.ru

****e-mail: vshevch@ocean.ru

Поступила в редакцию 11.05.2018 г.

После доработки 02.08.2018 г.

Принята к публикации 22.07.2019 г.

В статье представлена краткая литологическая характеристика поверхностных донных осадков Баренцева моря, отобранных в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” на полигонах: 1) “Печорское море”; 2) “Западный склон Канинского мелководья”; 3) “Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)”; 4) “Залив Русская Гавань”; 5) “Медвежинский желоб”; 6) в районе к югу от Шпицбергена; 7) “Кольский меридиан”; 8) “Шпицберген—архипелаг Земля Франца-Иосифа”; 9) “Пролив Кембридж”. Проанализировано распределение Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в поверхностных донных осадках (пелитовых, алевроитово-пелитовых и песчано-алевро-пелитовых илах) в сравнении с фоновыми концентрациями этих элементов и их содержанием в постархейском австралийском глинистом сланце (PAAS). Полученные данные находятся в соответствии с представлениями о том, что распределение тяжелых металлов и ряда других элементов в донных осадках Баренцева моря контролируется преимущественно глобальным геохимическим фоном. Рассмотрена связь концентраций Sc, V, Cr, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Th, U и редкоземельных элементов с содержанием тонкой пелитовой (< 0.001 мм) фракции и органического углерода (C_{org}) в осадках. Установлено, что большинство перечисленных элементов характеризуется умеренной положительной связью с тонкой пелитовой фракцией донных отложений. По коэффициенту корреляции с C_{org} рассматриваемые элементы подразделяются на три группы: с умеренной положительной, слабой положительной и практически не выраженной связью. Особенности распределения в современных донных осадках Баренцева моря суммы редких земель и элементов Sc, Th, Co, Cr, La и Sm – индикаторов состава комплексов пород-источников тонкой алюмосиликокластики позволяют считать, что преобладающая часть этих осадков сложена достаточно зрелым в геохимическом отношении материалом, источниками которого являлись породы Кольского полуострова и, по-видимому, Шпицбергена (?). Донные отложения пролива Кембридж представлены геохимически менее зрелым материалом, поступавшим в бассейн, вероятно, в результате размыва комплексов пород, слагающих архипелаг Земля Франца-Иосифа.

Ключевые слова: Баренцево море, современные донные осадки, редкие и рассеянные элементы.

DOI: 10.31857/S0024497X2001005X

Баренцево море – сравнительно мелководный эпиконтинентальный водоем Северного Ледовитого океана, имеющий хорошие связи с окружающими морями и Атлантическим океаном. Поверхность дна Баренцева моря характеризуется неровным рельефом вследствие сочетания изометричных или вытянутых подводных возвышений и разделяющих их желобов и впадин [Левитан и др., 2007; Nikiforov, Koshel, 2010; Сорохтин

и др., 2016]. Основные типы поверхностных донных осадков Баренцева моря – это пелитовые илы, занимающие более 50% его площади, а также песчаные алевроиты, алевроитовые пески и алевроитовые пелиты, которые все вместе распространены на 30–32% площади дна этого водоема [Кленова, 1960; Павлидис, 1995; Тарасов и др., 2000; Гуревич, 2002; Денисенко, 2013]. Терригенный материал в акваторию Баренцева моря по-

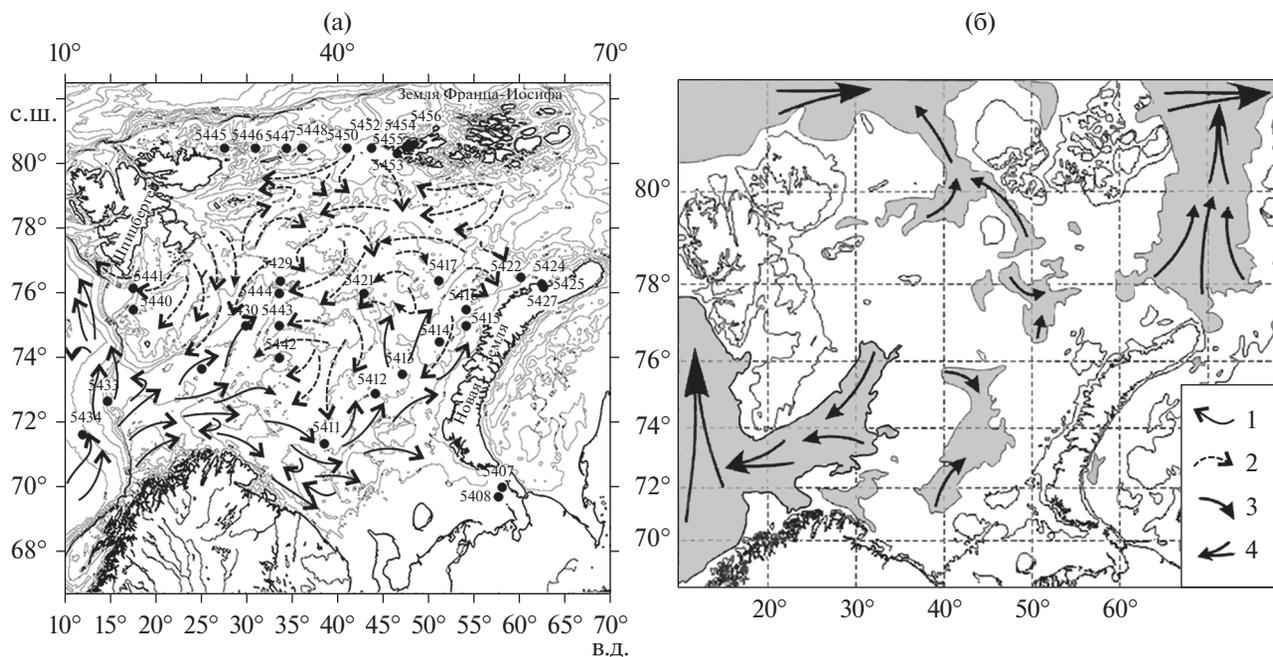


Рис. 1. Расположение станций 67 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» [Политова и др., 2018], схема поверхностных течений в акватории Баренцева моря [Гидрометеорология ..., 1990; Vogt, Knies, 2009 и др.] (а) и основные пути движения придонных потоков обогащенных взвесью рассолов, по [Лисицын, 2001] с небольшими изменениями (б). 1 – течения, входящие в Баренцево море со стороны Атлантического океана; 2 – то же, со стороны Арктического бассейна; 3 – вероятные главные пути движения рассолов («тяжелых жидкостей») по понижениям рельефа дна; 4 – генеральное направление течения вдоль склона и перемещение осадочного вещества контурными течениями. Серым цветом на рис. 1б обозначены области глубин более 300 м.

ступает в результате размыва подводных поднятий¹, береговой солифлюкции и абразии, ледниковой экзарации [Elverhøi et al., 1989; Левитан и др., 2007]. Источниками этого материала также являются: твердый сток рек, льды и выпадения из атмосферы [Шевченко и др., 1997; Айбулатов и др., 1999; Васильев и др., 2013; Митяев, Герасимова, 2018]. По представлениям [Айбулатов и др., 1999, с. 529], «... источники взвешенного материала и районы его депонирования находятся преимущественно в самом ... море. Привходящими являются взвесь Белого и Карского морей и взвесь, поставляемая Нордкапской ветвью Гольфстрима».

В Баренцевом море существует сложная система поверхностных течений [Гидрометеорология ..., 1990; Vogt, Knies, 2009 и др.] (рис. 1а). Наиболее мощное из них – Нордкапское, входящее со сто-

роны Атлантики и разделяющееся восточнее на несколько ветвей. Воды Арктического бассейна направлены к югу от архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и вдоль востока Шпицбергена. На северо-востоке в Баренцево море входит течение Макарова, а через Карские Ворота – течение Литке. Движение «тяжелых» придонных рассолов, обогащенных взвесью и возникающих при отжиме солей во время образования на поверхности моря льдов, имеет несколько иную конфигурацию [Лисицын, 2001] (см. рис. 1б).

Водосбор Баренцева моря гетерогенен. Кольский полуостров сложен в основном гранито-гнейсами архея [Геологическая ..., 2001]. Вдоль северо-восточной его окраины расположена позднепротерозойская складчатая зона, включающая разнообразные метаосадочные образования. Хребт Пай-Хой, север Урала и юг Новоземельской области сложены палеозойскими осадочными, магматическими и метаморфическими комплексами [Геологическое ..., 1984]. В строении восточной части архипелага Земля Франца-Иосифа принимают участие терригенные отложения триаса и юры. Центральные и западные районы ЗФИ сложены базальтами и долеритами мела [Geology ..., 1998; Столбов, 2005], а также кайнозойскими терригенными породами. Архипелаг Новая Земля является продолжением

¹ В соответствии с представлениями [Левитан и др., 2007, с. 188], «... Баренцево море в его центральной части следует оценить как «голодающее» с точки зрения питания твердым осадочным веществом. ... весьма значительная часть площади дна моря не содержит голоценовый осадочный покров, а на поверхность выходят более древние четвертичные образования или коренные породы.... Мощные скопления молодого осадочного материала приурочены к фьордам, Печорской губе и центральной части Печорского моря».

складчатых структур Урала. На севере его распространены мраморы, кристаллические сланцы, амфиболиты нижнего-среднего протерозоя, отложения верхнего протерозоя и кембрия—силура, прорванные гранитоидами. На юге преобладают флишеидные отложения позднего рифея—венда, перекрытые породами палеозоя [Геологическое ..., 1984; Геология ..., 1967]. Острова Ушакова и Визе сложены обломочными породами нижнего мела [Геологическое ..., 1984; Геология ..., 1967]. Коренные выходы их встречаются и на морском дне вокруг названных островов [Левитан и др., 2007 и др.]. Восточная зона Шпицбергена включает гренвильский фундамент, а также породы чехла (верхний протерозой и палеозой). В центральной его части известны метаосадочные и метавулканические породы (верхний рифей и венд), присутствуют карбонатные породы нижнего палеозоя. Западная зона Шпицбергена объединяет каледонские терригенные и карбонатные породы, эвапориты карбона—перми и обломочные породы мезозоя [Геология ..., 1970; Геологическое ..., 1984]. По данным М.А. Левитана с соавторами [1999, 2007], Новая Земля служит основным источником эпидота, Земля Франца-Иосифа — клинопироксенов, а Северо-Карское поднятие — граната и гидроксидов железа. Роговая обманка в современные донные осадки поступает, по-видимому, за счет размыва мезозойских пород Адмиралтейского вала.

К настоящему времени сведений о распределении широкого спектра редких и рассеянных элементов в современных донных отложениях Баренцева моря все еще недостаточно. Об этом свидетельствует цитата из недавней работы [Васильев и др., 2013, с. 94]: “Элементы примеси в осадках определялись спектральным полуколичественным анализом. Ввиду малого количества анализов, о характере распространения микроэлементов можно говорить также лишь в общих чертах”. Цель нашей работы — в какой-то мере восполнить этот пробел.

В статье проанализированы содержание и особенности распределения некоторых редких и рассеянных элементов в пробах поверхностных донных осадков Баренцева моря (в пелитовых, алевритово-пелитовых и песчано-алевро-пелитовых илах, всего 34 пробы), отобранных дночерпателем² в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (сентябрь 2016 г.) [Политова и др., 2018] (см. рис. 1а). Рассмотрена также корреляция concentra-

ций ряда этих элементов с содержанием в осадках тонкой пелитовой (< 0.001 мм) фракции и $C_{орг}$.

Определение содержания редких и рассеянных элементов проведено методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН (аналитики Д.В. Киселева, Н.В. Черденченко и Л.К. Дерюгина) по методике, близкой к приведенной в работе [Маслов и др., 2011]. Перед анализом пробы не подвергались предварительной обработке, за исключением отсеивания фракции размерностью > 1 мм. Гранулометрический комбинированный анализ выполнен в ИО РАН. Содержание $C_{орг}$ определено на экспресс-анализаторе АН-7560 (аналитик Л.В. Демина, ИО РАН) путем регистрации CO_2 при сжигании проб ($T \sim 900^\circ C$) в токе воздуха, очищенного от CO_2 .

Ниже, при обсуждении результатов, полученные данные сгруппированы по ряду полигонов: 1) “Печорское море” (станции 5407, 5408); 2) “Западный склон Канинского мелководья” (ст. 5411); 3) “Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)”; (ст. 5412–5417, 5421); 4) залив “Русская Гавань” (ст. 5422, 5424, 5427); 5) “Медвежинский желоб” (ст. 5429–5431, 5433, 5434); 6) район к югу от Шпицбергена (ст. 5440 и 5441); 7) “Кольский меридиан” (ст. 5442–5444); 8) “Шпицберген—архипелаг Земля Франца-Иосифа” (ст. 5445–5448, 5450, 5452); 9) “Пролив Кембридж” (окрестности архипелага Земля Франца-Иосифа) (ст. 5453–5456).

КРАТКАЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Среди осадков поверхностного слоя Печорского моря, по данным [Левитан и др., 2003б, 2007; Тарасов, 1996; Хасанкаев, 1978; Gurevich, 1995; Levitan et al., 2000], валунно-галечный материал в заметном количестве встречается лишь в Чешской губе. В центральной части моря наибольшим распространением пользуются средне- и тонкозернистые пески, а также алевритовые их разновидности. Тонкие глинистые алевриты и алевритово-пелитовые илы встречаются довольно редко, будучи приуроченными к понижениям рельефа или выходам голоценовых осадков. Минеральный состав легкой фракции осадков однообразен (кварц, калиевые полевые шпаты, средние и кислые плагиоклазы).

Среди тяжелых минералов доминируют черные рудные, гранат, роговая обманка и эпидот; встречаются и иногда играют заметную роль циркон, моноклинные пироксены, сидерит, апатит и сфен. Гранатом обогащены осадки западной части моря, что связано с эрозией гранитно-метаморфических комплексов Балтийского щита. Повышенное содержание амфиболов приурочено к центральной части бассейна. Эпидот тяготе-

² В настоящей работе использованы данные о распределении редких и рассеянных элементов в верхнем слое донных осадков (первые 1–2 см). Отбор материала для аналитических исследований проводился сразу после подъема дночерпателя (наилот при подъеме черпака практически полностью смылся) пластиковыми ложками в zip-пакеты. Фракции разм. > 1 мм из пробы удалялись.

ет к осадкам восточной части моря, что указывает на вклад зеленокаменно-измененных палеозойских комплексов Полярного Урала, Пай-Хоя, Вайгача и Новой Земли. Повышенное содержание клинопироксенов наблюдается к югу от Южного острова Новой Земли, где источником этих минералов являются нижнепалеозойские вулканы основного состава. В соответствии с приведенными данными, в пределах Печорского моря выделяется ряд терригенно-минералогических провинций [Левитан и др., 2007]: Вайгачская (циркон-гранат-эпидот-рудная ассоциация), Южно-Новоземельская (эпидот-рудно-клинопироксен-гранатовая ассоциация), Западно-Печорская (эпидот-гранат-рудная ассоциация), Центрально-Печорская (рудно-гранат-эпидотовая ассоциация) и Восточно-Печорская (роговообманково-гранат-рудно-эпидотовая ассоциация). Набор минералов, доминирующих в легкой и тяжелой фракциях, дает основание предполагать существенно гранитоидный состав питающих провинций, при подчиненном вкладе вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований северного окончания Уральского складчатого пояса.

Глинистые минералы в поверхностном слое донных осадков Печорского моря представлены однообразной ассоциацией каолинита, магнезиально-железистого хлорита и гидрослюды с подчиненным количеством смектита [Левитан и др., 2003б].

