

химически подвижных фаз). Показатель Ti/Zr, отражающий дальность переноса обломочного материала с аэрозолями, в исследуемой колонке выражен слабо, что указывает на приближенность терригенного источника. Увеличение значений терригенных индикаторов происходит синхронно с возрастанием доли более крупнозернистых осадков в периоды относительного похолодания. Вариация титанового модуля Ti/Al вполне закономерно находится в противофазе

с изменением Mn/Fe (показателем геохимически подвижных фаз).

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного задания, тема № 0149-2019-0007. Сбор материала в экспедиции проведен при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-27-00114-П по направлению «Взаимодействие геосфер и минеральные ресурсы Мирового океана», руководитель академик [А.П. Лисицын](#)).

9.5. Редкие и рассеянные элементы в поверхностных донных осадках Баренцева моря. Изотопный состав Nd, Pb и Sr

А.В. Маслов¹, Н.В. Политова², Н.В. Козина², А.Б. Кузнецов³, М.Д. Кравчишина²,
А.Н. Новигатский², В.П. Шевченко², Т.Н. Алексеева²

¹ Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

³ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург

В настоящем разделе представлена краткая литологическая характеристика поверхностных донных осадков Баренцева моря, отобранных в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» на полигонах: 1) Печорское море; 2) Западный склон Канинского мелководья; 3) Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский); 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 пробах поверхностных донных осадков (пелитовые, алеврито-пелитовые и песчано-алеврито-пелитовые илы, 34 пробы) в сравнении с фоновыми концентрациями и содержаниями указанных элементов в среднем постархейском 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 поверхностных донных отложений. По коэффициенту корреляции с C_{org} рассматриваемые элементы подразделяются на три группы: с умеренной положительной, слабой положительной и практически не выраженной связью с C_{org} . Особенности распределения в поверхностных донных осадках Баренцева моря редких земель и таких элементов, как 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, по-видимому, в результате размыва комплексов пород, слагающих архипелаг Земля Франца-Иосифа. Рассмотрены изотопные характеристики (ϵNd , $^{207}Pb/^{206}Pb$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$) 17 проб поверхностных донных осадков Баренцева моря. Показано, что основной вклад в формирование донных осадков центральных областей Баренцева моря вносят породы северо-европейской континентальной окраины, находящейся в зоне влияния Нордкапского (Атлантического) течения. Архипелаги и острова (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и др.), обрамляющие Баренцево море, поставляют относительно небольшое количество обломочного материала, который переносится арктическими течениями. Значения ϵNd и $^{87}Sr/^{86}Sr$ в донных осадках центральной части Баренцева моря заметно ниже, чем соответствующие характеристики инкорпорированного во льды осадочного материала, переносимого Трансполярным дрейфом. Это позволяет думать, что вклад такого материала в формирование поверхностных донных осадков Баренцева моря невелик.

Ключевые слова: Баренцево море, поверхностные донные осадки, редкие и рассеянные элементы, гранулометрический состав, геохимия, изотопный состав Nd, Pb и Sr.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(32)

Баренцево море – сравнительно мелководный эпиконтинентальный водоем Северного Ледовитого океана, имеющий хорошие связи с окружающими морями и Атлантическим океаном. Дно Баренцева моря имеет пересеченный рельеф, характеризующийся сочетанием изометричных или вытянутых подводных возвышений и разделяющих их желобов и впадин [Murdmaa et al., 2006; Левитан и др., 2007; Nikiforov, Koshel, 2010; Сорохтин и др., 2016]. Основными типами поверхностных донных осадков Баренцева моря являются, как известно [Кленова, 1960; Павлидис, 1994; Тарасов и др., 2000; Гуревич, 2002; Денисенко, 2013], пелитовые илы, занимающие более 50% его площади, а также песчаные алевриты, алевритовые пески и алевритовые пелиты, распространенные суммарно на 30–32% дна. Терригенный материал в акваторию Баренцева моря поступает в результате размыва дна подводных поднятий¹, береговой солифлюкции, абразии и ледниковой экзарации [Elverhøi et al., 1989; Левитан и др., 2007]. Источниками его является также 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]. Наиболее мощное из них – Нордкапское, входящее со стороны 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].

Водосбор Баренцева моря представлен различными по составу и возрасту комплексами пород [Геология четвертичных..., 1967; Геология СССР, 1970; Геологическое строение..., 1984; Геологиче-

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...».

ская карта..., 2001; Geology of..., 1998; Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005 и др.]. Кольский полуостров сложен в основном гранито-гнейсами архея. Вдоль северо-восточной его окраины расположена позднепротерозойская складчатая зона, включающая разнообразные метаосадочные образования. Хребет Пай-Хой, север Урала и юг Новоземельской области сложены палеозойскими осадочными, магматическими и метаморфическими комплексами. В строении архипелага Земля Франца-Иосифа принимают участие терригенные отложения среднего-верхнего триаса и юры. Широко распространены здесь юрские в верхнемеловые базальты и долериты, а также терригенные породы. Архипелаг Новая Земля является продолжением 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. Восточная зона Шпицбергена включает гренвилльский 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.

По данным [Murdmaa et al., 2006], голоценовые осадки центральной и восточной частей Баренцева моря содержат до 22–47% иллита. Количество хлорита и каолинита среди глинистых минералов варьирует от 29 до 65%, а смектит играет подчиненную роль. Результаты исследования пелитовой и несколько более крупной фракций осадков позволяют утверждать, что в эпоху дегляциации снижение вклада материала, поступавшего в результате таяния небольших ледников на северных архипелагах, компенсировалось привнесением тонкой алюмосиликокластики из отдаленных источников, что особенно характерно для южных районов Баренцева моря [Левитан и др., 2003; Murdmaa et al., 2006].

Отсутствие в голоценовых осадках свойственной подстилающим отложениям слоистости предполагает, что накопление их происходило преимущественно в результате осаждения по принципу «частица за частицей». В соответствии с распределением в голоценовых депрессионных отложениях Баренцева моря фораминифер, они 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). Слагающие данную фацию осадки находятся под влиянием вод Атлантики; 2) фация, сложенная чередованием интервалов с многочисленными фораминиферами и почти лишенными их (последние возможно являются следствием опреснения). Осадки этой фации присутствуют в трогах 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). Эта фация типична для глубоководных равнин и поднятий.

В целом накопление тонкозернистых голоценовых осадков контролируется такими факторами, как поступление силикокластики с тальми водами ледников, привнос ее дрейфующими льдами, речными артериями и др. Определенный вклад в формирование поверхностных донных осадков Баренцева моря вносят и биогенные процессы [Murdmaa et al., 2006].

Сведений о распределении широкого спектра редких и рассеянных элементов в поверхностных донных отложениях Баренцева моря до настоящего времени все еще недостаточно. Об этом очень точно свидетельствует цитата из 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». Нами проанализирована систематика редких и рассеянных элементов² и изотопный состав Sr, Pb и Nd в пробах поверхностных донных осадков Баренцева моря (исследованы только пелитовые, алевроито-пелитовые и песчано-алеврито-пелитовые илы, всего 41 проба), отобранных дночерпателем в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 2016 г.) [Политова и др., 2018] (рис. 9.5.1). Рассмотрена также корреляция концентраций ряда элементов-примесей с содержанием в осадках пелитовой фракции и $C_{орг}$.

Определение содержаний элементов-примесей проведено методом ICP-MS на масс-спектрометре ELAN-9000 в ИГГ УРО РАН (аналитики – Д.В. Киселева, Н.В. Чередниченко и Л.К. Дерюгина) по методике, близкой к описанной в работе [Маслов и др., 2011]. Перед анализом пробы не подвергались предварительной обработке. Пределы обнаружения редких, редкоземельных и высокозарядных элементов

составляли от 0.005 до 0.1 г/г при точности анализа 3–7 отн. %. Гранулометрический комбинированный анализ выполнен в ИО РАН. Содержание $C_{орг}$ установлено 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 . Подготовка образцов для определения изотопного состава Sr, Pb и Nd проведена в соответствии с методикой, описанной в работах [Кузнецов и др., 2005; Горохов и др., 2007]. Изотопный анализ выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). Точность определения отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ ($\pm 0.002\%$), $^{143}Nd/^{144}Nd$ ($\pm 0.004\%$) и $^{206}Pb/^{204}Pb$ ($\pm 0.1\%$) контролировалась путем многократного измерения соответствующих стандартов SRM-987, JNdi-1 и BCR-1.

Обсуждение полученных нами результатов сгруппировано далее по ряду полигонов: 1) Печорское море (ст. 5407, 5408); 2) Канинское мелководье (ст. 5411); 3) Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский) (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) Проллив Кембридж (окрестности архипелага Земля Франца-Иосифа) (ст. 5453–5456). Краткая литологическая характеристика для каждого из указанных полигонов без определенной привязки к каким-либо фациальным схемам приведена ниже.

На полигоне «Печорское море» поверхностные донные образования представлены в верхней (0–1 см) части окисленными песчано-алеврито-пелитовыми илами³ оливково-коричневого (2.5Y/4/3) или темно-серо-коричневого (2.5Y/4/2) цвета. Ниже присутствуют алевроито-пелитовые илы насыщенного темно-зеленовато-серого (Gley1/3/10Y) цвета с примесью гравийного и галечного материала, а также обломков раковин. Наблюдается большое количество полихет и их чехлов, а иногда – ожелезненные пятна, стяжения, трубки и корки. Содержание пелитовой фракции в пробах данного полигона варьирует от 7 до 23%.

На полигоне «Канинское мелководье» представлены пелитовые илы с примесью раковинного материала (<2%) и большим количеством полихет и их чехлов. Верхний слой (0–2 см) окисленный, оливково-коричневого (2.5Y/4/4) цвета, обводненный, нижний имеет темно-оливково-серый (5Y/3/2) цвет.

² Далее в тексте как синонимы этого термина используются также термины «элементы-примеси», «малые элементы» и «микроэлементы».

³ Здесь и далее типы осадков даны в соответствии с результатами гранулометрического анализа слева направо в сторону увеличения содержаний гранулометрических фракций.

Для Центрально-Баренцевоморского (Штокмановского) полигона характерны пелитовые и алеврито-пелитовые илы. 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 железненных. Кроме того встречены обломки раковин (<3%). Верхний слой осадка (0–1 см) окисленный, оливково-коричневого (2.5Y/4/3), оливково-серого (5Y/4/2) или насыщенного темно-серо-коричневого (5Y/3/2) цвета, обводненный. Нижний слой – восстановленный пелитовый или песчано-алеврито-пелитовый ил насыщенного темно-зеленовато-серого (Gley1/3/10Y) или темно-серого (2.5Y/4/1) цвета с гидротроилитовыми примазками, слоями и иногда примесью гравийного и галечного материала. Алеврито-пелитовые илы имеют насыщенный темно-серо-коричневый (5Y/3/2) цвет и содержат примесь

большого количества преимущественно окатанного и хорошо окатанного гравийного, галечного и валунного материала. В них также отмечено небольшое количество раковинного детрита (<3%), полихет и их чехлов. Содержание пелитовой фракции в пробах данного полигона составляет от 6 до 56%.

На полигоне «Русская Гавань» (Северный остров архипелага Новая Земля) опробованы пелитовые, алеврито-пелитовые и песчано-алеврито-пелитовые илы. В первых верхний слой (0–1 см) представлен пелитовым илом, остальная часть осадка – алеврито-пелитовым илом серого (5Y/5/1) цвета, однородным, мягким и очень пластичным на ощупь. В осадке наблюдаются единичные раковины и гидротроилитовые примазки. Песчано-алеврито-пелитовые илы имеют темно-зеленовато-серый (Gley1/4/10Y) или темно-серый (5Y/4/1) цвет и содержат примесь хорошо окатанного гравийного, галечного и валунно-

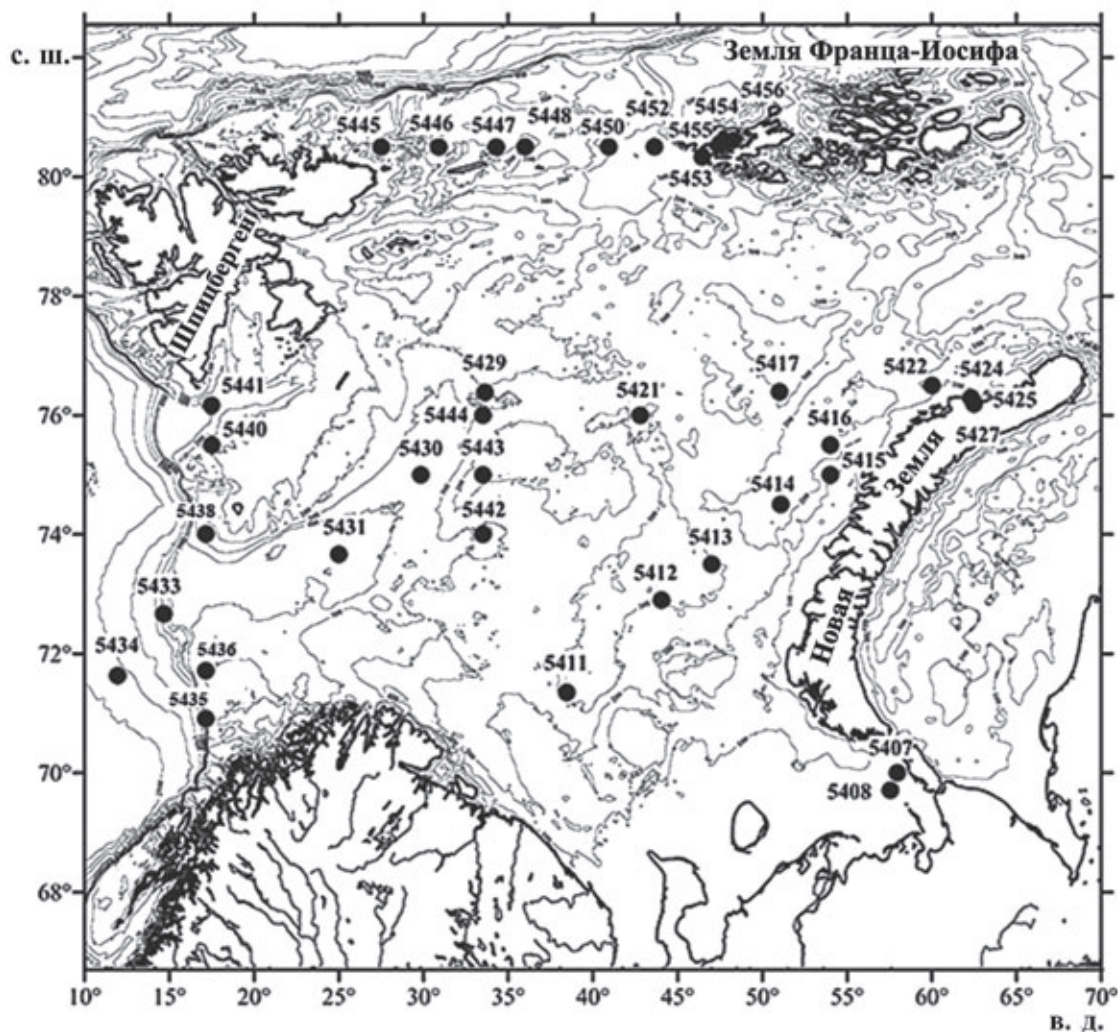


Рис. 9.5.1. Схема расположения станций 67 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» [Политова и др., 2018], на которых отобраны пробы поверхностных донных осадков, рассматриваемые в настоящем разделе

го материала. В осадках присутствует также примесь раковинного материала, наблюдаются полихеты и их чехлы. Содержание пелитовой фракции в пробах изменяется от 23 до 49%.

На полигоне «Медвежинский желоб» отобраны песчано-алевроито-пелитовые, алевроито-пелитовые и собственно пелитовые илы. Верхний слой (0–1 см) в первых двух типах окисленный, оливково-серого (5Y/4/2) цвета, имеет жидкую консистенцию, в нем наблюдаются полихеты и их чехлы. Нижний слой (1–8 или 1–10 см) представлен плотным и вязким на ощупь песчано-алевроито-пелитовым или алевроито-пелитовым илом темно-серого (5Y/4/1) цвета. Здесь можно видеть гидротроилитовые прослои, стяжения и пятна, а также ожелезненные стяжения, трубки и корки. В осадке присутствует большое количество полихет и их чехлов, некоторые из которых покрыты ожелезненной коркой. В алевроито-пелитовых илах верхний слой (0–1 см) окислен и имеет оливково-серый (5Y/4/2) цвет. Консистенция его жидкая. В нем наблюдается большое количество полихет и их чехлов. Следующий слой (1–10 см) представлен алевроито-пелитовым илом темно-серого (5Y/4/1) цвета, плотным и вязким на ощупь. В нем прослеживаются гидротроилитовые прослои и стяжения, а также ожелезненные стяжения и трубки. Характерно присутствие большого количества полихет и их чехлов, некоторые из которых покрыты ожелезненной коркой. В пелитовых илах верхний слой (0–1 см) окислен и имеет темно-серо-коричневый (2.5Y/4/2) цвет. Консистенция его жидкая. В нем наблюдается небольшое количество полихет и их чехлов, ожелезненных стяжений, трубок и корок. Ниже (1–10 см) представлены алевроито-пелитовые илы, подобные нижним слоям двух первых типов илов. Содержание пелитовой фракции в пробах данного полигона составляет от 19 до 58%.