Ложе желоба Святой Анны покрыто пелитовыми и алевроитово-пелитовыми илами; на склонах желоба они сменяются мелкоалевритовыми илами и крупными алевроитами [Левитан и др., 2007]. Содержание пелитового материала в осадках достигает здесь 50–70%. В легкой фракции современных донных осадков преобладают кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы и обломки пород. По соотношению кварца и полевых шпатов в мелкопесчаной фракции, выделяется три минеральных ассоциации [Левитан и др., 1999]. Западный склон и почти всю площадь ложа желоба занимает ассоциация, в составе которой присутствуют кварц и обломки горных пород, а полевых шпатов почти нет (отношение кварц/полевые шпаты составляет 5.0 или выше). Среди тяжелых минералов преобладают эпидот, моноклинные пироксены, черные рудные, обыкновенная роговая обманка и гранат. Максимальная величина отношения эпидот/клинопироксены характерна для осадков, окаймляющих северное окончание Северного острова Новой Земли [Левитан и др., 1999].

По данным о литологическом и гранулометрическом составе осадков поверхностного слоя желоба Святой Анны и по минеральному составу мелкопесчано-крупноалевритовой и субколлоидной фракций, в желобе выделяются различные

фациальные области: центральная зона желоба, восточный и западный склоны, а также участки, примыкающие к ЗФИ, Новой Земле и Северо-Карскому поднятию [Левитан и др., 2007]. Главным поставщиком кварца и обломков горных пород для мелкопесчаной фракции является, по представлениям М.А. Левитана и его коллег, ЗФИ; полевых шпатов – Северо-Карское поднятие. Присутствие обломков пород на западе и юго-западе желоба рассматривается как следствие айсбергового разноса.

Источниками хлорита и иллита служат Северо-Карское поднятие и Новая Земля. Каолинит является продуктом эрозии обнажающихся на ЗФИ песчаников триаса с каолинитовым цементом. Присутствие смектита в осадках желоба, расположенного между зонами распространения существенно каолинитовой ассоциации на западе и хлорит-иллитовой ассоциации на востоке, может быть обусловлено, по представлениям [Левитан и др., 2007 и др.], снижением концентраций каолинита, хлорита и иллита по мере удаления от источников их поступления и ослаблением разбавляющего эффекта. Считается, что источниками смектита могли быть: 1) кора выветривания траппов ЗФИ; 2) верхнеюрские битуминозные сланцы, выходящие на поверхность морского дна в районе Адмиралтейского вала; 3) атлантические воды, которые также обогащены смектитом.

По материалам И.О. Мурдмаа с соавторами [Murdmaa et al., 2006], голоценовые осадки центральной и восточной частей Баренцева моря содержат до 22–47% иллита. Количество хлорита и каолинита в ассоциации глинистых минералов варьирует от 29 до 65%, а смектит играет подчиненную роль. В соответствии с распределением фораминифер, рассматриваемые отложения могут быть отнесены к трем типам фаций [Murdmaa et al., 2006]: 1) фация с многочисленными бентосными, а в ряде случаев и планктонными, видами (восточная ветвь желоба Франц-Виктория, желоб Персея и ряд других районов); осадки находятся под влиянием вод Атлантики; 2) фация, представленная чередованием интервалов с многочисленными фораминиферами и практически лишенными раковин (последнее, возможно, является следствием опреснения); осадки распространены к югу от ЗФИ и в Западно-Новоземельском желобе; 3) фация, почти лишенная фораминифер (возможно, вследствие низких темпов осадконакопления, воздействия на осадки придонных течений или экологического стресса); типична для глубоководных равнин и поднятий. В целом накопление тонкозернистых голоценовых осадков контролируется следующими факторами: поступление материала с тальми водами ледников, привнос дрейфующими льдами, речными артериями и др. Определенный вклад в формирова-

ние донных осадков вносят и биогенные процессы [Murdmaa et al., 2006].

По данным, полученным в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”, на полигоне “Печорское море” современные донные образования представлены в верхней части (0–1 см) окисленными, преимущественно песчаными отложениями с примесью материала алевритовой или пелитовой размерности, оливково-коричневой (2.5Y/4/3)³ или темной серо-коричневой (2.5Y/4/2) окраски. Нами изучены осадки двух станций, где доля пелитового материала составляла от 14 до 34%.

На полигоне “Западный склон Канинского мелководья” дночерпателем отобраны пелитовые илы с примесью раковинного материала (< 2%), большим количеством полихет и их чехлов. Верхний слой (0–2 см) окисленный, оливково-коричневый (2.5Y/4/4), обводненный. Содержание пелитовой фракции составляет 67%, из них 41% приходится на тонкий пелит.

На Центрально-Баренцевоморском (Штокманском) полигоне присутствуют пелитовые и песчано-алеврито-пелитовые илы, на двух станциях осадки смешанные, а на одной станции встречены гравийно-галечные отложения с примесью мелкозернистого материала. Пелитовые илы содержат примесь гравийного и галечного материала. В осадках присутствуют Fe–Mn корки, трубки и стяжения, наблюдается большое количество полихет и их чехлов, в том числе ожелезненных. Кроме того встречены обломки раковин (< 3%). Верхний слой осадка (0–1 см) окисленный, характеризуется оливково-коричневой (2.5Y/4/3), оливково-серой (5Y/4/2) или насыщенной темной серо-коричневой (5Y/3/2) окраской, обводненный. Песчано-алеврито-пелитовые илы имеют насыщенный темный серо-коричневый (5Y/3/2) оттенок окраски и содержат значительную примесь гравийного, галечного и валунного материала, преимущественно окатанного и хорошо окатанного. В этих илах присутствует также раковинный детрит (< 3%), небольшое количество полихет и их чехлов. Содержание пелитовой фракции в пробах данного полигона варьирует от 31 до 90%.

В заливе Русская Гавань (Северный остров архипелага Новая Земля) и вблизи него были опробованы пелитовые и алевритово-пелитовые илы (в самом заливе и на выходе из него), а также осадки смешанного типа (в отдалении от залива). В первых верхний слой (0–1 см) представлен пелитовым илом серого (5Y/5/1) цвета, однородным, мягким и очень пластичным. В нем присутствуют единичные раковины и наблюдаются гид-

ротроилитовые примазки. Смешанные осадки темные зеленовато-серые (Gley1/4/10Y) или темно-серые (5Y/4/1) и содержат хорошо окатанный гравийный, галечный и валунный материал. В осадках присутствует также примесь раковинного материала, полихеты и их чехлы. Содержание пелитовой фракции в пробах изменяется от 46 до 94%.

На полигоне “Медвежинский желоб” в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” отобраны пробы песчано-алеврито-пелитовых, алевритово-пелитовых и собственно пелитовых илов (по траверсу желоба), а также заиленных песков с алевритовой примесью (на перегибе континентального склона). Верхний слой (0–1 см) в первых двух типах илов окисленный, оливково-серый (5Y/4/2), иногда (песчано-алеврито-пелитовые осадки) с примесью гравийного, галечного и валунного материала. Этот слой имеет жидкую консистенцию, в нем присутствуют полихеты и их чехлы, некоторые из них покрыты ожелезненными корками. В пелитовых илах верхний слой (0–1 см) окислен, темный серо-коричневый (2.5Y/4/2); консистенция его жидкая. В слое наблюдается небольшое количество полихет и их чехлов, ожелезненных стяжений, трубок и корок. Содержание пелитовой фракции в пробах данного полигона варьирует от 34 до 91%.

На широтном разрезе “Шпицберген–Земля Франца-Иосифа” присутствуют илистые и заиленные пески, гравийно-песчано-пелитовые, песчано-алеврито-пелитовые и собственно пелитовые илы. В настоящей работе исследованы только осадки, распространенные к югу от Шпицбергена, с пелитовым и смешанным гранулометрическим составом. Осадки смешанного состава оливково-серые (5Y/4/2). В них присутствуют полихеты и их чехлы, целые створки раковин (0.5–1.5 см) и раковинный детрит. Верхний слой (0–1 см) пелитовых илов окислен, темный серо-коричневый (2.5Y/4/2), имеет жидкую консистенцию. В осадках этого слоя присутствует небольшое количество полихет и их чехлов. Содержание пелитовой фракции в пробах изменяется от 15 до 93%.

На полигоне “Кольский меридиан” отобраны пробы алевритово-пелитовых илов и смешанных осадков. Верхний слой (0–2 см) первых окислен, имеет оливково-серую (5Y/4/2) окраску и жидкую консистенцию; в слое наблюдается большое количество полихет и их чехлов. Смешанные осадки также оливково-серые (5Y/4/2), содержат окатанные и умеренно окатанные гравийно-галечные обломки и незначительную примесь (<1%) раковинного детрита. В этих осадках наблюдается большое количество полихет и их чехлов, многие из них ожелезнены. Присутствуют здесь также Fe–Mn корки и трубки. Современные донные от-

³ Здесь и далее указаны оттенки цвета в соответствии с колориметрической системой А. Манселла.

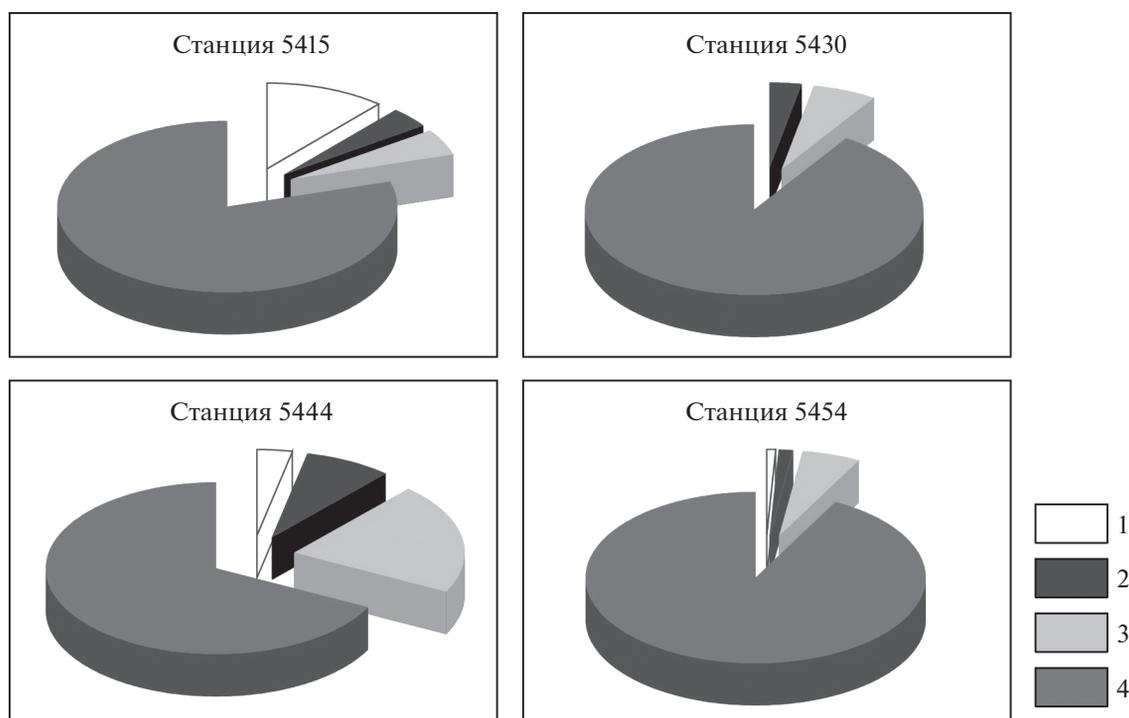


Рис. 2. Распределение гранулометрических фракций в поверхностных донных осадках полигонов “Штокманский” (ст. 5415), “Медвежинский желоб” (ст. 5430), “Кольский меридиан” (ст. 5444) и “Пролив Кембридж” (ст. 5454). 1 – гравий; 2 – песок; 3 – алеврит; 4 – пелит.

ложения полигона “Кольский меридиан” содержит от 26 до 68% пелитовой фракции.

На широтном разрезе “Шпицберген–Земля Франца-Иосифа” осадки разнообразны и представлены как песчано-алевро-пелитовыми и пелитовыми илами, так и осадками смешанного типа, а у северной оконечности Шпицбергена осадки сложены гравийно-галечным материалом. В песчано-алевро-пелитовых осадках нами также были отмечены: примесь неокатанного гравийно-галечно-валунного материала, небольшое количество обломков раковин (< 3%), встречаются Fe–Mn корки и трубки. Верхний (0–1...2 см) слой этих осадков окисленный, темный серо-коричневый (2.5Y/4/2 или 10YR/3/2). Верхний слой (0–2 см) пелитовых илов также окислен, имеет насыщенную темную серо-коричневую (10YR/3/2) или темную серо-коричневую (10YR/4/2) окраску и жидкую консистенцию. В осадках наблюдается небольшое количество полихет и их чехлов, а также редкие раковины. Содержание пелитовой фракции в пробах полигона варьирует от 5 до 97%.

В проливе Кембридж верхний слой (0–1 см) осадков представлен окисленным пелитовым илом насыщенной темной серо-коричневой (10YR/3/2 или 10YR/4/2) окраски, жидкой консистенции. В пробах присутствует переменное количество полихет и их ожелезненных чехлов. Осадки хорошо сортированы. Содержание пели-

товой фракции в современных донных отложениях пролива Кембридж изменяется от 81 до 93%.

Распределение различных гранулометрических фракций в осадках ряда полигонов показано на рис. 2. Содержание тонкой пелитовой фракции в исследованных пробах донных осадков Баренцева моря варьирует, как было показано выше, от 2.8 до ~60% (среднее – 34.6%) (табл. 1). Среднее содержание $C_{орг}$ составляет 1.12% (минимальное – 0.13%, максимальное – 2.62%) (табл. 2).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

В настоящее время существуют данные о распределении в современных донных осадках Баренцева моря только для элементов Cu, Ni, Zn, Pb, Co, Cr и Hg [Новиков, Жилин, 2016]. Они основаны на определениях содержания перечисленных металлов в пробах, отобранных в период с 1998 по 2015 гг. на значительном числе станций. При этом в качестве регионального фона М.А. Новиковым и А.Ю. Жилиным использовалась шкала Норвежского государственного агентства по контролю загрязнения окружающей среды для прибрежной зоны Норвежского моря [Bakke et al., 2007], однако было отмечено, что приведенные

Таблица 1. Результаты гранулометрического комбинированного анализа проб современных донных осадков, отобранных в 67 рейсе НИС "Академик Мстислав Келдыш", %