К югу от Шпицбергена на меридиональном разрезе «Норвегия – Шпицберген» присутствуют илистые и заиленные пески, гравийно-песчано-пелитовые, песчано-алевроито-пелитовые и собственно пелитовые илы. Илистые пески содержат примесь гравийного, галечного и валунного материала, обломков и целых раковин. Верхний слой (0–1 см) в них окисленный, оливково-серого (5Y/4/2) цвета, нижний – восстановленный, серого (5Y/5/1) цвета. Заиленные пески имеют темно-серо-коричневый (2.5Y/4/2) или оливково-серый (5Y/4/2) цвет. Для них характерна небольшая примесь гравийного, галечного и раковинного материала (целые створки раковин и их детрит). Верхний слой (0–2 см) окисленный, темно-серо-коричневого (2.5Y/4/2) цвета, нижний – восстановленный, насыщенного

темно-зеленовато-серого (Gley1/3/10Y) цвета. Гравийно-песчано-пелитовые илы окислены и имеют темно-серо-коричневый (2.5Y/4/2) цвет. Для них свойственна небольшая примесь галечного материала и многочисленные спиккулы губок. Песчано-алевроито-пелитовые илы обладают оливково-серым (5Y/4/2) цветом. Они содержат примесь преимущественно неокатанного гравийного и галечного материала, полихеты и их чехлы. В осадке присутствуют также целые створки раковин (0.5–1.5 см) и их детрит. Верхний слой (0–1 см) пелитовых илов окислен, имеет темно-серо-коричневый (2.5Y/4/2) цвет и жидкую консистенцию. В нем наблюдается небольшое количество полихет и их чехлов. Ниже (1–10 см) илы характеризуются темно-зелено-серым (Gley1/4/5GY) цветом. На ощупь они представляются вязкими и маслянистыми. В них присутствует гравийный и галечный материал, а также гидротроилитовые примазки. В пробах, отобранных к югу от Шпицбергена, содержание пелитовой фракции меняется от 9 до 49%.

Пробы пелитовых и алевроито-пелитовых, а также песчано-алевроито-пелитовых илов отобраны на полигоне «Кольский меридиан». В первых верхний слой (0–2 см) окислен, имеет оливково-серый (5Y/4/2) цвет и жидкую консистенцию; в нем наблюдается большое количество полихет и их чехлов. Ниже (2–8 см) присутствуют алевроито-пелитовые илы темно-серого (5G/4/1) или темно-серо-коричневого (2.5Y/4/2) цвета, плотные на ощупь. В них содержатся гидротроилитовые примазки и пятна, а также ожелезненные пятна, стяжения и трубки. Верхний слой (0–1 см) алевроито-пелитовых илов окислен, имеет жидкую консистенцию и большое количество полихет и их чехлов. Ниже (1–8 см) наблюдается вязкий на ощупь алевроито-пелитовый ил темно-зелено-серого (Gley1/4/10Y) цвета с примесью гравийно-галечного материала и единичных раковин. Здесь же присутствуют гидротроилитовые примазки и пятна, а также ожелезненные пятна, стяжения и трубки. Песчано-алевроито-пелитовые илы обладают оливково-серым (5Y/4/2) цветом и содержат примесь окатанного и умеренно окатанного гравийно-галечного материала и обломков раковин (<1%). В них наблюдается большое количество полихет и их чехлов, многие из которых ожелезнены. Присутствуют здесь также Fe-Mn корки и трубки. Поверхностные донные отложения этого полигона содержат от 18 до 50% пелитовой фракции.

Для полигона «Шпицберген – архипелаг Земля Франца-Иосифа» характерны преимущественно песчано-алевроито-пелитовые, пелитовые и алевроито-пелитовые илы. В первых наблюдается примесь

неокатанного гравийно-галечно-валунного материала и небольшое количество обломков раковин (<3%), встречаются Fe–Mn корки и трубки. Верхний (0–1...2 см) слой их – окисленный, темно-серо-коричневого цвета (2.5Y/4/2 или 10YR/3/2), ниже представлены восстановленные разности зелено-серого (Gley1/4/10Y) или серого (5Y/5/1) цветов. В осадке присутствуют мшанки, полихеты и их чехлы. Верхний слой (0–2 см) пелитовых илов окислен и имеет насыщенный темно-серо-коричневый (10YR/3/2) цвет и жидкую консистенцию. В осадках наблюдается небольшая примесь гравийного и галечного материала, полихет и их чехлов, а также редких раковин. Ниже (2–8 см) присутствуют серые (5Y/5/1) алеврито-пелитовые илы или темно-серые (5Y/4/1) пелитовые илы также с примесью гравийного и галечного материала и, редко, обломков раковин (<1%); наблюдаются ожелезненные пятна, стяжения и трубки. Осадок вязкий и плотный на ощупь. Верхний слой (0–2 см) алеврито-пелитовых илов также окислен. Цвет его темно-серо-коричневый (10YR/4/2). Консистенция жидкая. Присутствует небольшая примесь гравийного и галечного материала, полихет и их ожелезненных чехлов. Ниже (2–8 см) наблюдаются вязкие на ощупь алеврито-пелитовые илы темно-серо-коричневого (2.5Y/4/2) цвета с ожелезненными пятнами, стяжениями и трубками. Содержание пелитовой фракции в пробах полигона варьирует от 3 до 49%.

В проливе Кембридж верхний слой (0–1 см) осадка представлен окисленным пелитовым илом насыщенного темно-серо-коричневого (10YR/3/2 или 10YR/4/2) цвета и жидкой консистенции. В пробах наблюдается переменное количество полихет и их ожелезненных чехлов. Ниже (1–8 см) присутствуют пелитовые или алеврито-пелитовые илы насыщенного темно-зелено-серого (Gley1/3/10Y или Gley1/4/10Y) цвета с небольшой примесью гравийного и галечного материала, а также обломков раковин (<1...2%). Здесь же наблюдаются ожелезненные пятна, стяжения и трубки. На ощупь осадок может быть вязким и плотным или же рыхлым, мягким и обводненным. Содержание пелитовой фракции в современных донных отложениях из пролива Кембридж изменяется от 44 до 60%.

Распределение различных гранулометрических фракций в осадках перечисленных полигонов показано в таблице 9.5.1. Из анализа приведенных в ней данных следует, что содержание пелитовой (<0.001 мм) фракции в пробах варьирует от 2.8% до ~60%. Среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в исследованной нами выборке проб составляет 1.12% (минимум – 0.13%, максимум 2.62%) (табл. 9.5.2). Содержание элемен-

тов-примесей в ряде проб, использованных при подготовке данного раздела, приведено в таблице 9.5.3.

Как было отмечено выше, в настоящее время существуют только более или менее определенные данные по распределению в поверхностных донных осадках Баренцева моря Cu, Ni, Zn, Pb, Co, Cr и Hg [Новиков, Жилин, 2016]. Они основаны на материалах о содержании перечисленных металлов в пробах, отобранных с 1998 по 2015 гг. на значительном числе станций. При этом в качестве регионального фона названными авторами использована шкала Норвежского государственного агентства по контролю загрязнения окружающей среды для прибрежной зоны Норвежского моря [Bakke et al., 2007], однако отмечено, что приведенные в ней значения содержаний Ni и Cr для Баренцева моря нуждаются в корректировке.

Выяснено, что относительно высокие концентрации Cr и Ni в донных отложениях достаточно равномерно распределены по всей акватории моря [Новиков, Жилин, 2016]. Повышенное количество тяжелых металлов в поверхностных донных осадках характерно для склонов Медвежинской банки, районов Медвежинского и Центрального желобов, Рыбачьей 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 в 1.78, 1.15, 1.21 и 1.73 раза выше, чем в донных осадках остальной акватории Баренцева моря. По представлениям [Новиков, Жилин, 2016], это указывает на техногенное загрязнение осадков прибрежной полосы за счет материкового стока с северо-западной части Кольского п-ова.

Основываясь на значениях Cu/Ni в пробах донных осадков, атмосферных выбросах металлургических комбинатов Кольского п-ова, покровных образованиях нагорных плато этого же региона, атмосферных выпадениях и пробах воды Баренцева моря сделан вывод, что донные осадки обогащены Ni и обеднены Co относительно состава терригенного материала. В целом, авторы работы [Новиков, Жилин, 2016] пришли к заключению, что современный уровень содержания меди, никеля и кобальта в донных отложениях в пределах основной части акватории моря не связан с загрязнением в результате деятельности промышленных предприятий Кольского полуострова, а повышенные содержания Co и Pb в донных осадках, отобранных вдоль «Кольского меридиана», является результатом приноса указанных металлов водами Нордкапского течения.