Станция	Вес, г	Влажность, %	Фракция, мм															
			>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001		
5405-2	21.75	17.22				0.18				0.09	0.32	5.33	87.22	4.46	0.09	0.38	0.77	1.16
5406-2	19.72	16.80				0.03				0.03	0.20	2.79	84.38	9.53	0.51	0.42	0.84	1.27
5407	21.57	15.90				0.28				0.28	0.32	4.45	69.87	6.95	3.43	2.45	4.93	7.32
5408	16.72	30.59				0.17				0.17	0.42	3.11	18.96	33.67	9.51	3.14	7.73	23.29
5409	22.18	17.36				0.09				0.09	0.36	3.88	87.33	6.85	0.18	0.22	0.45	0.64
5411	10.98	57.55				0.27				0.27	0.46	2.19	8.11	11.02	7.10	9.73	15.75	41.45
5412	12.80	42.28				0.39				0.39	0.63	3.83	27.03	17.81	2.58	8.74	15.21	23.39
5413	12.59	35.61				0.37				0.37	0.49	1.23	5.17	3.82	1.85	10.14	21.39	55.54
5414	16.08	23.59				0.75				0.75	0.68	3.86	23.20	26.31	12.38	5.96	8.98	16.45
5415	11.17	57.25				0.50				0.50	0.63	0.90	2.51	1.97	2.86	8.96	22.64	48.25
5416	17.09	35.66				1.79				1.79	0.63	0.23	2.93	4.74	6.44	1.32	3.89	6.01
5417	7.88	58.65				0.53				0.53	0.12	0.23	2.93	4.74	6.44	1.32	3.89	6.01
5418	10.56	56.08				0.66				0.66	0.25	0.13	1.02	1.27	6.98	12.40	24.18	53.14
5421	13.65	48.12				1.17				1.17	0.37	1.04	3.41	7.48	8.43	12.76	21.41	43.01
5422	16.95	32.19				0.18				0.18	0.18	0.41	2.77	11.15	3.13	11.50	23.51	49.74
5423-2	11.39	49.20				0.7				0.7	0.18	0.26	0.79	2.99	6.41	9.39	16.15	50.41
5424	16.82	35.22				0.99				0.99	0.06	0.06	0.02	0.18	5.70	22.77	25.39	45.82
5425	13.56	32.03				0.08				0.08	0.07	0.02	0.02	0.15	3.54	13.86	28.54	53.80
5427	8.21	31.05				2.64				2.64	1.04	2.03	10.05	7.03	3.73	8.26	14.78	23.04
5429	12.38	51.72				0.16				0.16	0.07	0.73	17.37	13.97	1.94	8.63	14.01	42.89
5430	8.92	67.36				4.3				4.3	0.11	0.34	2.58	2.57	3.48	17.45	20.81	52.66
5431	8.58	52.03				1.93				1.93	0.12	0.06	1.17	3.15	4.78	12.17	20.19	58.36
5433	17.63	27.62				1.47				1.47	1.25	3.97	38.57	8.17	2.21	6.13	9.05	19.19
5434	10.49	53.56				1.36				1.36	0.57	1.72	4.29	1.72	6.58	11.86	27.46	45.32
5435	14.66	30.73				1.82				1.82	10.71	0.15	24.35	4.84	2.59	7.18	11.18	21.96
5436	15.93	27.42				0.47				0.47	2.07	10.11	50.61	1.57	4.14	5.31	6.58	12.08
5437	15.01	34.65				0.48				0.48	0.99	5.73	28.51	8.33	3.86	10.06	13.47	27.11
5438	18.86	27.62				0.48				0.48	0.73	5.14	53.67	3.55	3.61	4.05	10.57	16.03
5439	17.17	27.06				0.17				0.17	0.35	4.02	75.71	3.67	2.50	1.31	4.72	7.14
5440	16.86	38.75				0.42				0.42	0.24	1.60	6.35	5.34	2.79	2.01	4.03	8.63
5441	11.64	56.25				0.26				0.26	0.17	0.26	0.96	2.66	2.49	14.25	29.19	49.44
5442	11.20	54.00				0.07				0.07	0.09	0.27	9.11	9.38	6.52	10.63	13.84	50.16
5443	20.49	25.38				2.29				2.29	4.20	8.93	27.43	11.76	4.05	3.61	4.69	17.67
5444	7.69	53.42				0.26				0.26	0.26	1.43	6.63	7.54	13.39	11.12	21.52	34.86
5445	15.12	40.49				0.33				0.33	0.26	0.46	2.78	8.99	5.89	0.97	1.22	2.84
5446	11.35	42.48				0.11				0.11	1.50	4.76	9.16	10.57	10.22	7.14	9.60	44.83
5447	12.5	38.88				6.48				6.48	3.13	8.08	14.32	7.12	5.84	6.48	8.72	16.07
5448	7.88	68.26				3.12				3.12	0.09	0.10	0.38	0.51	1.65	19.29	28.68	49.3
5450	11.99	50.18				0.25				0.25	0.25	0.27	7.76	11.51	12.58	7.42	13.09	47.12
5452	8.81	62.56				0.34				0.34	0.07	0.11	0.79	1.70	3.97	14.35	28.46	50.21
5453	9.37	60.86				0.32				0.32	0.07	0.21	1.5	5.55	9.93	12.6	24.87	43.78
5454	7.33	69.64				0.68				0.68	0.55	0.28	0.34	2.05	3.68	11.05	24.56	56.54
5455	8.56	67.88				0.12				0.12	0.06	0.11	0.82	1.05	4.32	14.6	19.16	59.53
5456	11.48	58.08				0.17				0.17	0.09	0.16	0.08	1.83	10.37	13.85	20.47	52.63

Таблица 2. Содержание $C_{орг}$ в поверхностных донных осадках Баренцева моря

Полигон	Станция	$C_{орг}, \%$	Полигон	Станция	$C_{орг}, \%$
“Печорское море”	5407	0.205	Норвегия–Шпицберген	5436	0.257
	5408	0.287		5437	0.226
“Западный склон Канинского мелководья”	5411	2.617		5438	0.575
	5412	1.517		5439	0.547
“Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)”	5413	2.050		5440	1.101
	5414	0.652		5441	1.842
	5415	2.207		5442	1.547
	5416	1.122		5443	0.400
	5417	2.012		5444	1.777
	5421	2.599		5445	0.879
“Русская Гавань”	5422	1.035	5446	0.845	
	5423	1.005	5447	0.748	
	5424	0.312	5448	1.179	
	5427	0.753	5450	0.125	
“Медвежинский желоб”	5429	1.267	5452	1.328	
	5430	1.899	5453	1.317	
	5431	1.408	5454	1.355	
	5433	0.210	5455	1.377	
Широтный разрез “Шпицберген–Земля Франца-Иосифа”	5434	0.717	“Пролив Кембридж”	5456	1.497
	5435	0.480			

значения содержаний Ni и Cr для Баренцева моря нуждаются в корректировке.

Установлено, что относительно высокие количества Cr и Ni в донных отложениях достаточно равномерно распределены по всей акватории Баренцева моря [Новиков, Жилин, 2016]. Повышенное содержание тяжелых металлов в современных донных осадках характерно для склонов Медвежинской банки, районов Медвежинского и Центрального желобов, Рыбачей и Кильдинской банок, прибрежных районов юго-западной части моря, Мурманской банки и Западно-Новоземельского желоба. Высокие содержания Cu, Ni, Zn и Pb наблюдаются в донных осадках прибрежной полосы к западу от Кольского залива. Средние содержания Cu, Ni, Zn и Pb здесь соответственно в 1.78, 1.15, 1.21 и 1.73 раза выше, чем в донных осадках остальной акватории Баренцева моря. По представлениям авторов работы [Новиков, Жилин, 2016], это указывает на техногенное загрязнение осадков прибрежной полосы за счет материкового стока с северо-западной части Кольского п-ова.

Анализ величин Cu/Ni в пробах поверхностных донных осадков, атмосферных выбросах металлургических комбинатов Кольского п-ва, покровных образованиях нагорных плато этого же региона, атмосферных выпадениях и в пробах воды Баренцева моря позволил прийти к выводу о том, что донные осадки Баренцева моря обогащены Ni “... относительно состава терригенного материала”. Напротив, по содержанию Co они обеднены “...относительно терригенного материала”. Основной вывод авторов работы [Новиков, Жилин, 2016, с. 84] следующий “... современный уровень содержания меди, никеля и кобальта в ДО⁴ на основной акватории Баренцева моря не связан с загрязнением в результате деятельности промышленных предприятий, расположенных на Кольском п-ове”. Повышенное содержание Co и Pb в донных осадках, отобранных вдоль “Кольского меридиана” (33°30' в.д.) является результатом поступления названных тяжелых металлов с водами Нордкапского течения. В целом распределение тяжелых металлов в современных донных отложениях Баренцева моря контролируется

⁴ ДО – донные отложения.

глобальным геохимическим фоном, на который наложена региональная компонента. Фон формируется в основном за счет приноса растворенного и взвешенного литогенного материала Нордкапским течением [Новиков, Жилин, 2016].

Сравнение содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в современных донных осадках различных полигонов с фоновыми концентрациями

В целях получения сопоставимых выводов мы, так же как и авторы публикации [Новиков, Жилин, 2016], приняли за фоновые концентрации перечисленных элементов те, которые приведены в работе [Vakke et al., 2007], хотя и вынуждены признать, что этот выбор не идеален. Средние содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в современных донных осадках различных полигонов и их соотношение с фоновыми концентрациями приведены в табл. 3. Из рассмотрения этих данных следует, что в Печорском море уровень содержания всех перечисленных металлов существенно ниже фонового. В осадках западного склона Канинского мелководья концентрации Cu, Zn, Cd и Pb соответствуют 0.44–0.67 фонового значения. Содержание Ni здесь более чем в 2 раза превышает фоновое, а содержание Cr является примерно сопоставимым с фоновым уровнем. На полигоне “Штокманский” содержания Cr и Ni несколько выше фона, тогда как концентрации остальных элементов заметно ниже. Примерно такая же ситуация характерна для донных осадков полигона “Русская Гавань”. В поверхностных донных осадках полигона “Медвежинский желоб” некоторое превышение фона характерно только для концентрации Ni.

Донные отложения района, расположенного к югу от Шпицбергена, содержат все перечисленные элементы в концентрациях близких к фоновым или более низким. На полигоне “Кольский меридиан” средние содержания в донных осадках никеля и хрома соответствуют, по нашим данным, 1.03 ± 0.52 и 0.98 ± 0.50 фонового уровня, тогда как средние содержания остальных рассматриваемых элементов несколько ниже фоновых концентраций. Современные донные осадки широтного разреза “Шпицберген–ЗФИ” характеризуются несколько более высоким, в среднем, содержанием никеля по сравнению с фоновым уровнем. Среднее содержание хрома в них сопоставимо с содержанием этого элемента в фоновых осадках ($\sim 73 \pm 15$ и 70 г/т), а средние содержания Cu, Zn, Cd и Pb – ниже пороговых значений, разделяющих фоновые и аномальные концентрации. Несколько иная ситуация характерна для проб современных донных осадков, отобранных в проливе Кембридж. Здесь существенно повышены относительно фона средние содержания Cu и Ni (соответственно в ~ 2.2 и ~ 1.9 раза). Для Cr эта

величина составляет $\sim 88 \pm 6$ г/т, тогда как фоновое значение – 70 г/т [Vakke et al., 2007]. Средние содержания остальных элементов здесь, так же как и на других полигонах, ниже фона.

Сравнение содержаний редких и рассеянных элементов в современных донных осадках различных полигонов и PAAS

При сравнении с постархейским австралийским глинистым сланцем PAAS [Тейлор, Мак-Леннан, 1988] мы используем следующие градации величин содержания микроэлементов в поверхностных донных осадках Баренцева моря: 1) менее $0.75 \times PAAS$; 2) $0.75–0.9 \times PAAS$; 3) $0.9–1.1 \times PAAS$; 4) $1.1–1.5 \times PAAS$; 5) более $1.5 \times PAAS$. В соответствии с этими градациями, в пробах, отобранных на полигоне “Печорское море”, только среднее содержание Sr соответствует градации более $0.75 \times PAAS$, тогда как концентрации остальных элементов-примесей ниже (рис. 3а). В осадках западного склона Канинского мелководья только содержание Mo является сопоставимым с PAAS. Средние содержания V и Ni составляют соответственно 1.22 и $1.19 \times PAAS$; концентрации Zn, Sr и Pb соответствуют градации $0.75–0.9 \times PAAS$, остальных элементов – менее $0.75 \times PAAS$. В современных донных осадках полигона “Штокманский” средние содержания элементов Zn, Sr, Eu, Gd и соответствуют $0.75–0.9 \times PAAS$, молибдена и ванадия – попадает в пределы $1.1–1.5 \times PAAS$, остальных редких и рассеянных элементов – менее $0.75 \times PAAS$ (см. рис. 3б).

Для донных отложений полигона “Русская Гавань” выявлен более широкий спектр градаций содержания элементов-примесей. Так, средние содержания Ni, Ga и Eu соответствуют градации $0.75–0.9 \times PAAS$, элементов V, Zn и Sr – $1.1–1.5 \times PAAS$. Среднее содержание Mo достигает $1.59 \times PAAS$, а остальных элементов – составляет менее $0.75 \times PAAS$ (см. рис. 3в). В поверхностных донных осадках полигона “Медвежинский желоб” средние содержания V, Eu и Gd соответствуют градации $0.75–0.9 \times PAAS$; Mo и Pb – $1.1–1.5 \times PAAS$, а Sr – $1.1–1.5 \times PAAS$ (см. рис. 3г).

В пробах, отобранных к югу от Шпицбергена, содержание элементов V, Gd и Pb попадает в интервал $0.75–0.9 \times PAAS$, тогда как среднее содержание Sr несколько выше ($1.34 \times PAAS$). Средние содержания остальных элементов-примесей менее $0.75 \times PAAS$ (рис. 4а).

В донных осадках полигона “Кольский меридиан” установлены следующие средние содержания редких и рассеянных элементов: V и Pb – соответствуют градации $0.75–0.9 \times PAAS$; остальных элементов – менее $0.75 \times PAAS$ (см. рис. 4б). Донные отложения широтного разреза “Шпицберген–ЗФИ” характеризуются более заметными

Таблица 3. Среднее содержание (г/г) ряда тяжелых металлов в современных донных осадках различных районов Баренцева моря и среднее содержание, нормированное на региональный фоновый уровень содержания этих металлов, по [Vakke et al., 2007]

Компоненты (в скобках указаны фоновые содержания, г/г)	Полигон									
	“Печорское море”		“Штокманский”		“Русская Гавань”		“Медвежинский желоб”			
	среднее содержание*	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон
Cr (70)	34.48	0.49	81.20 ± 26.64	1.16 ± 0.38	80.98 ± 2.68	1.16 ± 0.04	64.30 ± 19.76	0.92 ± 0.28		
Ni (30)	9.69	0.32	40.32 ± 10.98	1.34 ± 0.37	41.66 ± 11.24	1.39 ± 0.37	33.44 ± 10.22	1.11 ± 0.34		
Cu (35)	7.62	0.22	24.50 ± 7.29	0.70 ± 0.21	27.28 ± 5.48	0.78 ± 0.16	21.22 ± 5.63	0.61 ± 0.16		
Zn (150)	20.79	0.14	73.07 ± 18.37	0.49 ± 0.12	82.12 ± 10.25	0.55 ± 0.07	57.98 ± 15.15	0.39 ± 0.10		
Cd (0.25)	0.06	0.26	0.14 ± 0.03	0.56 ± 0.11	0.18 ± 0.04	0.73 ± 0.15	0.12 ± 0.03	0.48 ± 0.14		
Pb (30)	7.36	0.25	16.35 ± 3.50	0.54 ± 0.12	12.24 ± 1.24	0.41 ± 0.04	18.67 ± 4.89	0.62 ± 0.16		
Компоненты (в скобках указаны фоновые содержания, г/г)	Полигон									
	Район к югу от Шпицбергена		“Кольский меридиан”		Широтный разрез “Шпицберген-ЗФИ”		“Пролив Кембридж”			
	среднее содержание*	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон	среднее содержание	нормировано на фон
Cr (70)	58.80	0.84	68.73 ± 35.11	0.98 ± 0.50	72.89 ± 14.53	1.04 ± 0.21	87.81 ± 5.61	1.25 ± 0.08		
Ni (30)	29.00	0.97	30.96 ± 15.68	1.03 ± 0.52	39.89 ± 14.45	1.33 ± 0.48	56.66 ± 5.73	1.89 ± 0.19		
Cu (35)	17.40	0.50	19.38 ± 11.44	0.55 ± 0.33	22.69 ± 7.68	0.65 ± 0.22	77.50 ± 12.72	2.21 ± 0.36		
Zn (150)	54.82	0.37	57.06 ± 26.05	0.38 ± 0.17	74.47 ± 17.12	0.50 ± 0.11	95.77 ± 6.85	0.64 ± 0.05		
Cd (0.25)	0.16	0.64	0.20 ± 0.14	0.81 ± 0.56	0.12 ± 0.05	0.49 ± 0.21	0.02 ± 0.01	0.08 ± 0.03		
Pb (30)	17.55	0.59	14.97 ± 4.36	0.50 ± 0.15	19.57 ± 3.13	0.65 ± 0.10	9.79 ± 0.73	0.33 ± 0.02		

Примечание. * – среднее по 2 пробам.

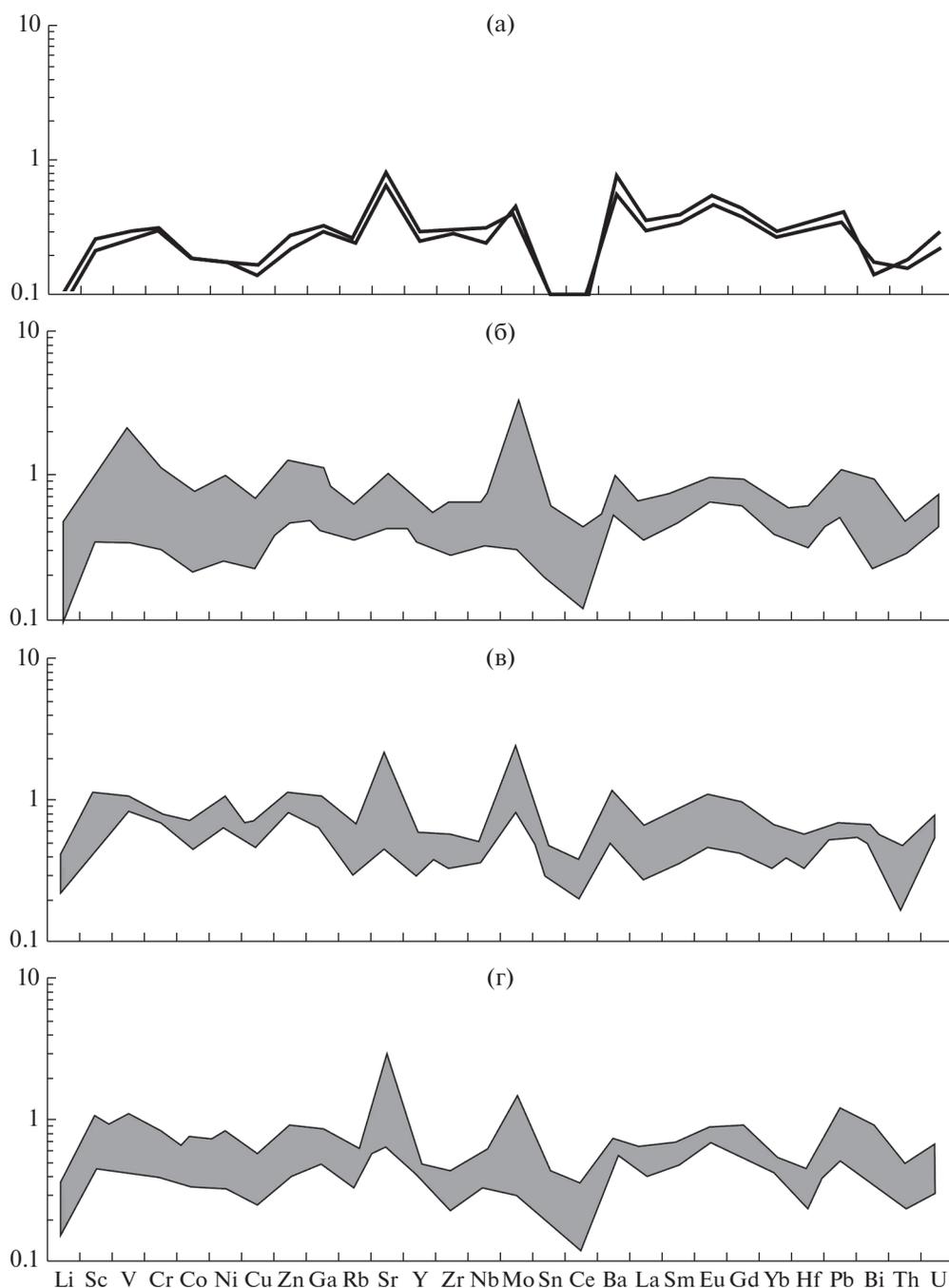


Рис. 3. Распределение нормированных к PAAS содержаний редких и рассеянных элементов в донных отложениях полигонов “Печорское море” (а), “Штокманский” (б), “Русская Гавань” (в) и “Медвежинский желоб” (г).

колебаниями среднего содержания микроэлементов. Большинство элементов Sc, Co, Zn, Ga, Sr, Eu, Gd и U – соответствуют градации $0.75–0.9 \times \text{PAAS}$, несколько более высокие содержания характерны для Pb и Bi – $1.1–1.5 \times \text{PAAS}$ (см. рис. 4в). Среднее содержание V составляет $1.35 \times \text{PAAS}$ (градация 4), а Mo – достигает $7.79 \times \text{PAAS}$, при этом минимальное содержание молибдена – $0.93 \times \text{PAAS}$, а максимальное – $30.74 \times \text{PAAS}$. Ес-

ли рассматривать последнее значение как аномальное и исключить его из расчета, то величина среднего содержания молибдена $\text{Mo}_{\text{среднее}}$ составит $3.20 \times \text{PAAS}$, что тоже существенно выше содержаний, установленных в пробах донных осадков других полигонов.

В поверхностных донных отложениях пролива Кембридж среднее содержание элементов Li, Rb,

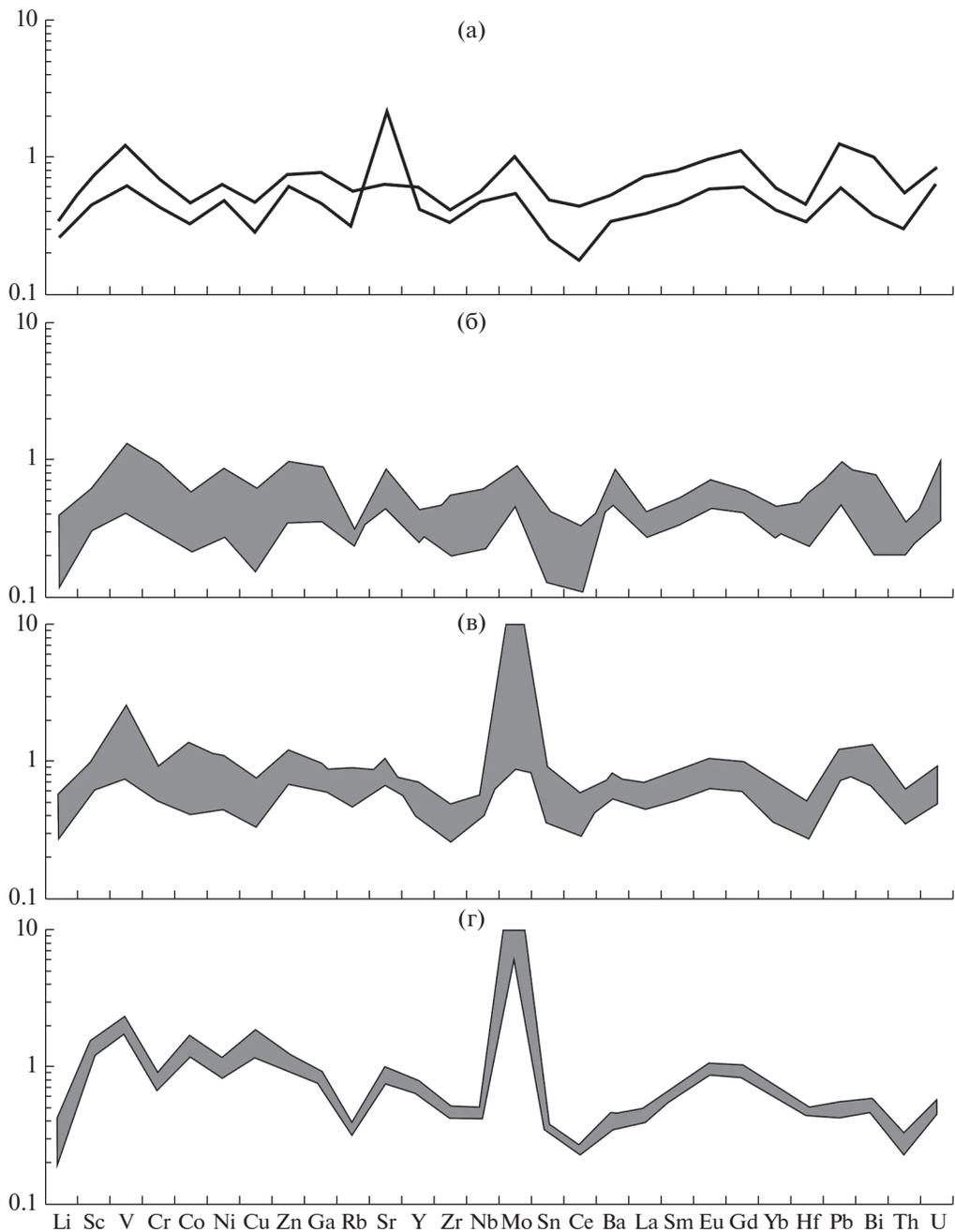


Рис. 4. Распределение нормированных к PAAS содержаний редких и рассеянных элементов в поверхностных донных осадках района к югу от Шпицбергена (а), а также на полигонах “Кольский меридиан” (б), “Шпицберген–ЗФИ” (в) и “Пролив Кембридж” (г).

Y, Zr, Nb, Sn, Cs, Ba, La, Sm, Yb, Hf, Pb, Bi, Th и U соответствует $< 0.75 \times \text{PAAS}$; более высокие величины ($0.75\text{--}0.9 \times \text{PAAS}$) характерны для Cr, Ga и Sr (см. рис. 4г). Средние содержания Ni, Eu и Gd соответствуют градации 3, т.е. сопоставимы с концентрацией этих элементов в PAAS; довольно высокие средние содержания определены для Sc, Co и Zn (градация 4). Концентрации Cu и Mo достигают более $1.5 \times \text{PAAS}$, однако величины сред-

него содержания этих элементов, отнесенного к PAAS, различаются почти на порядок. Содержание меди в пробах данного полигона варьирует от 1.24 до $1.81 \times \text{PAAS}$ (среднее – $1.55 \times \text{PAAS}$). Среднее содержание Mo в современных донных осадках пролива Кембридж составляет $13.72 \times \text{PAAS}$ (минимальное – $8.17 \times \text{PAAS}$, максимальное – $29 \times \text{PAAS}$). Если, так же как и в предыдущем случае, исключить из рассмотрения пробу 5454 с са-

мым высоким – “аномальным” содержанием Мо ($29.23 \times \text{PAAS}$), то величина среднего содержания $\text{Mo}_{\text{среднее}}$ составит $10.62 \times \text{PAAS}$.

В целом полученные нами данные находятся в соответствии с представлениями о том, что распределение тяжелых металлов и ряда других редких и рассеянных элементов в поверхностных донных осадках Баренцева моря контролируется, в первую очередь, глобальным геохимическим фоном [Новиков, Жилин, 2016]. В то же время, очевидно, что локальные факторы вносят свой вклад, и среди них – содержание пелитовой фракции и органического вещества в осадках.

СВЯЗЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ РЯДА РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С СОДЕРЖАНИЕМ ТОНКОЙ ПЕЛИТОВОЙ ФРАКЦИИ И $C_{\text{орг}}$

В данном разделе рассмотрены результаты анализов большего количества проб по сравнению с другими разделами данной работы. Величины концентраций большинства присутствующих в современных донных осадках Баренцева моря редких и рассеянных элементов (Sc, V, Cr, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Th, U и редкие земли) проявляют умеренную положительную связь с содержанием в этих осадках тонкой пелитовой фракции. Так, коэффициент корреляции (r) между содержанием Sc и тонкой пелитовой фракции в проанализированных пробах составляет 0.63 (рис. 5). Для V и Cr величина r несколько выше (0.71 и 0.72 соответственно). Корреляция между содержанием Hf, Zr и количеством тонкой пелитовой фракции в этих же пробах довольно слабая ($r = 0.58$ и 0.59 соответственно). Примерно такие же значения r характерны для Nb и Y. Уран, торий и молибден показывают слабую положительную корреляцию с содержанием тонкой пелитовой фракции в современных донных осадках ($r = 0.38$, 0.36 и 0.41 соответственно). То же ($r = 0.50$) характерно и для суммы редкоземельных элементов (РЗЭ). Достаточно слабую положительную корреляцию с содержанием в донных осадках тонкой пелитовой фракции проявляют Cu, Zn и Pb (0.57 , 0.67 и 0.42 соответственно).

По величине коэффициента корреляции, характеризующего зависимость концентрации элемента от содержания $C_{\text{орг}}$ в донных осадках, все изученные редкие и рассеянные элементы могут быть подразделены на три группы. Так, V, Cr и Ni характеризуются умеренной положительной корреляцией с $C_{\text{орг}}$ ($0.61 < r < 0.67$) и принадлежат первой группе (рис. 6). Вторую группу образуют Sc, Hf, Zr, Nb, U, Th, Y и РЗЭ. Коэффициенты корреляции этих элементов с $C_{\text{орг}}$ в донных осадках меняются от 0.34 (Sc) до 0.52 (Nb). Корреля-

ция между концентрациями $C_{\text{орг}}$ и $\Sigma\text{РЗЭ}$ слабая ($r = 0.29$). Это значит, что лантаноиды в современных донных осадках Баренцева моря в основном связаны с литогенными компонентами. К той же группе относятся элементы Pb, Zn и Cu ($r = 0.40$, 0.49 и 0.32 соответственно), проявляющие слабую положительную корреляцию с $C_{\text{орг}}$. Наконец, к третьей группе принадлежит Мо, содержание которого в осадках не показывает явной корреляции с $C_{\text{орг}}$ ($r = 0.11$).

Полученные нами данные в целом согласуются с результатами исследований М.А. Новикова и А.Ю. Жилина [2016], показавшими, что содержание $C_{\text{орг}}$ в донных осадках Баренцева моря варьирует от 0.13 до 3.76% (среднее – 1.58%), а между величинами содержаний Cu, Zn, Ni, Cr, Pb и концентрацией $C_{\text{орг}}$ наблюдается умеренная положительная связь.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ СОСТАВА КОМПЛЕКСОВ ПОРОД-ИСТОЧНИКОВ ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКИ (Sc, Th, Co, Cr, La и Sm)

В настоящем разделе рассмотрены элементы Sc, Th, Co, Cr, La и Sm, уровень содержания и соотношение которых позволяют судить [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, 1989; Cullers, 1995, 2002; Интерпретация ..., 2001; Geochemistry ..., 2003; Маслов и др., 2014 и др.] о составе пород, служивших источниками тонкозернистого обломочного материала для донных отложений (табл. 4)⁵. Среднее содержание Sc в исследованной нами выборке проб варьирует от 3.8 г/т (полигон “Печорское море”) до 23 г/т (“Пролив Кембридж”). В пробах, отобранных на полигонах “Западный склон Канинского мелководья”, “Штокманский”, “Русская Гавань”, “Медвежинский желоб” и “Шпицберген–ЗФИ”, средние содержания Sc вполне сопоставимы (11.2–12.7 г/т).

По величинам среднего содержания Cr в отобранных пробах, донные отложения Баренцева моря подразделяются на три группы: а) осадки Печорского моря (33.1–33.8 г/т)⁶, б) полигона “Медвежинский желоб”, района к югу от Шпицбергена, профилей “Кольский меридиан” и “Шпицберген–ЗФИ” (58.8–72.9 г/т); в) донные осадки, отобранные на полигонах “Западный склон Канинского мелководья” (?), “Центрально-Баренцевоморский”, “Русская Гавань” и “Пролив Кембридж”. В последних среднее содер-

⁵ Данные для La и Sm см. табл. 5.