Таблица 9.5.1. Результаты гранулометрического комбинированного анализа проб поверхностных 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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5407	21.57	15.90	-	-	-	-	-	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	0.42	3.11	18.96	33.67	9.51	3.14	7.73	23.29
5411	10.98	57.55	3.92	-	-	-	-	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	0.49	1.23	5.17	3.82	1.85	10.14	21.39	55.54
5414	16.08	23.59	-	-	-	0.93	0.50	0.75	0.68	3.86	23.20	26.31	12.38	5.96	8.98	16.45
5415	11.17	57.25	-	-	1.88	4.66	1.79	2.95	0.63	0.90	2.51	1.97	2.86	8.96	22.64	48.25
5416	17.09	35.66	43.01	26.62	2.05	1.76	0.53	0.35	0.12	0.23	2.93	4.74	6.44	1.32	3.89	6.01
5417	7.88	58.65	-	-	0.63	-	-	-	0.25	0.13	1.02	1.27	6.98	12.40	24.18	53.14
5421	13.65	48.12	-	-	5.57	-	1.17	1.03	0.37	0.22	0.15	1.90	1.25	15.09	23.51	49.74
5422	16.95	32.19	-	-	7.14	6.43	0.18	0.29	0.18	0.41	2.77	11.15	3.13	11.50	8.08	48.74
5424	16.82	35.22	-	-	-	-	-	-	0.06	0.06	0.02	0.18	5.70	22.77	25.39	45.82
5427	8.21	31.05	20.32	1.49	3.57	2.64	0.99	1.03	1.04	2.03	10.05	7.03	3.73	8.26	14.78	23.04
5429	12.38	51.72	-	-	-	0.16	0.08	0.15	0.07	0.73	17.37	13.97	1.94	8.63	14.01	42.89
5430	8.92	67.36	-	-	-	-	-	-	0.11	0.34	2.58	2.57	3.48	17.45	20.81	52.66
5431	8.58	52.03	-	-	-	-	-	-	0.12	0.06	1.17	3.15	4.78	12.17	20.19	58.36
5433	17.63	27.62	-	3.01	2.84	1.93	1.47	2.21	1.25	3.97	38.57	8.17	2.21	6.13	9.05	19.19
5434	10.49	53.56	-	-	-	-	-	0.48	0.57	1.72	4.29	1.72	6.58	11.86	27.46	45.32
5435	14.66	30.73	-	4.84	3.14	1.02	1.36	6.68	10.71	0.15	24.35	4.84	2.59	7.18	11.18	21.96
5436	15.93	27.42	-	-	-	2.13	1.82	3.58	2.07	10.11	50.61	1.57	4.14	5.31	6.58	12.08
5438	18.86	27.62	-	-	0.90	0.53	0.48	0.74	0.73	5.14	53.67	3.55	3.61	4.05	10.57	16.03
5440	16.86	38.75	68.41	-	-	-	0.42	0.18	0.24	1.60	6.35	5.34	2.79	2.01	4.03	8.63
5441	11.64	56.25	-	-	-	0.07	0.26	0.25	0.17	0.26	0.96	2.66	2.49	14.25	29.19	49.44
5442	11.20	54.00	-	-	-	-	-	-	0.09	0.27	9.11	9.38	6.52	10.63	13.84	50.16

Продолжение таблицы 9.5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5443	20.49	25.38	-	1.07	2.88	4.88	2.29	6.54	4.20	8.93	27.43	11.76	4.05	3.61	4.69	17.67
5444	7.69	53.42	-	-	-	2.60	0.26	0.39	0.26	1.43	6.63	7.54	13.39	11.12	21.52	34.86
5445	15.12	40.49	25.60	48.41	-	1.79	0.33	0.46	0.26	0.46	2.78	8.99	5.89	0.97	1.22	2.84
5446	11.35	42.48	-	-	1.32	0.09	0.11	0.70	1.50	4.76	9.16	10.57	10.22	7.14	9.60	44.83
5447	12.50	38.88	10.80	-	5.84	6.48	3.12	4.00	3.13	8.08	14.32	7.12	5.84	6.48	8.72	16.07
5448	7.88	68.26	-	-	-	-	-	-	0.09	0.10	0.38	0.51	1.65	19.29	28.68	49.3
5450	11.99	50.18	-	-	-	-	-	-	0.25	0.27	7.76	11.51	12.58	7.42	13.09	47.12
5453	9.37	60.86	-	-	-	1.17	-	0.32	0.07	0.21	1.50	5.55	9.93	12.60	24.87	43.78
5454	7.33	69.64	-	-	-	-	0.27	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	0.23	0.06	0.11	0.82	1.05	4.32	14.6	19.16	59.53
5456	11.48	58.08	-	-	-	-	0.17	0.35	0.09	0.16	0.08	1.83	10.37	13.85	20.47	52.63

Таблица 9.5.2. Содержание $C_{орг}$ в поверхностных донных осадках Баренцева моря

Полигон	Станция	$C_{орг}$, %	Полигон	Станция	$C_{орг}$, %	
«Печорское море»	5407	0.200	Норвегия– Шпицберген (район к югу от Шпицбергена)	5436	0.257	
	5408	0.870		5437	0.226	
«Канинское мелководье»	5411	2.617		5438	0.575	
«Центрально-Баренцевский (Штокмановский)»	5412	1.517		5439	0.547	
	5413	2.050		5440	1.101	
	5414	0.652		5441	1.842	
	5415	2.207		5442	1.547	
	5416	1.122		«Кольский меридиан»	5443	0.400
	5417	2.012		5444	1.777	
	5421	2.599		Широтный разрез «Шпицберген– архипелаг ЗФИ»	5445	0.879
5422	1.035	5446	0.845			
«Залив Русская Гавань»	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		
	5434	0.717	«Пролив Кембридж»	5456	1.497	
Широтный разрез	5435	0.480				

Предполагается, что распределение тяжелых металлов в поверхностных донных отложениях Баренцева моря контролируется как глобальным геохимическим фоном, так и региональными факторами. Фон формируется в основном за счет приноса растворенного и взвешенного литогенного материала со стороны Атлантического океана [Новиков, Жилин, 2016].

В целях сопоставления полученных нами новых данных с материалами, приведенными в работе [Новиков, Жилин, 2016], мы приняли за фоновые те концентрации перечисленных элементов, что приведены в публикации [Bakke et al., 2007]. Средние абсолютные содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в СДО различных полигонов и их соотношение с фоновыми концентрациями приведены в табл. 9.5.4. Из рассмотрения этих данных следует, что в Печорском море содержание всех перечисленных металлов существенно ниже фоновых. В осадках Канинского мелководья концентрации Cu, Zn, Cd и Pb составляют от 0.44 до 0.67 от фоновых значений. Содержание Ni здесь более чем в 2 раза выше фонового, а Cr примерно с ним сопоставимо. На Центрально-Баренцево-

морском (Штокмановском) полигоне содержания Cr и Ni несколько выше фона, тогда как концентрации остальных элементов заметно ниже. Примерно такая же ситуация характерна для донных осадков полигона «Залив Русская Гавань». В поверхностных донных осадках полигона «Медвежинский желоб» несколько превышает фон только средняя концентрация Ni.

К югу от Шпицбергена донные отложения содержат все перечисленные элементы в концентрациях ниже или близких к фоновым. На полигоне «Кольский меридиан» средние содержания в донных осадках никеля и хрома составляют по нашим данным, соответственно, 1.03 ± 0.52 и 0.98 ± 0.50 от фонового, тогда как средние содержания остальных из рассматриваемых нами элементов несколько ниже фоновых концентраций. Поверхностные донные осадки разреза «Шпицберген – архипелаг ЗФИ» характеризуются несколько большим, чем фоновое, средним содержанием никеля. Средняя концентрация хрома в них сопоставима с фоновой ($\sim 73 \pm 15$ и 70 г/т), а средние содержания Cu, Zn, Cd и Pb ниже пороговых значений, разделяющих фоновые и аномальные концентрации.

Таблица 9.5.3. Содержание редких и рассеянных элементов в пробах поверхностных донных осадков Баренцева моря, отобранных в рейсе 67 НИС «Академик Мстислав Келдыш», г/т