⁶ В работе [Loring et al., 1995] для тонкозернистых поверхностных осадков Печорского моря приведено существенно более высокое среднее содержание Cr (110 ± 15 г/т), но эти данные основываются на анализе 40 проб.

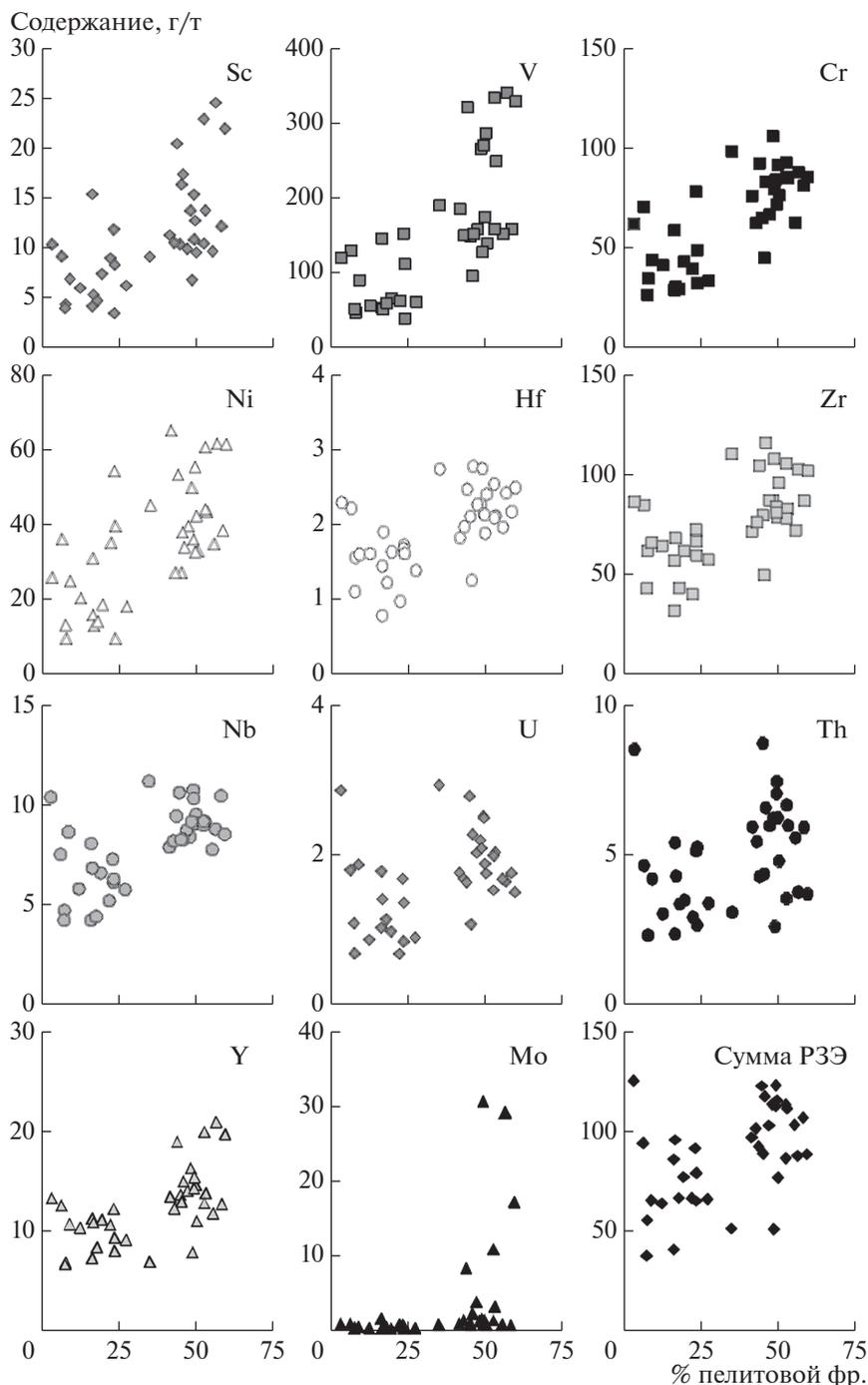


Рис. 5. Корреляция содержания редких и рассеянных элементов с содержанием тонкой пелитовой фракции в поверхностных донных осадках Баренцева моря.

жание Sr достигает почти 90 г/т, что, тем не менее, ниже концентрации хрома в PAAS (110 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]).

Минимальное среднее содержание Co (~4.4 г/т) установлено в пробах современных донных осадков полигона "Печорское море", максимальная величина (~36.6 г/т) характерна для проб, ото-

бранных в заливе Кембридж (в PAAS содержание Co составляет 23 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]).

Среднее содержание La варьирует от 12.7 г/т (полигон "Печорское море") до 23.4 г/т (широтный разрез "Шпицберген-ЗФИ"); тогда как в PAAS концентрация La составляет 38.2 г/т. При этом в пробах, представляющих осадки с полиго-

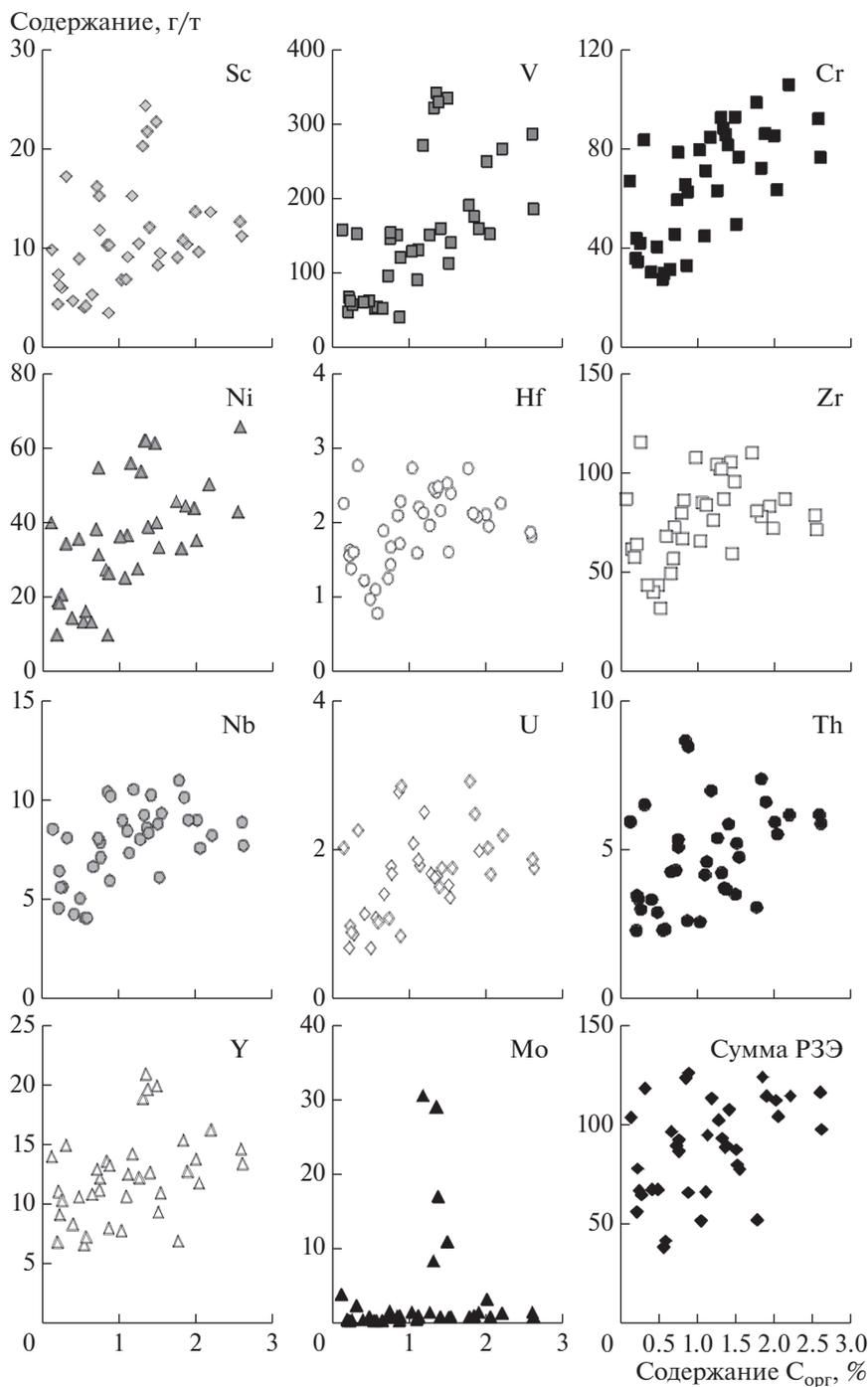


Рис. 6. Корреляция содержания редких и рассеянных элементов и концентраций $C_{орг}$ в поверхностных донных осадках Баренцева моря.

нов “Западный склон Канинского мелководья”, “Штокманский”, “Русская Гавань”, “Медвежинский желоб” и район к югу от Шпицбергена, значения $La_{среднее}$ вполне сопоставимы.

В пробах с полигонов “Печорское море” и “Кольский меридиан” среднее содержание Sm составляет соответственно ~2.1 и ~2.3 г/т. Пробы поверхностных донных осадков, отобранные на

других полигонах, характеризуются несколько более высоким средним содержанием Sm (3.2–3.9 г/т). В ПААС содержание Sm составляет 5.6 г/т.

Максимальная величина среднего содержания Th в исследованных нами пробах достигает ~7.1 г/т (в ПААС – 14.6 г/т), тогда как минимальная – около 2.5 г/т (полигон “Печорское море”). Содержа-

Таблица 4. Среднее, минимальное и максимальное содержание Sc, Cr, Co и Th в пробах поверхностных донных осадков Баренцева моря, г/т

Компоненты	Полигоны								
	“Печорское море”	“Западный склон Канинского мелководья”	“Штокманский”	“Русская Гавань”	“Медвежинский желоб”	Район к югу от Шпицбергена	“Кольский меридиан”	Широтный разрез “Шпицберген–ЗФИ”	“Пролив Кембридж”
Sc	$\frac{3.82 \pm 0.64}{3.37-4.27}$	11.18	$\frac{10.39 \pm 3.36}{5.24-13.92}$	$\frac{14.51 \pm 3.88}{11.77-17.26}$	$\frac{11.27 \pm 3.25}{7.31-16.22}$	$\frac{7.90 \pm 2.47}{6.15-10.73}$	$\frac{7.70 \pm 2.67}{4.63-9.46}$	$\frac{12.72 \pm 2.86}{9.80-15.47}$	$\frac{22.52 \pm 1.44}{21.07-24.41}$
Cr	$\frac{34.48 \pm 1.89}{33.14-35.82}$	76.81	$\frac{77.83 \pm 27.03}{31.56-116.16}$	$\frac{81.48 \pm 3.59}{78.94-84.02}$	$\frac{64.30 \pm 19.76}{43.98-86.56}$	$\frac{50.70 \pm 19.61}{34.51-72.51}$	$\frac{68.73 \pm 35.11}{30.22-98.96}$	$\frac{72.89 \pm 14.53}{59.60-96.42}$	$\frac{88.57 \pm 3.29}{86.17-93.22}$
Co	$\frac{4.36 \pm 0.09}{4.30-4.42}$	9.99	$\frac{10.58 \pm 3.37}{4.67-16.11}$	$\frac{15.40 \pm 0.02}{15.39-15.42}$	$\frac{11.70 \pm 3.37}{7.95-16.60}$	$\frac{8.06 \pm 1.66}{6.98-9.97}$	$\frac{9.34 \pm 4.14}{4.67-12.53}$	$\frac{17.93 \pm 8.91}{9.90-30.89}$	$\frac{35.31 \pm 2.68}{31.55-37.88}$
Th	$\frac{2.45 \pm 0.24}{2.28-2.62}$	5.89	$\frac{5.05 \pm 1.18}{2.58-6.36}$	$\frac{5.81 \pm 1.01}{5.10-6.53}$	$\frac{5.13 \pm 1.26}{3.45-6.62}$	$\frac{4.97 \pm 2.15}{3.35-7.40}$	$\frac{3.71 \pm 0.91}{3.05-4.75}$	$\frac{7.05 \pm 1.33}{5.36-8.69}$	$\frac{3.80 \pm 0.35}{3.51-4.31}$
n	2	1	9	2	5	2	3	6	4

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение; в знаменателе – минимальное и максимальное содержание; n – количество проанализированных проб.

ние Th в PAAS составляет ~14.6 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Редкоземельные элементы, так же как Sc, Th, Co, Cr и ряд других редких и рассеянных элементов, являются хорошими индикаторами состава размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород [Тейлор, МакЛеннан, 1988; Wronkiewicz, Condie, 1987; McLennan, 1989; Condie, Wronkiewicz, 1990; Cullers, 1995; Geochemistry ..., 2003 и др.]. Средние значения $\Sigma PЗЭ$, а также минимальные и максимальные величины данного параметра, которые были определены в пробах поверхностных донных осадков различных полигонов Баренцева моря, отработанных в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”, приведены в табл. 5. Сумма PЗЭ в песчаных отложениях с примесью алевроитового и пелитового материала, отобранных на полигоне “Печорское море”, изменяется от ~57 до 66 г/т. Отношение концентраций легких и тяжелых PЗЭ (ЛPЗЭ/ТPЗЭ) варьирует от 9.57 до 9.90. Средняя величина $(La/Yb)_N$ (нормировано на хондрит [Тейлор, МакЛеннан, 1988]) составляет 10.61, а $(Gd/Yb)_N - 1.91$; при этом Eu-аномалия небольшая отрицательная (0.85). Спектры распределения PЗЭ в современных донных илах по-

лигона “Печорское море” и других полигонов показаны на рис. 7.

Пелитовые илы западного склона Канинского мелководья характеризуются несколько большей величиной $\Sigma PЗЭ$ (98 г/т), по сравнению с донными отложениями полигона “Печорское море”. Значения ЛPЗЭ/ТPЗЭ и $(La/Yb)_N$ составляют здесь соответственно 8.77 и 9.54, величина $(Gd/Yb)_N - 1.89$, а $Eu/Eu^* - 0.74$.

На полигоне “Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)” сумма PЗЭ в осадках варьирует от 52 до 117 г/т. Значение ЛPЗЭ/ТPЗЭ изменяется от 7.07 до 9.58 (в двух пробах 7.07 и 7.52, в остальных 8.41–9.58). Средняя величина $(La/Yb)_N$ равна 10.60 (минимальная – 9.30, максимальная – 11.63), а $Eu/Eu^*_{\text{среднее}} - 0.77$.

Поверхностные донные осадки полигона “Русская Гавань” (пелитовые, алевроитово-пелитовые илы и смешанного состава) характеризуются примерно такими же, как в осадках полигона “Центрально-Баренцевоморский”, значениями суммы PЗЭ (52–119 г/т). Параметр ЛPЗЭ/ТPЗЭ составляет 8.75...9.03. Величины $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* варьируют от 7.63 до 9.60 и от 0.76 до 0.80 соответственно; $(Gd/Yb)_{N\text{среднее}} - 1.91 \pm 0.15$.