Компонент	Проба																				
	5407	5408	5411	5412	5413	5413-2	5414	5415	5416	5417	5421	5421-3	5421-5	5422	5424	5427	5429	5430	5431	5433	5434
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Li	7.53	6.29	26.79	12.30	16.41	33.02	6.89	32.45	22.47	24.39	29.27	29.55	30.06	16.88	30.15	25.96	19.80	21.18	25.53	11.74	12.34
Sc	4.27	3.37	11.18	8.22	9.57	13.49	5.24	13.63	9.06	13.66	12.63	14.09	15.04	6.72	17.26	11.77	10.43	10.34	12.05	7.31	16.22
V	44.73	37.10	183.79	110.24	150.35	206.23	49.20	264.96	128.50	248.30	285.78	299.79	301.25	126.35	149.98	151.25	14886	157.25	157.49	64.19	93.77
Cr	35.82	33.14	76.81	49.75	63.68	116.16	31.56	106.48	71.50	85.59	92.45	97.19	97.63	79.97	84.02	78.94	63.37	86.56	81.85	43.98	45.75
Co	4.30	4.42	10.00	7.29	9.06	16.11	4.67	12.31	10.16	12.89	11.99	12.60	12.75	10.33	15.39	15.42	9.28	11.72	12.96	7.95	16.60
Ni	9.74	9.63	65.43	39.84	34.97	52.15	13.12	50.15	36.36	43.67	42.56	44.81	45.59	36.17	34.21	54.58	2736	44.27	38.68	18.79	38.11
Cu	6.84	8.39	23.62	16.07	21.76	31.48	10.65	28.45	19.02	25.92	29.58	30.59	31.45	23.24	33.52	25.08	18.62	24.06	23.40	12.79	27.24
Zn	18.40	23.19	65.46	41.12	54.87	102.65	58.64	83.71	62.58	74.50	82.26	84.96	85.39	70.64	85.37	90.37	57.47	67.67	73.64	33.93	57.18
Ga	5.85	6.44	12.97	10.39	12.55	21.05	8.46	16.32	13.03	15.77	16.12	17.07	17.07	13.01	19.98	15.09	13.51	14.48	16.29	9.97	10.66
Rb	38.32	41.03	63.44	63.95	74.85	57.69	57.07	91.81	68.70	84.17	89.87	93.83	92.92	48.94	100.01	82.41	74.09	85.69	83.65	54.62	61.62
Sr	134.97	172.90	164.82	149.59	162.85	89.82	179.39	186.11	143.00	150.29	185.17	191.22	192.82	94.29	140.68	413.72	155.52	151.02	134.13	219.84	569.61
Y	6.84	8.03	13.47	9.36	11.82	11.96	10.87	16.30	12.56	13.83	14.67	14.64	15.20	7.84	14.97	12.22	12.29	12.81	12.73	11.14	12.96
Zr	61.79	66.61	71.34	59.32	71.89	128.11	67.99	86.98	84.74	82.96	78.72	81.50	82.61	107.77	115.75	72.37	76.03	78.00	86.78	61.57	49.35
Nb	4.64	6.02	7.77	6.18	7.65	11.71	6.72	8.28	7.40	9.03	8.94	9.23	9.49	9.02	8.15	7.18	8.08	9.04	10.30	6.49	8.13
Mo	0.47	0.38	0.92	0.74	0.80	1.31	0.32	1.34	0.94	3.23	1.42	1.40	1.46	1.55	2.32	0.89	1.43	1.43	0.79	0.31	0.81
Cs	1.13	0.95	4.68	2.86	3.84	6.25	1.80	5.67	3.54	4.67	5.12	5.10	5.20	3.18	5.19	5.12	3.56	5.10	4.66	1.87	3.28
Ba	382.74	452.73	315.09	410.11	425.79	350.76	609.11	377.03	469.77	370.04	356.46	361.43	373.37	353.75	726.72	350.03	455.11	397.83	381.66	437.18	385.47
La	11.63	13.78	20.00	16.47	21.85	13.80	20.17	23.32	19.32	23.72	24.77	24.31	24.78	10.59	23.62	18.90	21.63	23.84	22.36	15.62	18.48
Ce	24.27	28.71	41.12	34.23	44.92	30.76	41.21	47.57	39.92	48.21	50.13	49.95	50.45	20.59	49.32	38.34	44.34	49.79	47.64	32.75	36.28
Pr	2.69	3.14	4.77	3.84	4.98	3.76	4.64	5.57	4.58	5.40	5.56	5.53	5.63	2.58	5.76	4.56	4.88	5.40	5.08	3.73	4.34
Nd	10.29	11.81	18.06	14.42	18.57	14.71	17.30	21.04	17.63	20.09	20.71	20.72	20.78	9.80	22.37	17.57	18.35	20.04	18.89	14.42	16.62
Sm	1.90	2.19	3.36	2.68	3.43	3.03	3.27	4.16	3.33	3.73	3.83	3.94	3.89	1.94	4.42	3.37	3.36	3.72	3.55	2.71	3.26
Eu	0.52	0.58	0.80	0.73	0.89	0.73	0.95	1.01	0.84	0.91	0.89	0.95	0.91	0.52	1.13	0.84	0.82	0.93	0.83	0.75	0.85
Gd	1.79	2.02	3.29	2.93	3.69	3.10	3.57	4.09	3.19	3.78	3.82	3.94	3.90	2.02	4.28	3.34	3.26	4.11	3.44	2.74	3.84
Tb	0.24	0.28	0.45	0.34	0.45	0.39	0.42	0.53	0.42	0.49	0.49	0.49	0.49	0.27	0.53	0.40	0.43	0.49	0.44	0.37	0.46
Dy	1.32	1.52	2.52	1.80	2.31	2.19	2.16	3.01	2.39	2.60	2.70	2.76	2.74	1.45	2.84	2.15	2.29	2.62	2.37	2.08	2.43
Ho	0.26	0.30	0.49	0.36	0.44	0.44	0.42	0.60	0.46	0.50	0.52	0.52	0.55	0.29	0.54	0.42	0.45	0.49	0.45	0.41	0.46

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Er	0.78	0.87	0.87	1.45	1.10	1.32	1.36	1.23	1.77	1.38	1.47	1.54	1.53	1.59	0.87	1.68	1.24	1.32	1.46	1.35	1.22	1.37
Tm	0.11	0.13	0.13	0.21	0.15	0.20	0.22	0.18	0.25	0.20	0.22	0.22	0.23	0.23	0.13	0.25	0.19	0.19	0.21	0.20	0.18	0.19
Yb	0.76	0.85	0.85	1.42	1.11	1.30	1.51	1.23	1.69	1.40	1.41	1.37	1.48	1.45	0.94	1.79	1.33	1.24	1.46	1.31	1.22	1.24
Lu	0.11	0.12	0.12	0.21	0.14	0.19	0.23	0.18	0.25	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.14	0.27	0.20	0.19	0.21	0.19	0.17	0.17
Hf	1.54	1.70	1.70	1.80	1.59	1.94	3.07	1.88	2.24	2.19	2.09	1.86	2.00	2.01	2.72	2.75	1.66	1.95	2.06	2.14	1.61	1.23
Pb	7.10	7.62	7.62	16.77	13.07	15.67	1536	10.75	17.07	12.51	18.25	19.04	20.89	20.85	13.19	10.83	12.71	18.47	23.43	19.78	10.57	21.13
Th	2.28	2.62	2.62	5.89	5.21	5.53	4.79	4.26	6.18	4.60	5.95	6.20	6.40	6.49	2.58	6.53	5.10	5.40	6.62	5.88	3.45	4.32
U	0.68	0.84	0.84	1.76	1.36	1.67	2.10	1.41	2.19	1.79	2.03	1.87	1.99	1.97	2.09	2.26	1.68	1.68	1.98	1.75	0.97	1.07

Ком- понент	Пробы																					
	5435	5436	5438	5440	5441	5442	5443	5444	5445	5446	5447	5448	5450	5452	5453	5453-2	5453-7	5454	5455	5456		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Li	9.74	9.86	13.71	19.92	25.90	25.84	9.04	28.11	23.69	32.11	21.44	30.62	27.26	39.55	20.83	16.01	23.13	31.53	18.74	21.82	21.82	
Sc	8.87	5.92	4.08	6.81	10.73	9.46	4.63	9.01	10.26	10.27	15.26	15.24	9.80	15.47	20.32	19.83	23.06	24.41	21.81	22.77	22.77	
V	59.99	53.66	51.15	87.92	173.66	137.75	57.99	188.48	118.30	147.97	144.22	270.10	156.25	374.74	320.98	281.80	321.67	340.95	328.26	333.49	333.49	
Cr	40.57	42.23	29.98	45.10	72.51	77.02	30.22	98.96	62.94	65.92	59.60	85.06	67.42	96.42	92.91	77.86	88.11	88.61	86.17	93.22	93.22	
Co	13.56	7.96	5.24	6.98	9.97	10.82	4.67	12.53	9.90	10.69	14.63	30.89	14.19	27.28	32.62	29.10	32.93	35.84	35.96	37.88	37.88	
Ni	35.41	20.46	15.97	25.12	32.88	33.14	14.30	45.43	26.19	27.28	31.22	55.67	39.78	59.20	53.48	48.17	53.58	61.84	61.81	61.05	61.05	
Cu	14.80	10.21	7.74	12.93	21.86	21.59	7.00	29.56	17.80	17.69	17.32	26.09	20.39	36.84	68.69	62.00	67.64	88.27	87.87	90.53	90.53	
Zn	53.63	29.57	33.79	49.52	60.12	64.80	28.01	78.35	62.23	69.71	61.71	92.01	61.25	99.92	93.91	83.54	95.64	103.54	98.67	99.29	99.29	
Ga	8.10	8.28	5.72	8.73	14.67	14.46	6.71	17.22	16.37	16.84	13.01	18.26	13.56	19.02	17.58	15.93	17.65	18.34	17.81	18.22	18.22	
Rb	43.60	47.59	31.04	45.90	84.91	38.76	44.47	46.29	135.67	139.15	89.46	106.85	78.69	90.82	58.49	57.96	57.70	57.60	54.27	53.56	53.56	
Sr	731.33	284.81	184.83	416.73	119.98	162.35	115.25	92.78	163.40	166.55	203.45	168.09	142.15	155.18	163.01	160.35	162.64	193.88	183.80	165.27	165.27	
Y	10.64	10.37	7.29	10.71	15.42	11.00	8.37	6.94	13.30	13.65	11.26	14.30	14.04	18.54	18.96	18.11	18.64	20.99	19.74	19.97	19.97	
Zr	39.74	64.05	31.73	65.57	80.60	95.71	43.03	110.07	86.27	79.51	56.78	83.70	86.90	98.78	104.35	93.81	96.90	102.31	101.79	105.43	105.43	
Nb	5.12	5.69	4.15	8.51	10.17	9.39	4.33	11.03	10.24	10.45	7.94	10.58	8.58	10.36	9.30	8.58	8.94	8.65	8.40	8.85	8.85	
Mo	0.86	0.40	0.29	0.51	0.96	0.80	0.50	0.86	0.95	0.93	1.66	30.74	3.87	8.62	8.39	8.17	8.42	29.23	17.17	10.95	10.95	
Cs	1.64	1.56	1.46	2.45	6.17	3.79	1.66	4.65	7.61	8.50	5.75	7.61	4.47	5.93	3.81	3.85	3.67	3.63	3.70	3.59	3.59	
Ba	260.90	365.17	225.02	209.39	325.23	410.73	531.00	318.20	421.82	477.79	366.29	398.91	516.44	390.39	266.97	281.18	267.45	284.82	290.87	236.31	236.31	
La	14.57	13.18	8.86	13.79	26.09	15.00	13.64	10.71	25.91	25.94	17.91	23.79	21.03	25.56	17.59	18.44	17.24	16.02	16.18	15.73	15.73	

Продолжение таблицы 9.5.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Ce	26.95	26.61	16.69	26.71	52.13	32.86	28.54	20.92	55.29	54.01	37.01	48.79	43.85	52.25	36.70	37.82	36.45	33.37	33.47	32.94	
Pr	3.32	3.14	2.04	3.19	5.92	3.84	3.13	2.65	6.19	6.04	4.15	5.43	4.99	5.86	4.28	4.45	4.26	4.06	4.10	4.03	
Nd	12.75	12.02	7.77	12.23	22.12	14.55	12.24	10.15	22.70	21.93	16.02	20.06	19.11	22.38	16.95	17.57	16.65	16.82	16.70	16.27	
Sm	2.39	2.28	1.55	2.37	4.20	2.73	2.38	1.92	4.37	4.25	3.04	3.83	3.72	4.46	3.70	3.86	3.56	3.80	3.77	3.71	
Eu	0.62	0.63	0.38	0.60	0.99	0.70	0.73	0.49	0.96	0.90	0.72	0.90	0.88	1.10	1.05	1.09	1.00	1.05	1.11	1.07	
Gd	2.40	2.39	1.56	2.68	4.92	2.65	2.70	1.99	4.28	3.91	2.97	3.85	3.55	4.50	4.31	4.65	4.11	4.23	4.69	4.56	
Tb	0.32	0.32	0.21	0.34	0.58	0.36	0.32	0.25	0.53	0.50	0.38	0.49	0.49	0.61	0.59	0.63	0.56	0.62	0.63	0.62	
Dy	1.75	1.78	1.15	1.86	3.10	2.07	1.67	1.36	2.75	2.77	2.05	2.66	2.62	3.44	3.42	3.46	3.35	3.63	3.73	3.62	
Ho	0.35	0.36	0.22	0.37	0.58	0.41	0.32	0.26	0.50	0.51	0.39	0.52	0.51	0.68	0.67	0.68	0.66	0.73	0.74	0.71	
Er	1.02	1.09	0.67	1.10	1.69	1.22	0.92	0.79	1.40	1.45	1.13	1.54	1.50	2.01	2.01	2.04	1.96	2.17	2.17	2.07	
Tm	0.14	0.16	0.10	0.16	0.25	0.18	0.14	0.12	0.19	0.21	0.16	0.22	0.22	0.29	0.28	0.29	0.28	0.30	0.30	0.31	
Yb	0.97	1.06	0.64	1.10	1.60	1.22	0.88	0.78	1.30	1.31	1.07	1.50	1.50	1.88	1.85	1.92	1.82	1.97	1.95	2.01	
Lu	0.13	0.15	0.10	0.16	0.24	0.18	0.13	0.12	0.18	0.19	0.15	0.21	0.22	0.27	0.28	0.28	0.27	0.29	0.29	0.28	
Hf	0.95	1.59	0.76	1.58	2.10	2.38	1.20	2.71	2.27	2.08	1.42	2.11	2.24	2.46	2.44	2.41	2.33	2.39	2.46	2.51	
Pb	16.72	13.12	8.38	11.40	23.71	18.38	10.05	16.47	20.92	2.91	15.30	23.71	17.94	17.63	10.40	10.75	10.09	9.06	9.48	8.98	
Th	2.89	3.00	2.33	4.16	7.40	4.75	3.32	3.05	8.49	8.69	5.36	7.00	5.94	6.83	4.23	4.55	4.15	3.72	3.66	3.51	
U	0.68	0.86	1.02	1.87	2.48	1.75	1.13	2.92	2.85	2.78	1.78	2.51	2.02	2.25	1.63	1.72	1.62	1.64	1.50	1.52	

Таблица 9.5.4. Средние абсолютные (г/т) и нормированные на фон содержания ряда тяжелых металлов в пробах поверхностных донных осадков Баренцева моря, отобранных на различных полигонах в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Компоненты (в скобках указаны фоновые содержания, г/т)	Полигон											
	«Печорское море»			«Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)»			«Залив Русская Гавань»			«Медвежинский желоб»		
	Абсолютное содержание*	Нормировано на фон	Нормировано на фон	Абсолютное содержание	Нормировано на фон	Нормировано на фон	Абсолютное содержание	Нормировано на фон	Нормировано на фон	Абсолютное содержание	Нормировано на фон	Нормировано на фон
Cr (< 70)	34.48	0.49	1.16±0.38	81.20±26.64	1.16±0.38	1.16±0.04	80.98±2.68	1.16±0.04	1.16±0.04	64.30±19.76	0.92±0.28	0.92±0.28
Ni (< 30)	9.69	0.32	1.34±0.37	40.32±10.98	1.34±0.37	1.39±0.37	41.66±11.24	1.39±0.37	1.39±0.37	33.44±10.22	1.11±0.34	1.11±0.34
Cu (< 35)	7.62	0.22	0.70±0.21	24.50±7.29	0.70±0.21	0.78±0.16	27.28±5.48	0.78±0.16	0.78±0.16	21.22±5.63	0.61±0.16	0.61±0.16
Zn (< 150)	20.79	0.14	0.49±0.12	73.07±18.37	0.49±0.12	0.55±0.07	82.12±10.25	0.55±0.07	0.55±0.07	57.98±15.15	0.39±0.10	0.39±0.10
Cd (< 0,25)	0.06	0.26	0.56±0.11	0.14±0.03	0.56±0.11	0.73±0.15	0.18±0.04	0.73±0.15	0.73±0.15	0.12±0.03	0.48±0.14	0.48±0.14
Pb (< 30)	7.36	0.25	0.54±0.12	16.35±3.50	0.54±0.12	0.41±0.04	12.24±1.24	0.41±0.04	0.41±0.04	18.67±4.89	0.62±0.16	0.62±0.16
Компоненты (в скобках указаны фоновые содержания, г/т)	Полигон											
	«Район к югу от Шпицбергена»			«Кольский меридиан»			Профиль «Шпицберген – архипелаг ЗФИ»			«Пролив Кембридж»		
	Абсолютное содержание*	Нормировано на фон	Нормировано на фон	Абсолютное содержание	Нормировано на фон	Нормировано на фон	Абсолютное содержание	Нормировано на фон	Нормировано на фон	Абсолютное содержание	Нормировано на фон	Нормировано на фон
Cr (< 70)	58.80	0.84	0.98±0.50	68.73±35.11	0.98±0.50	1.04±0.21	72.89±14.53	1.04±0.21	1.04±0.21	87.81±5.61	1.25±0.08	1.25±0.08
Ni (< 30)	29.00	0.97	1.03±0.52	30.96±15.68	1.03±0.52	1.33±0.48	39.89±14.45	1.33±0.48	1.33±0.48	56.66±5.73	1.89±0.19	1.89±0.19
Cu (< 35)	17.40	0.50	0.55±0.33	19.38±11.44	0.55±0.33	0.65±0.22	22.69±7.68	0.65±0.22	0.65±0.22	77.50±12.72	2.21±0.36	2.21±0.36
Zn (< 150)	54.82	0.37	0.38±0.17	57.06±26.05	0.38±0.17	0.50±0.11	74.47±17.12	0.50±0.11	0.50±0.11	95.77±6.85	0.64±0.05	0.64±0.05
Cd (< 0,25)	0.16	0.64	0.81±0.56	0.20±0.14	0.81±0.56	0.49±0.21	0.12±0.05	0.49±0.21	0.49±0.21	0.02±0.01	0.08±0.03	0.08±0.03
Pb (< 30)	17.55	0.59	0.50±0.15	14.97±4.36	0.50±0.15	0.65±0.10	19.57±3.13	0.65±0.10	0.65±0.10	9.79±0.73	0.33±0.02	0.33±0.02

Примечание. *Среднее по 2 пробам.

Несколько иная ситуация складывается с пробами поверхностных донных осадков, отобранными в проливе Кембридж. Здесь существенно повышены относительно фона средние концентрации Cu и Ni (соответственно в ~2.2 и ~1.9 раза). Среднее содержание Cr составляет порядка 88 ± 6 г/т, тогда как фоновое значение равно 70 г/т [Bakke et al., 2007]. Средние концентрации остальных элементов здесь, также как и на других полигонах, ниже фона.

При сравнении с PAAS использованы следующие градации содержаний микроэлементов в осадках: 1 – содержание элемента менее $0.75 \times \text{PAAS}$; 2 – в пределах $0.75\text{--}0.90 \times \text{PAAS}$; 3 – в пределах $0.90\text{--}1.10 \times \text{PAAS}$; 4 – содержание элемента $1.10\text{--}1.50 \times \text{PAAS}$; 5 – более $1.50 \times \text{PAAS}$. В соответствии с указанными градациями в пробах донных осадков полигона «Печорское море» только среднее содержание Sr составляет более $0.75 \times \text{PAAS}$; концентрации остальных рассматриваемых нами элементов-примесей отвечают градации 1 (рис. 9.5.2, а). Донные осадки Канинского мелководья характеризуются сопоставимым с PAAS содержанием только Mo. Содержания V и Ni в них несколько выше, чем в PAAS (соответственно 1.22 и $1.19 \times \text{PAAS}$); концентрации Zn, Sr и Pb соответствуют градации 2, а концентрации остальных элементов – градации 1. В современных донных осадках полигона «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)» к градации 2 принадлежат Zn, Sr, Eu, Gd и Pb. Средние содержания молибдена и ванадия отвечают градации 4, а содержания остальных редких и рассеянных элементов составляют менее $0.75 \times \text{PAAS}$, т. е. соответствуют градации 1 (рис. 9.5.2, б). Донные отложения залива Русская Гавань характеризуются несколько более широким спектром градаций распределения элементов-примесей. Так, к градации 2 здесь принадлежат Ni, Ga и Eu. К градации 3 относятся V, Zn и Sr. Среднее содержание Mo составляет $1.59 \times \text{PAAS}$ (градация 5). Концентрации остальных элементов менее $0.75 \times \text{PAAS}$ (рис. 9.5.2, в).