Сумма PЗЭ в песчано-алевро-пелитовых, алевроитово-пелитовых и пелитовых илах Медвежинского желоба варьирует от 78 до ~115 г/т. Средние величины $(La/Yb)_N$ и $(Gd/Yb)_N$ соответ-

Таблица 5. Среднее, минимальное и максимальное содержание РЗЭ в пробах современных донных осадков Баренцева моря, г/т

Компо- ненты	Полигоны									
	“Печорское море”	“Западный склон Канинского мелководья”	“Штокманский”	“Русская Гавань”	“Мелвехинский желоб”	Район к югу от Шпицбергена	“Кольский меридиан”	Широтный разрез “Шпицберген– ЗФИ”	“Пролив Кембридж”	
La	12.70 ± 1.52 11.63–13.78	20.00	19.32 ± 4.81 10.59–24.62	21.26 ± 3.33 18.90–23.62	20.39 ± 3.31 15.62–23.84	19.94 ± 8.69 13.79–26.09	13.12 ± 2.20 10.71–15.00	23.36 ± 3.27 17.91–25.94	16.42 ± 0.91 15.73–17.76	
Ce	26.49 ± 3.14 24.27–28.71	41.12	39.73 ± 9.67 20.59–50.17	43.83 ± 7.76 38.34–49.32	42.16 ± 7.35 32.75–49.79	39.42 ± 17.98 26.71–52.13	27.44 ± 6.05 20.92–32.86	48.54 ± 6.99 37.01–55.29	34.19 ± 1.88 32.94–36.99	
Pr	2.91 ± 0.32 2.69–3.14	4.77	4.55 ± 1.00 2.58–5.58	5.16 ± 0.85 4.56–5.76	4.68 ± 0.66 3.73–5.40	4.56 ± 1.93 3.19–5.92	3.21 ± 0.60 2.65–3.84	5.44 ± 0.77 4.15–6.19	4.13 ± 0.14 4.03–4.33	
Nd	11.05 ± 1.07 10.29–11.81	18.06	17.14 ± 3.65 9.80–21.04	19.97 ± 3.40 17.57–22.37	17.66 ± 2.19 14.42–20.04	17.17 ± 6.99 12.23–22.12	12.31 ± 2.20 10.15–14.55	20.37 ± 2.55 16.02–22.70	16.71 ± 0.33 16.27–17.06	
Sm	2.05 ± 0.21 1.90–2.19	3.36	3.27 ± 0.67 1.94–4.16	3.89 ± 0.74 3.37–4.42	3.32 ± 0.39 2.71–3.72	3.28 ± 1.29 2.37–4.20	2.34 ± 0.41 1.92–2.73	3.94 ± 0.53 3.04–4.46	3.75 ± 0.05 3.71–3.80	
Eu	0.55 ± 0.05 0.52–0.58	0.80	0.83 ± 0.15 0.52–1.01	0.99 ± 0.21 0.84–1.13	0.84 ± 0.06 0.75–0.93	0.79 ± 0.28 0.60–0.99	0.64 ± 0.13 0.49–0.73	0.91 ± 0.12 0.72–1.10	1.07 ± 0.03 1.05–1.11	
Gd	1.90 ± 0.17 1.79–2.02	3.29	3.36 ± 0.63 2.02–4.09	3.81 ± 0.67 3.34–4.28	3.48 ± 0.53 2.74–4.11	3.80 ± 1.58 2.68–4.92	2.45 ± 0.40 1.99–2.70	3.84 ± 0.54 2.97–4.50	4.46 ± 0.21 4.23–4.69	
Tb	0.26 ± 0.03 0.24–0.28	0.45	0.42 ± 0.08 0.27–0.53	0.46 ± 0.09 0.40–0.53	0.44 ± 0.04 0.37–0.49	0.46 ± 0.17 0.34–0.58	0.31 ± 0.05 0.25–0.36	0.50 ± 0.07 0.38–0.61	0.62 ± 0.02 0.59–0.63	
Dy	1.42 ± 0.14 1.32–1.52	2.52	2.29 ± 0.47 1.45–3.01	2.50 ± 0.49 2.15–2.84	2.36 ± 0.20 2.08–2.62	2.48 ± 0.88 1.86–3.10	1.70 ± 0.36 1.36–2.07	2.71 ± 0.44 2.05–3.44	3.60 ± 0.13 3.41–3.73	
Ho	0.28 ± 0.03 0.26–0.30	0.49	0.45 ± 0.09 0.29–0.60	0.48 ± 0.09 0.42–0.54	0.45 ± 0.03 0.41–0.49	0.47 ± 0.15 0.37–0.58	0.33 ± 0.08 0.26–0.41	0.52 ± 0.09 0.39–0.68	0.71 ± 0.03 0.67–0.74	
Er	0.82 ± 0.06 0.78–0.87	1.45	1.34 ± 0.26 0.87–1.77	1.46 ± 0.31 1.24–1.68	1.35 ± 0.09 1.22–1.46	1.40 ± 0.42 1.10–1.69	0.98 ± 0.22 0.79–1.22	1.50 ± 0.29 1.13–2.01	2.10 ± 0.08 2.00–2.17	
Tm	0.12 ± 0.01 0.11–0.13	0.21	0.20 ± 0.04 0.13–0.25	0.22 ± 0.04 0.19–0.25	0.19 ± 0.01 0.18–0.21	0.20 ± 0.07 0.16–0.25	0.15 ± 0.04 0.12–0.18	0.21 ± 0.04 0.16–0.29	0.30 ± 0.01 0.28–0.31	
Yb	0.81 ± 0.06 0.76–0.85	1.42	1.33 ± 0.22 0.94–1.69	1.56 ± 0.32 1.33–1.79	1.29 ± 0.10 1.22–1.46	1.35 ± 0.36 1.10–1.60	0.96 ± 0.23 0.78–1.22	1.43 ± 0.27 1.07–1.88	1.95 ± 0.06 1.86–2.01	
Lu	0.12 ± 0.01 0.11–0.12	0.21	0.19 ± 0.04 0.14–0.25	0.24 ± 0.05 0.20–0.27	0.19 ± 0.02 0.17–0.21	0.20 ± 0.06 0.16–0.24	0.14 ± 0.03 0.12–0.18	0.21 ± 0.04 0.15–0.27	0.28 ± 0.01 0.27–0.29	
Сумма	61.47 ± 6.81 56.65–66.29	98.15	94.44 ± 21.48 52.12–116.98	105.82 ± 18.35 92.85–118.80	98.80 ± 14.59 78.38–114.77	95.54 ± 40.84 66.66–124.42	66.08 ± 12.81 52.52–77.99	113.48 ± 15.49 87.16–126.55	90.30 ± 2.80 87.95–94.34	
n	2	1	9	2	5	2	3	6	4	

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение; в знаменателе – минимальное и максимальное содержание; n – количество проанализированных проб.

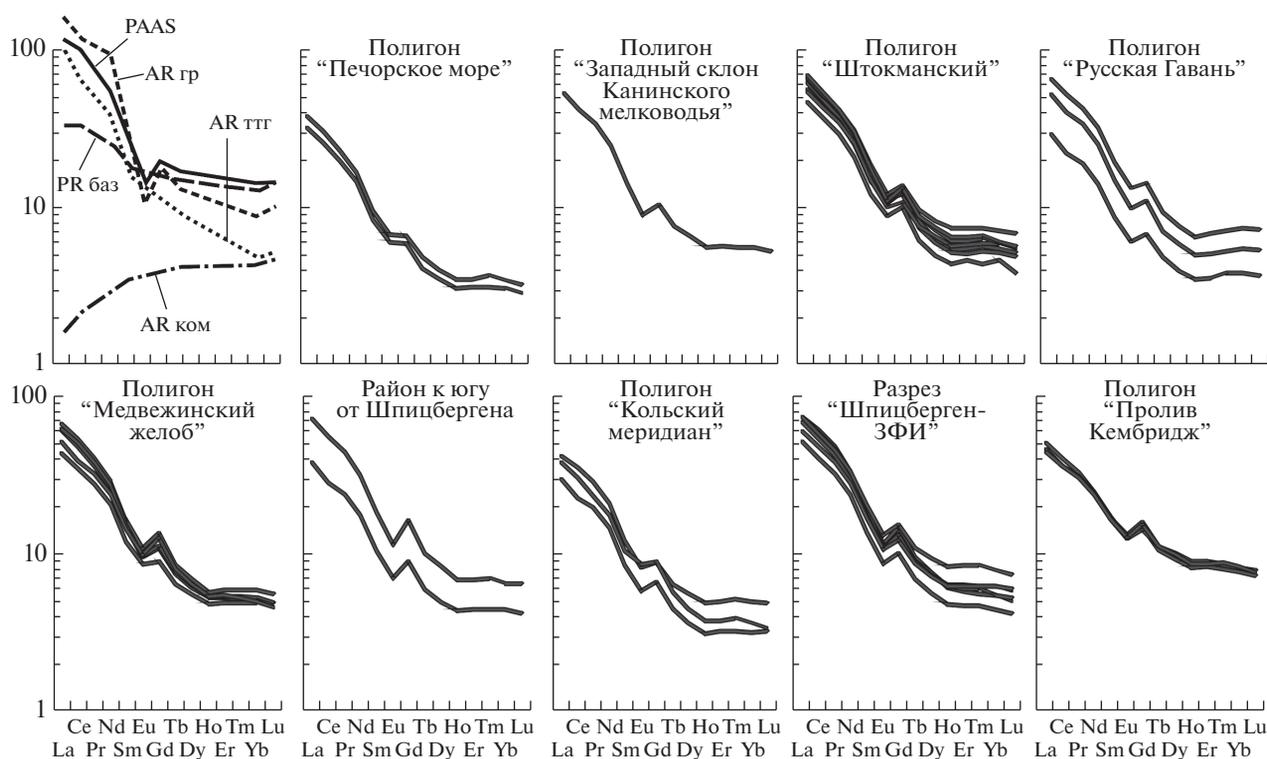


Рис. 7. Распределение нормированных к хондриту содержаний РЗЭ в референтных объектах (левый верхний график) и в поверхностных донных осадках различных полигонов Баренцева моря.

РААС – постархейский австралийский сланец, по [Тейлор, МакЛеннан, 1988]; AR гр – архейские граниты, PR баз – протерозойские базальты, AR ттг – архейские тоналит-трондьемит-гранитные ассоциации, AR ком – архейские коматииты (все по [Condie, 1993]).

ственно 10.63 и 2.18. Значение Eu/Eu^* среднее равно 0.76. Отношение легких лантаноидов к тяжелым варьирует от 7.86 до 10.08.

В пробах, отобранных на станциях 5440 (галечник с примесью пелита) и 5441 (пелитовый ил) в районе к югу от Шпицбергена, суммарное содержание лантаноидов в первом случае ~67 г/т (что хорошо объясняется небольшой долей тонкой пелитовой фракции в этой пробе), а во втором – 124 г/т. Значения $(La/Yb)_N$ равны соответственно 8.47 и 0.72, а Eu/Eu^* – 10.99 и 0.67. Отношение ЛРЗЭ/ТРЗЭ изменяется от 7.58 до 8.59.

На полигоне “Кольский меридиан” Σ РЗЭ в современных донных осадках варьирует от 52 до 78 г/т. Средняя величина $(La/Yb)_N$ равна 9.35. Во всех трех пробах, отобранных дночерпателем на этом полигоне, значения Eu/Eu^* меньше, чем в пробах со станций, расположенных к югу от Шпицбергена. Отношение ЛРЗЭ/ТРЗЭ изменяется от 8.25 до 8.58.

Разнообразные донные осадки широтного разреза “Шпицберген–архипелаг Земля Франца-Иосифа” характеризуются величинами Σ РЗЭ от 87 до 127 г/т. Среднее значение $(La/Yb)_N$ составляет 11.26 (минимальное – 9.17, максималь-

ное – 13.47). Величина Eu аномалии изменяется от 0.68 до 0.75, а $(Gd/Yb)_{N, \text{среднее}}$ равно 2.21. Отношение ЛРЗЭ/ТРЗЭ – 8.15–10.41.

Пелитовые илы в проливе Кембридж характеризуются суммарным содержанием РЗЭ от 88 до 94 г/т. Среднее значение $(La/Yb)_N$ здесь существенно ниже, чем в осадках других полигонов (~5.71); значения Eu/Eu^* находятся в очень узком интервале (0.80–0.81). Деплетирование ТРЗЭ не наблюдается, параметр $(Gd/Yb)_{N, \text{среднее}}$ составляет 1.86. Величина отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ изменяется от 5.19 до 6.02.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Предполагается, что содержания и соотношения элементов-примесей существенно не меняются при транспортировке обломочного материала из источников сноса до областей осадконакопления [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, 1989; Condie, Wronkiewicz, 1990; McLennan et al., 1990; McLennan, Taylor, 1991; Cullers, 1995, 2002; Geochemistry ..., 2003 и др.]. Для кислых магматических образований (граниты, гранодиориты) характерны более высокие (на один–два порядка) значения Th/Sc , La/Sm , La/Sc , Th/Co и Th/Cr , по

сравнению с базитами [Интерпретация ..., 2001]. В то же время, в основных магматических породах, по сравнению с кислыми, значения Cr/Zr , Cr/V и ряда других индикаторных отношений на один—два порядка более высокие. Оба эти признака, а также некоторые другие, широко используются для реконструкции состава пород на палеоводоразделах в последние годы при исследовании современных донных осадков различных морей, крупных речных систем и ряда других объектов [Rachold, 1999; Ingram, Lin, 2002; Chen et al., 2003; Douglas et al., 2003; Chaillou et al., 2006; Damiani, Giorgetti, 2008; Song, Choi, 2009; Martinez et al., 2009; Censi et al., 2010; Dou et al., 2010; Astakhov et al., 2015; Bayon et al., 2015 и др.].

При реконструкции состава комплексов пород, которые являлись источниками тонкой алюмосиликокластики для поверхностных донных осадков Баренцева моря, мы использовали подход, основанный на сопоставлении величин индикаторных отношений редких и рассеянных элементов, определенных в донных осадках, со значениями этих отношений в референтных геологических объектах: гранитоидах архея (предполагаемый источник подобной тонкой алюмосиликокластики — Кольский п-ов), палеозойских андезитах (предполагаемый источник обломочного материала — складчатые структуры Урала), а также мезо-кайнозойских базальтах (возможный источник — ЗФИ)⁷. Величины содержаний редких и рассеянных элементов в референтных объектах заимствованы из работы [Condie, 1993]; учтены также данные о геохимии базальтов архипелага Земля Франца-Иосифа [Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005].

⁷ Такой выбор, несмотря на его определенную спорность, обусловлен весьма простым обстоятельством — до сих пор в литературе отсутствуют сколько-нибудь представительные сведения о распределении редких и рассеянных элементов в типичных магматических и осадочных комплексах Печорской синеклизы, Новой Земли, Шпицбергена, каледонид Скандинавии и других регионов, выступающими источниками материала для современных донных осадков Баренцева моря. Для вулканических пород ЗФИ в публикациях последних лет [Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005] приведено менее 10 (!) анализов, выполненных методом ICP-MS. С подобной ситуацией мы сталкивались и при исследовании особенностей распределения элементов-примесей в современных донных осадках Белого моря [Маслов и др., 2014]. Юго-восточная питающая провинция последнего сложена туфоогенно-терригенными образованиями верхнего венда (валдайская серия), палеозоя и мезозоя. Сведения о распределении редких и рассеянных, в том числе редкоземельных, элементов, а также Sm-Nd изотопной систематике, имеются в настоящее время только для верхневендских и кембрийских (падунская свита/серия) отложений. Поэтому все наши выводы в указанной работе основывались на сравнении микроэлементного состава современных донных осадков различных районов Белого моря с перечисленными выше референтными объектами.