Поверхностные донные осадки полигона «Медвежинский желоб» характеризуются следующим распределением редких и рассеянных элементов – к градации 2 принадлежат V, Eu и Gd, к градации 3 относятся Mo и Pb, а к градации 4 – Sr (рис. 9.5.2, г).

В отобранных к югу от Шпицбергена пробах к градации 2 относятся V, Gd и Pb. К градации 4 принадлежит Sr ($1.34 \times \text{PAAS}$). Средние содержания остальных элементов-примесей составляют менее $0.75 \times \text{PAAS}$ (градация 1) (рис. 9.5.3, а). В поверхностных донных отложениях полигона «Кольский меридиан» распределение редких и рассеянных элементов следующее: к градации 2 принадлежат V и Pb; средние содержания остальных элементов составляют менее $0.75 \times \text{PAAS}$

(градация 1) (рис. 9.5.3, б). Донные отложения разреза Шпицберген – архипелаг ЗФИ обладают более пестрым распределением микроэлементов. К градации 2 здесь относятся Sc, Co, Zn, Ga, Sr, Eu, Gd и U. К градации 3 принадлежат Pb и Bi (рис. 9.5.3, в). Среднее содержание V составляет $1.35 \times \text{PAAS}$ (градация 4). Среднее содержание Mo равно $7.79 \times \text{PAAS}$, при этом минимальное содержание молибдена составляет $0.93 \times \text{PAAS}$, а максимальное достигает $30.74 \times \text{PAAS}$. Если последнее значение рассматривать как аномальное и исключить из расчета $\text{Mo}_{\text{среднее}}$, то среднее содержание Mo составит $3.20 \times \text{PAAS}$, что также существенно выше, чем в пробах донных осадков всех ранее охарактеризованных полигонов.

В поверхностных донных отложениях пролива Кембридж к градации 1 (менее $0.75 \times \text{PAAS}$) по средним содержаниям принадлежат Li, Rb, Y, Zr, Nb, Sn, Cs, Ba, La, Sm, Yb, Hf, Pb, Bi, Th и U. К градации 2 относятся Cr, Ga и Sr (рис. 9.5.3, г). Средние содержания Ni, Eu и Gd соответствуют здесь градации 3, т. е. сопоставимы с их концентрациями в PAAS. Sc, Co и Zn принадлежат градации 4. Градация 5 объединяет Cu и Mo, но средние концентрации указанных элементов относительно их содержаний в PAAS различаются почти на порядок. Если содержание меди в пробах данного полигона варьирует от 1.24 до $1.81 \times \text{PAAS}$ (среднее – $1.55 \times \text{PAAS}$), то минимальное содержание Mo равно $8.17 \times \text{PAAS}$, а максимальное превышает $29 \times \text{PAAS}$. Среднее содержание Mo в современных донных осадках данного полигона составляет при этом $13.72 \times \text{PAAS}$. И даже если исключить свойственное пробе 5454 содержание Mo ($29.23 \times \text{PAAS}$), считав его аномальным, то и в таком случае величина $\text{Mo}_{\text{среднее}}$ составит $10.62 \times \text{PAAS}$.

Полученные данные находятся в соответствии с представлениями [Новиков, Жилин, 2016] о том, что распределение тяжелых металлов и ряда других элементов-примесей в поверхностных донных осадках Баренцева моря контролируется в первую очередь глобальным геохимическим фоном. В то же время очевидно, что свой вклад в это вносит и ряд локальных факторов, среди которых можно упомянуть, во-первых, количество пелитовой фракции, а, во-вторых, содержание органического вещества.

Значительная часть из присутствующих в поверхностных донных осадках Баренцева моря элементов-примесей (Sc, V, Cr, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Th, U и редкие земли) характеризуется умеренной положительной корреляцией с количеством пелитовой фракции в пробах. Так, коэффициент корреляции (r) между содержанием Sc и пелитовой фракции составляет 0.63 (рис. 9.5.4). Для V и Cr величина r несколько выше (0.71 и 0.72 соответственно). Корреляция между со-

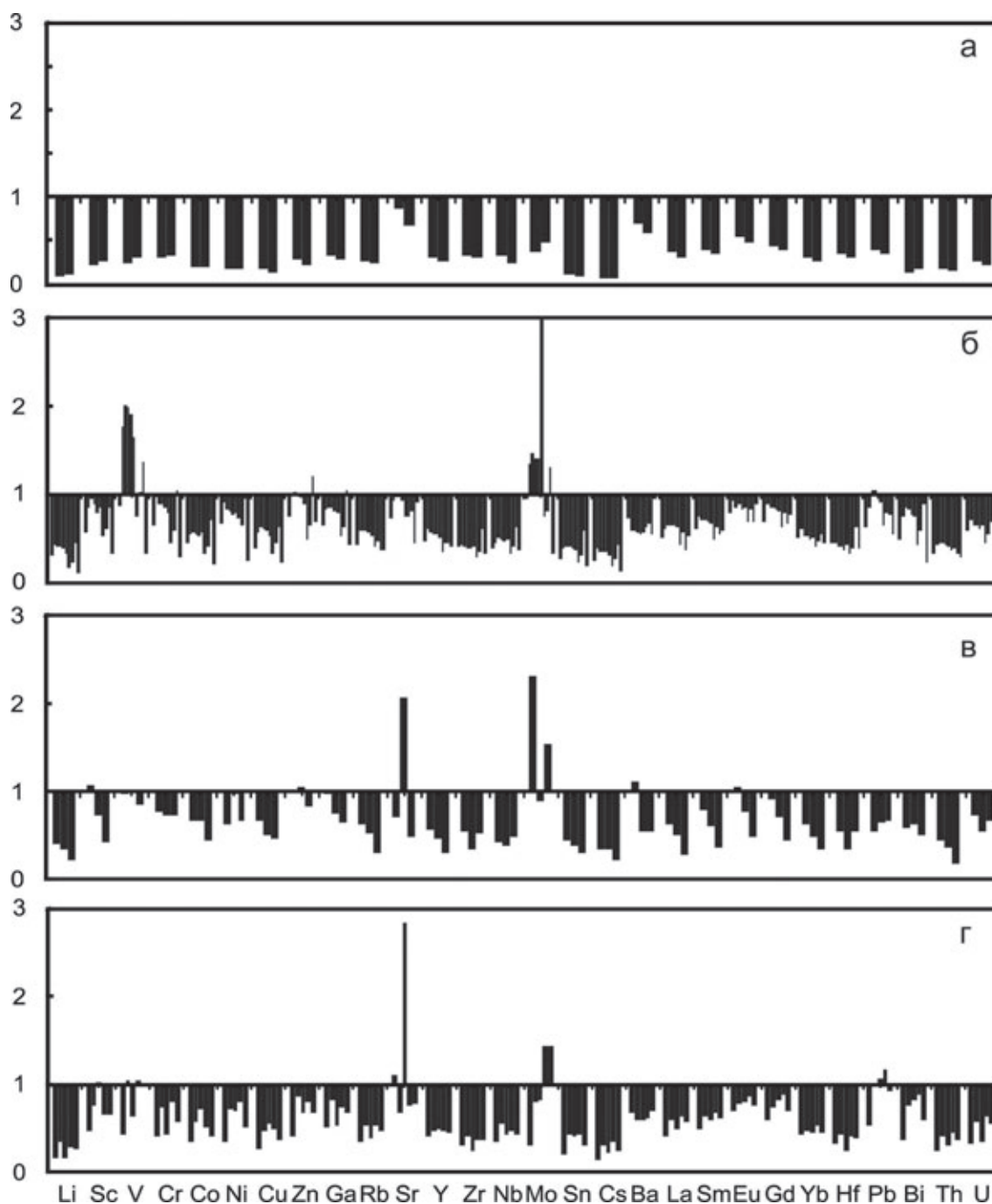


Рис. 9.5.2. Распределение нормированных к PAAS содержаний редких и рассеянных элементов в донных отложениях полигонов: а – «Печорское море», б – «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», в – «залив Русская Гавань», г – «Медвежинский желоб»

держанием Hf и Zr, с одной стороны, и пелитовой фракции, с другой ($r = 0.58$ и 0.59 соответственно), достаточно слабая. Примерно такие же величины r характерны для Nb и Y. Уран, торий и молибден обладают слабой положительной корреляцией с содержанием пелитовой фракции в поверхностных донных осадках ($r = 0.38$, 0.36 и 0.41 соответственно). Это же свойственно и сумме редкоземельных элементов

(PЗЭ) ($r = 0.50$). Такие тяжелые металлы, как Cu, Zn и Pb, обладают достаточно слабой или слабой положительной корреляцией с содержанием в поверхностных донных осадках пелитовой фракции (соответственно 0.57 , 0.67 и 0.42).