Важным при проведении подобных исследований является анализ особенностей распределения РЗЭ в тонкозернистых обломочных осадках, поскольку считается, что разнообразие нормированных на хондрит спектров РЗЭ в постаршейских осадочных породах определяется тектоническими обстановками их формирования и составом пород в источниках сноса [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan et al., 1990]. Реконструкция состава пород в источниках сноса по спектрам РЗЭ основана на том, что магматические породы основного состава характеризуются достаточно низкими величинами отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$, и не имеют выраженной Eu аномалии, тогда как кислым породам свойственны заметно более высокие ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$, а также отчетливо выраженная отрицательная аномалия Eu [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, Taylor, 1991]. Значения $(La/Yb)_N < 4$ и пологий общий профиль нормированных на хондрит кривых распределения РЗЭ указывают на существенную роль магматических пород основного состава, среди источников сноса обломочного материала, тогда как в случае $(La/Yb)_N > 8$ и, соответственно, крутом наклоне спектра, можно сделать вывод о преобладании в областях питания кислых магматических образований. Высокие значения $(La/Yb)_N \geq 20$ свидетельствуют о присутствии гранитоидов на палеоводосборах [Wronkiewicz, Condie, 1990].

На диаграмме Sc—Th/Sc [Тейлор, МакЛеннан, 1988] фигуративные точки проб современных донных осадков, отобранных в Баренцевом море на первых восьми полигонах, сконцентрированы между референтными точками калиевых гранитоидов и диабазов, будучи несколько смещенными к последней области (рис. 8). Фигуративные точки донных отложений полигона “Пролив Кембридж” расположены вблизи референтной точки диабазов и поля составов базальтов ЗФИ, что позволяет предполагать присутствие в составе этих отложений значительной доли тонкозернистого материала, который был образован в результате эрозии магматических пород основного состава, присутствующих на архипелаге Земля Франца-Иосифа.

На диаграммах La/Sm—Sc/Th [Geochemistry..., 2003], La/Sc—Th/Co [Cullers, 2002] и La/Sc—Th/Cr точки донных осадков из пролива Кембридж локализованы вблизи поля составов базальтов ЗФИ или находятся внутри него, а также между референтными точками базальтов мезо-кайнозоя и палеозойских андезитов (рис. 9). Это также позволяет судить о присутствии в них значительного количества продуктов эрозии основных магматических пород. Фигуративные точки проб поверхностных донных осадков, отобранных на других полигонах, расположены на диаграммах между

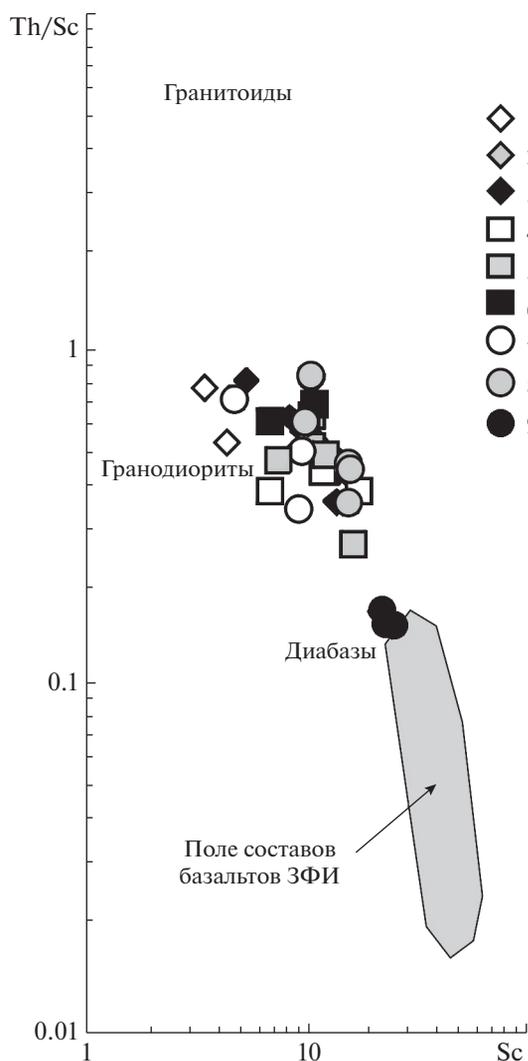


Рис. 8. Положение фигуративных точек современных донных отложений различных полигонов Баренцева моря на диаграмме Sc–Th/Sc.

1–9 – полигоны (1 – “Печорское море”, 2 – “Западный склон Канинского мелководья”, 3 – “Штокманский”, 4 – залив “Русская Гавань”, 5 – “Медвежий желоб”, 6 – район к югу от Шпицбергена, 7 – “Кольский меридиан”, 8 – “Шпицберген–архипелаг Земля Франца-Иосифа”, 9 – “Пролив Кембридж”); Положение референтных точек диабазов, гранодиоритов и К-гранитоидов – по [Schoenborn, Fedo, 2011; Roy, Roser, 2013]. Поле составов базальтов ЗФИ – по данным [Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005].

точками усредненных составов гранитоидов архея и андезитов палеозоя, но ближе к последним. Можно предполагать, что на этих диаграммах усредненный состав гранитоидов архея более или менее близко соответствует геохимическим особенностям гранитоидов Кольского полуострова, а усредненный состав андезитов палеозоя – палеозойским вулканогенным комплексам севера Уральского складчатого пояса и Новой Земли. Таким образом, с определенной долей вероятно-

сти можно считать, что формирование поверхностных донных осадков основной части акватории Баренцева моря происходило за счет обломочного материала, поступавшего с юга и юго-востока, а возможно, из внешних по отношению к Баренцеву морю, удаленных источников.

В соответствии со схемой поверхностных течений, мы сопоставили значения $(La/Yb)_N$ в современных донных осадках четырех районов: 1) части Баренцева моря, находящейся под влиянием атлантических вод (ст. 5431, 5430, 5411, 5412, 5414 и 5416); 2) части Баренцева моря, на которую воздействуют течения с востока и северо-востока (ст. 5445, 5446, 5448, 5417, 5421 и 5413); 3) окрестностей ЗФИ (пролив Кембридж) и 4) района залива Русская Гавань. В результате было установлено, что по донные осадки указанных районов по указанному параметру различаются. Так, в донных осадках двух первых районов были определены значения $(La/Yb)_{N\text{среднее}}$ 10.42 и 12.00. Донные отложения пролива Кембридж, как было показано выше, характеризуются существенно меньшей величиной $(La/Yb)_{N\text{среднее}}$ – 5.71, а в донных отложениях залива Русская Гавань установлено промежуточное значение $(La/Yb)_{N\text{среднее}}$ – 8.87).

В целом, учитывая средние величины отношений ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$, в современных донных осадках различных районов Баренцева моря, можно прийти к выводу о том, что в составе осадков полигона “Пролив Кембридж” присутствует значительное количество тонкозернистой алюмосиликокластики, образованной за счет размыва основных магматических пород.

На диаграмме $(La/Yb)_N$ –Eu/Eu* [Geochemistry ..., 2003] точки поверхностных донных осадков всех исследованных нами полигонов показывают довольно компактное расположение примерно на одинаковом расстоянии от пород архейских ТТГ-ассоциаций, мезо-кайнозойских базальтов, базальтов ЗФИ и протерозойских гранитов (рис. 10а). Величины Eu/Eu* во всех пробах несколько выше, чем в РААС, и примерно сопоставимы с Eu/Eu* мезо-кайнозойских андезитов. Большинство проб донных отложений Баренцева моря в той или иной мере деплетированы ТРЗЭ. Некоторая часть проб по параметру $(Gd/Yb)_N$ сопоставима с протерозойскими гранитоидами, другая – близка к архейским ТТГ-ассоциациям. На диаграмме $(La/Yb)_N$ – $(Gd/Yb)_N$ фигуративные точки проб, отобранных на полигоне “Пролив Кембридж”, больше других тяготеют к полю составов базальтов Земли Франца-Иосифа (см. рис. 10б).

На большей части акватории Баренцева моря каких-либо тенденций изменения нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в тонкозернистых современных донных илах не от-

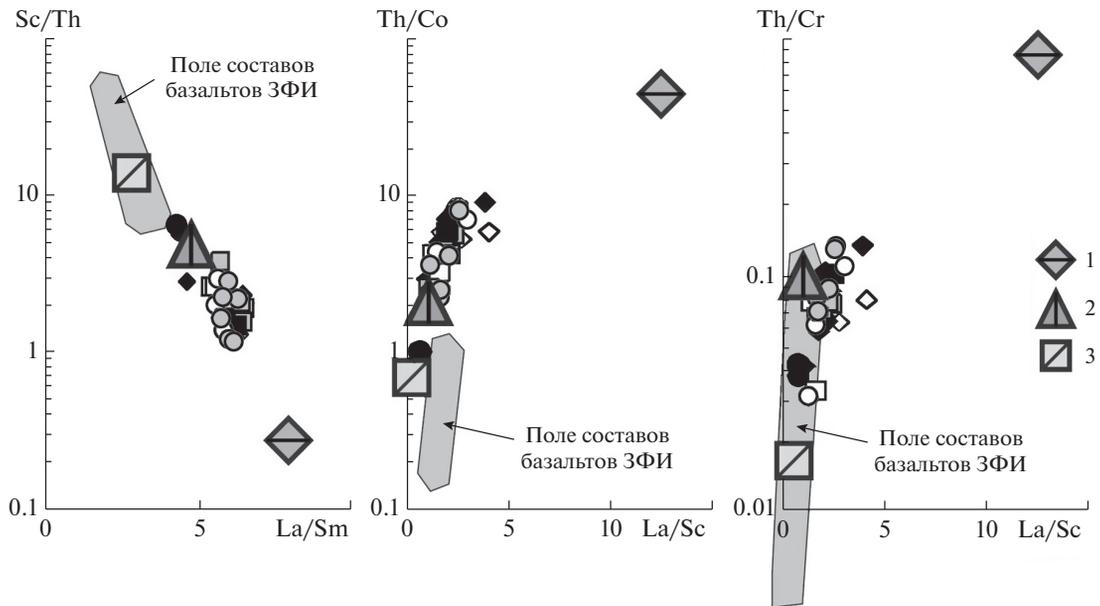


Рис. 9. Положение фигуративных точек поверхностных донных отложений различных полигонов и ряда референтных объектов (по [Condie, 1993]) на диаграммах $La/Sm-Sc/Th$, $La/Sc-Th/Co$ и $La/Sc-Th/Cr$. 1 – гранитоиды архея; 2 – андезиты палеозоя; 3 – мезо-кайнозойские базальты. Остальные условные обозначения см. рис. 8.

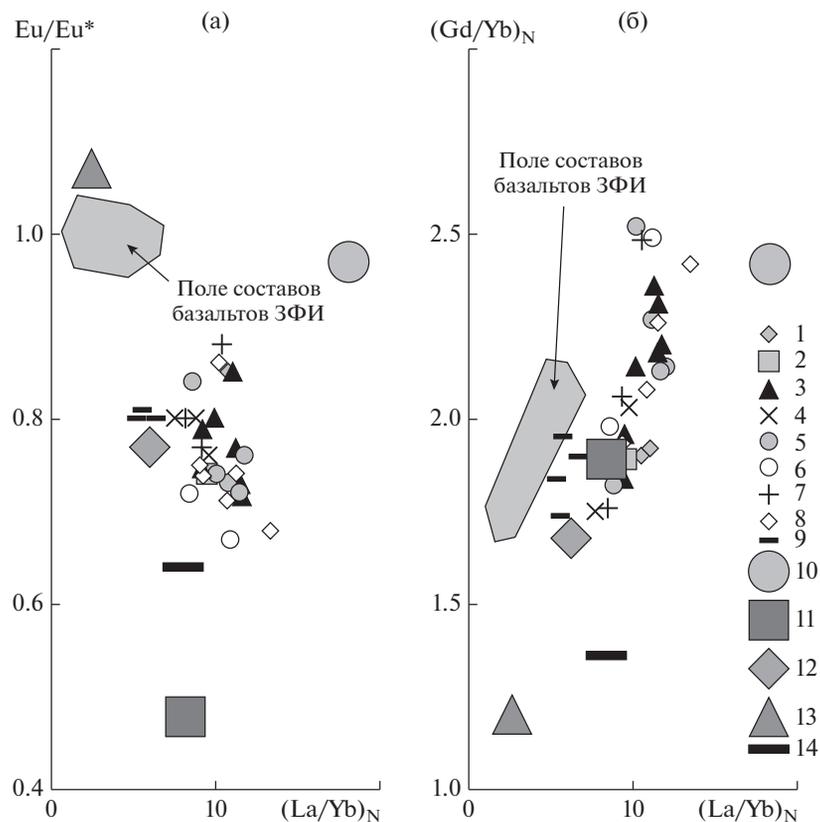


Рис. 10. Положение фигуративных точек поверхностных донных отложений различных полигонов и ряда референтных объектов (по [Condie, 1993]) на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ (а) и $(La/Yb)_N-(Gd/Yb)_N$ (б). 1–9 – полигоны (1 – “Печорское море”, 2 – “Западный склон Канинского мелководья”, 3 – “Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)”, 4 – залив “Русская Гавань”, 5 – “Медвежинский желоб”, 6 – район к югу от Шпицбергена, 7 – “Кольский меридиан”, 8 – “Шпицберген–архипелаг Земля Франца-Иосифа”, 9 – “Пролив Кембридж”); 10–14 – референтные объекты (10 – архейские тоналит-трондьемит-гранитные ассоциации, 11 – протерозойские граниты, 12 – мезо-кайнозойские андезиты, 13 – мезо-кайнозойские базальты, 14 – РААС). Остальные условные обозначения см. рис. 8.

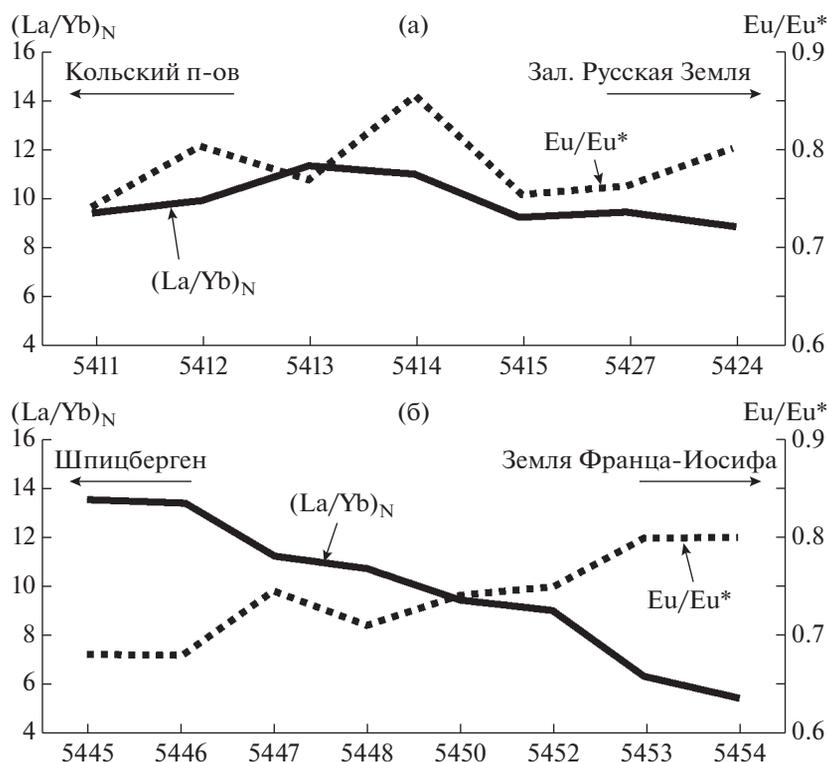


Рис. 11. Вариации $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* в пробах современных донных осадков, отобранных между Кольским полуостровом и заливом Русская Гавань (а), ЗФИ и Шпицбергенем (б). На горизонтальной оси графиков указаны номера станций.

мечается, что видно, например, на графике распределения значений $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* по профилю от Кольского полуострова до залива Русская Гавань (рис. 11а). Иная ситуация характерна для северной части Баренцева моря. Здесь в пробах поверхностных донных осадков, отобранных на разрезе от архипелага Земля Франца-Иосифа к Шпицбергену, наблюдается уменьшение величины Eu/Eu^* и, напротив, рост значений $(La/Yb)_N$ (см. рис. 11б). Возможно, в этой части Баренцева моря происходит смешение продуктов размыва основных магматических пород архипелага Земля Франца-Иосифа с более зрелым материалом, поступающим со стороны Шпицбергена.

Таким образом, приведенные новые данные позволяют считать, что преобладающая часть поверхностных тонкозернистых донных осадков (пелитовые, алевритово-пелитовые и песчано-алевро-пелитовые илы) акватории Баренцева моря сложена достаточно зрелым в геохимическом отношении материалом, источниками которого могли быть породы Кольского полуострова и Шпицбергена (?). Ранее на существенно гранитоидный состав питающих провинций Печорского моря, при подчиненной роли вулканогенных толщ Пай-Хоя, Вайгача и Новой Земли, обращал внимание М.А. Левитан с соавторами [2007].

Донные отложения пролива Кембридж представлены геохимически менее зрелым материалом, поступавшим в бассейн, по-видимому, в результате размыва комплексов пород (преимущественно базальтов), слагающих архипелаг Земля Франца-Иосифа. Северный остров Новой Земли, скорее всего, не являлся поставщиком такого материала, так как современные тонкозернистые донные осадки, отобранные в заливе Русская Гавань, характеризуются более высокими значениями отношений ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$, по сравнению с донными отложениями пролива Кембридж. В то же время, Южный остров Новой Земли, как было показано на основании данных о распределении тяжелых и глинистых минералов в поверхностном слое осадков Печорского моря [Левитан и др., 2003а, 2003б, 2007 и др.], был основным источником обломочного материала для современных осадков Южно-Новоземельского желоба и, по-видимому, всей восточной части Печорского моря.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны экипажу НИС “Академик Мстислав Келдыш”, А.Н. Новигатскому и А.В. Булохову за помощь в экспедиции, Л.В. Деминой за опре-

деление С_{орг} и академику А.П. Лисицыну за ценные советы.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены при поддержке РНФ (гранты № 14-27-00114, экспедиция и № 14-27-00114-П, интерпретация результатов) и проекта УрО РАН 18-9-5-1 (тема № АААА-А18-118053090043-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айбулатов Н.А., Матюшенко В.А., Шевченко В.П. и др.* Новые данные о поперечной структуре латеральных потоков взвешенного вещества по периферии Баренцева моря // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. Геоэкология.* 1999. № 6. С. 526–540.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. I. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.
- Васильев В.В., Вискунова К.Г., Кийко О.А. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист Т-41–44 – мыс Желания. Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2013. 200 с.
- Геологическая карта Кольского региона. М-6 1 : 500000 / Отв. ред. Ф.П. Митрофанов. Апатиты: МПР России, ГИ КНЦ РАН, 2001.
- Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 9. Моря Советской Арктики. Л.: Недра, 1984. 280 с.
- Геология СССР. Т. XXVI. Острова Советской Арктики. М.: Недра, 1970. 548 с.
- Геология четвертичных отложений северо-запада Европейской части СССР. Л.: Недра, 1967. 342 с.
- Гуревич В.И.* Современный седиментогенез и геоэкология Западно-арктического шельфа Евразии. М.: Научный мир, 2002. 135 с.
- Денисенко С.Г.* Биоразнообразие и биоресурсы макрозообентоса Баренцева моря. Структура и многолетние изменения. СПб.: Наука, 2013. 284 с.
- Интерпретация геохимических данных / Отв. ред. Е.В. Скляр. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Кленова М.В.* Геология Баренцева моря. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 367 с.
- Левитан М.А., Беляев Н.А., Буртман М.В. и др.* История голоценовой седиментации в Южно-Новоземельском желобе // *Литология и полез. ископаемые.* 2003а. № 2. С. 660–672.
- Левитан М.А., Буртман М.В., Дара О.М.* Литология верхнечетвертичных отложений // *Печорское море. Опыт системных исследований / Под ред. Е.А. Романкевича, А.П. Лисицына, М.Е. Виноградова.* М.: НИП “Море”, 2003б. С. 255–276.
- Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р.* Очерки истории седиментации в Северном Ледовитом океане и морях Субарктики в течение последних 130 тыс. лет. М.: ГЕОС, 2007. 404 с.
- Левитан М.А., Тарасов Г.А., Буртман М.В., Кукина Н.А.* Минеральный состав поверхностного слоя донных осадков желоба Святая Анна // *Океанология.* 1999. № 6. С. 903–911.
- Лисицын А.П.* Нерешенные проблемы океанологии Арктики // *Опыт системных океанологических исследований в Арктике / Под ред. А.П. Лисицына, М.Е. Виноградова, Е.А. Романкевича.* М.: Научный мир, 2001. С. 31–75.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Киселева Д.В.* Литогеохимия тонкозернистых алюмосиликокластических пород серебрянской серии венда Среднего Урала // *Геохимия.* 2011. № 10. С. 1032–1062.
- Маслов А.В., Шевченко В.П., Подковыров В.Н. и др.* Особенности распределения элементов-примесей и редкоземельных элементов в современных донных осадках нижнего течения р. Северной Двины и Белого моря // *Литология и полез. ископаемые.* 2014. № 6. С. 463–492.
- Митяев М.В., Герасимова М.В.* Сток воды, взвешенных веществ и интенсивность эрозии на Мурманском побережье // *Изв. РАН. Сер. географ.* 2018. № 1. С. 11–128.
- Новиков М.А., Жилин А.Ю.* Характер распределения тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря (по результатам статистического анализа) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле.* 2016. № 1. Вып. № 29. С. 78–88.
- Павлидис М.Ю.* Особенности распределения поверхностных осадков восточной части Баренцева моря // *Океанология.* 1995. Т. 35. № 4. С. 614–622.
- Политова Н.В., Новигатский А.Н., Козина Н.В., Тертугова С.А.* Мультидисциплинарные исследования в Баренцевом море в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология.* 2018. Т. 58. № 3. С. 534–536.
- Сорохтин Н.О., Никифоров С.Л., Кошель С.М., Козлов Н.Е.* Геодинамическая эволюция и морфоструктурный анализ западной части арктического шельфа России // *Вестник МГТУ.* 2016. Т. 19. № 1/1. С. 123–137.
- Столбов Н.М.* Архипелаг Земля Франца-Иосифа – геологический репер Баренцевоморской континентальной окраины / Автореф. дисс. ... кандидата геол.-мин. наук. СПб.: СПбГУ, 2005. 19 с.
- Тарасов Г.А.* Особенности распределения основных типов донных осадков // *Биогеоценозы гляциальных шельфов Западной Арктики.* Апатиты, 1996. С. 66–80.
- Тарасов Г.А., Погодина И.А., Хасанкаев В.Б. и др.* Процессы седиментации на гляциальных шельфах. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 473 с.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 376 с.
- Хасанкаев В.Б.* Изучение донного каменного материала как источника информации о составе коренных пород дна юго-восточной части Баренцева моря // *Литология и полез. ископаемые.* 1978. № 3. С. 118–120.
- Чернышева Е.А., Харин Г.С., Столбов П.М.* Новые данные по геохимии базальтов архипелага Земля Франца-Иосифа // *ДАН.* 2003. Т. 390. № 2. С. 238–241.
- Шевченко В.П., Виноградова А.А., Иванов Г.И. и др.* Распределение и состав аэрозолей Западной Арктики // *ДАН.* 1997. Т. 355. № 5. С. 673–676.
- Astakhov A.S., Bosin A.A., Kolesnik A.N., Obrezkova M.S.* Sediment geochemistry and diatom distribution in the Chukchi Sea: Application for bioproductivity and pale-

- oceanography // *Oceanography*. 2015. V. 28. № 3. P. 190–201.
- Bakke T., Breedveld G., Kællgvist T. et al.* Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av lassifisering av metaller og organiske miljøgifter i van og sedimenter // SFT Veiledning, 2007. 12 p. (in Norwegian).
- 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.
- Censi P., Incarbona A., Oliveri E. et al.* Yttrium and REE signature recognized in Central Mediterranean Sea (ODP Site 963) during the MIS 6–MIS 5 transition // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2010. V. 292. P. 201–210.
- Chaillou G., Anschutz P., Lavaux G., Blanc G.* Rare earth elements in the modern sediments of the Bay of Biscay (France) // *Mar. Chem.* 2006. V. 100. P. 39–52.
- Chen Z., Gao A., Liu Y. et al.* REE geochemistry of surface sediments in the Chukchi Sea // *Science in China. Series D: Earth Sciences*. 2003. V. 46. P. 603–611.
- Condie K.C.* Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // *Chem. Geol.* 1993. V. 104. P. 1–37.
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A.* The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1990. V. 97. P. 256–267.
- Cullers R.L.* Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // *Chem. Geol.* 2002. V. 191. P. 305–327.
- Cullers R.L.* The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. // *Chem. Geol.* 1995. V. 123. P. 107–131.
- Damiani D., Giorgetti G.* Provenance of glacial–marine sediments under the McMurdo/Ross Ice Shelf (Windless Bight, Antarctica): Heavy minerals and geochemical data // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2008. V. 260. P. 262–283.
- Dou Y., Yang S., Liu Z. et al.* Provenance discrimination of siliciclastic sediments in the middle Okinawa Trough since 30 ka: Constraints from rare earth element compositions // *Mar. Geol.* 2010. V. 275. P. 212–220.
- Douglas G., Palmer M., Caitcheon G.* The provenance of sediments in Moreton Bay, Australia: a synthesis of major, trace element and Sr–Nd–Pb isotopic geochemistry, modeling and landscape analysis // *Hydrobiologia*. 2003. V. 494. P. 145–152.
- Elverhøi A., Pfirman S.L., Solheim A., Larssen B.B.* Glaciomarine sedimentation in epicontinental seas exemplified by the northern Barents Sea // *Mar. Geol.* 1989. V. 85. P. 225–250.
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments* / Ed. D.R. Lentz. St. John's, Nfld.: Geological Association of Canada, 2003. GeoText 4. 184 p.
- Geology of Franz Josef Land* / Ed. V.D. Dibner. Oslo: Norsk Polarinstitut, 1998. 190 c.
- Gurevich V.J.* Recent sedimentogenesis and environment of the Arctic shelf of Western Eurasia. Oslo: Norsk Polarinstitut, 1995. 92 p.
- Ingram B.L., Lin J.C.* Geochemical tracers of sediment sources to San Francisco Bay // *Geology*. 2002. V. 30. P. 575–578.
- Levitani M.A., Kuptsov V.M., Romankevich E.A., Kondratenko A.V.* Some indication for Late Quaternary Pechora River discharge: results of vibrocorer studies in the southeastern Pechora Sea // *Int. J. Earth Sci.* 2000. V. 89. P. 533–540.
- Loring D.H., Naes K., Dahle S. et al.* Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia // *Mar. Geol.* 1995. V. 128. P. 153–167.
- Martinez N.C., Murray R.W., Dickens G.R., Kolling M.* Discrimination of sources of terrigenous sediment deposited in the central Arctic Ocean through the Cenozoic // *Paleoceanography*. 2009. V. 24. PA1210. <https://doi.org/10.1029/2007PA001567>
- McLennan S.M.* Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements* / Eds B.R. Lipin, G.A. McKay // *Reviews in Mineralogy*. 1989. V. 21. P. 169–200.
- 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., Taylor S.R., McCulloch M.T., Maynard J.B.* Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1990. V. 54. P. 2015–2050.
- Murdmaa I., Ivanova E., Duplessy J.-C. et al.* Facies system of the Eastern Barents Sea since the last glaciation to present // *Mar. Geol.* 2006. V. 230. P. 275–303.
- Nikiforov S., Koshel S.* Seabed morphology of Barents Sea // *Seabed Morphology of Arctic Russian Shelf*. N. Y.: Nova Science Publishers, Inc., 2010. P. 107–121.
- Rachold V.* Major, trace and Rare Earth Element geochemistry of suspended particulate material of East Siberian rivers draining to the Laptev Sea // *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History* / Eds H. Kassen, H.A. Bauch, I.A. Dmitrenko et al. Berlin: Springer, 1999. P. 199–222.
- Roy D.K., Roser B.P.* Climatic control on the composition of Carboniferous–Permian Gondwana sediments, Khalaspur basin, Bangladesh // *Gondwana Res.* 2013. V. 23. P. 1163–1171.
- Schoenborn W.A., Fedo C.M.* Provenance and paleoweathering reconstruction of the Neoproterozoic Johnnie Formation, southeastern California // *Chem. Geol.* 2011. V. 285. P. 231–255.
- Song Y.-H., Choi M.S.* REE geochemistry of fine-grained sediments from major rivers around the Yellow Sea // *Chem. Geol.* 2009. V. 266. P. 328–342.
- Vogt C., Knies J.* Sediment pathways in the western Barents Sea inferred from clay mineral assemblages in surface sediments // *Norwegian J. Geol.* 2009. V. 89. P. 41–55.
- 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.
- Wronkiewicz D.J., Condie K.C.* Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1987. V. 51. P. 2401–2416.

Rare and Trace Elements in Modern Bottom Sediments of the Barents Sea

A. V. Maslov^{1, #}, N. V. Politova^{2, ###}, N. V. Kozina^{2, ##}, V. P. Shevchenko^{2, ####}, T. N. Alexeeva²

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

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky prospekt 36, Moscow, 117997 Russia

[#]e-mail: amas2004@mail.ru

^{##}e-mail: politova@ocean.ru

^{###}e-mail: kozina_nina@bk.ru

^{####}e-mail: vshevch@ocean.ru

Received May 11, 2018; revised August 2, 2018; accepted July 22, 2019

The article presents a brief lithological description of the modern bottom sediments of the Barents Sea, collected in the 67th voyage of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” at the polygons: 1) “Pechora Sea”; 2) “Western slope of Kaninskoe shoal”; 3) “Central Barents Sea (Shtokman area)”; 4) “Russkaya Gavan’ fjord”; 5) “Medvezhinsky Trench”; 6) in the area to the south of Spitsbergen; 7) “Kola meridian”; 8) “Spitsbergen–Franz Josef Land archipelago”; 9) “Cambridge Strait”. The distribution of Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in samples of modern bottom sediments (pelitic, aleurite-pelitic and sandy-aleuritic-pelitic ooze) is compared with the background concentrations and contents of these elements in the Post-Archean Australian Shale (PAAS). The data obtained are consistent with the notion that the distribution of heavy metals and other elements in the bottom sediments is controlled primarily by the global geochemical background. The relationship of the Sc, V, Cr, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Th, U and rare-earth elements concentrations with content of fine pelite (< 0.001 mm) fraction and organic carbon (C_{org}) is considered. It was found that most of these elements are characterized by a moderate positive correlation with the amount of fine pelite fraction in samples. By the magnitude of the correlation coefficient with the C_{org} content, all elements are attributed into three groups: (1) with moderate positive correlation, (2) weak positive correlation, (3) practically not pronounced correlation. The distribution in the modern bottom sediments of the Barents Sea of the element-indicators of the source rocks composition (Sc, Th, Co, Cr, La and Sm), as well as of sum of rare earths, make it possible to consider that the majority of bottom sediments is mature in geochemical terms material, the sources of which were rocks of the Kola Peninsula and Spitsbergen (?). The bottom sediments of the Cambridge Strait are represented by geochemically less mature material, which, apparently, entered the sea as a result of erosion of the Franz Josef Land archipelago rocks.

Keywords: Barents Sea, modern bottom sediments, rare and trace elements.