Рассматриваемые нами малые элементы по величине коэффициента корреляции с содержанием в поверхностных донных осадках $C_{\text{орг}}$ принадлежат трем

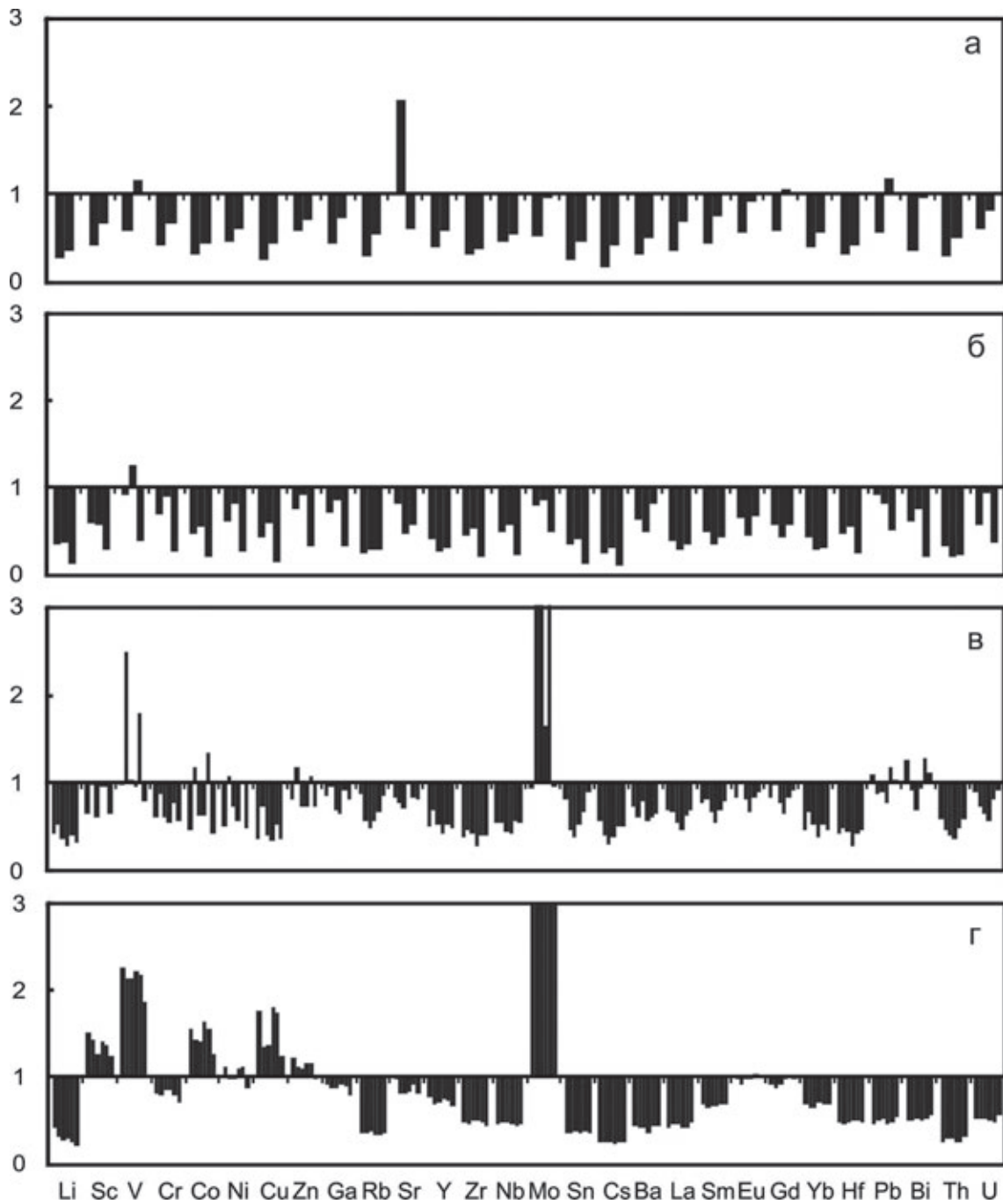


Рис. 9.5.3. Распределение нормированных к РААС содержаний редких и рассеянных элементов в поверхностных донных осадках: а – район к югу от Шпицбергена, б – Кольский меридиан, в – разрез Шпицберген – архипелаг ЗФИ, г – пролив Кембридж

группам. Так, V, Cr и Ni обладают умеренной положительной корреляцией с $C_{\text{орг}}$ ($0.61 < r < 0.67$) и принадлежат первой группе (рис. 9.5.5). Вторую группу образуют Sc, Hf, Zr, Nb, U, Th, Y и РЗЭ. Значения коэффициента корреляции между их содержаниями в донных осадках и содержанием $C_{\text{орг}}$ варьируют от 0.34 (Sc) до 0.52 (Nb). Корреляция между $C_{\text{орг}}$ и $\Sigma\text{РЗЭ}$ слабая ($r = 0.29$).

Это показывает, что лантаноиды в поверхностных донных осадках Баренцева моря в основном связаны с литогенными компонентами. К этой же группе относятся Pb, Zn и Cu ($r = 0.40, 0.49$ и 0.32 соответственно), характеризующиеся слабой положительной корреляцией с $C_{\text{орг}}$. Наконец, к третьей группе принадлежит Mo, содержание которого в поверхностных донных отложениях не имеет какой-либо видимой

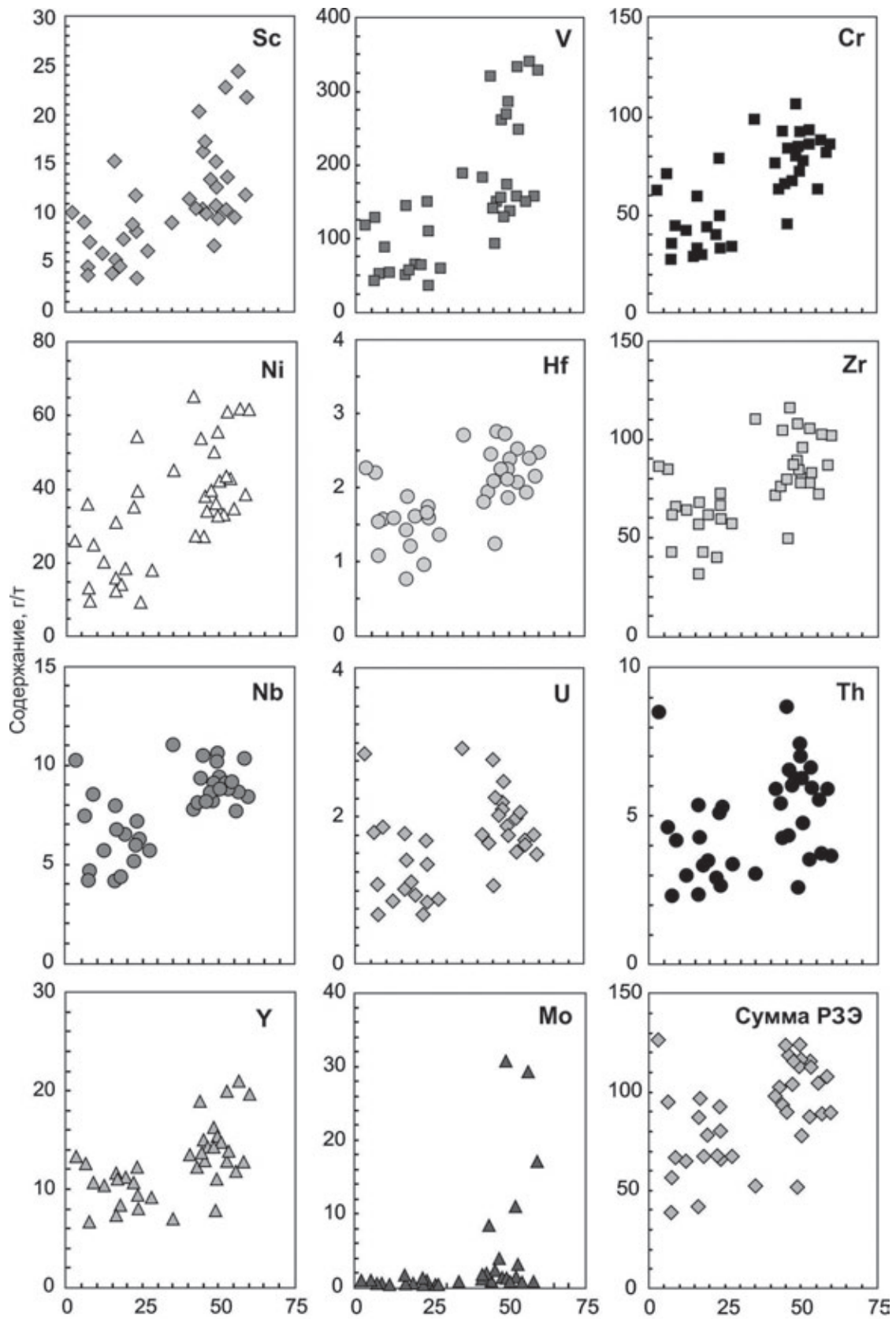


Рис. 9.5.4. Корреляция между концентрациями ряда элементов-примесей в поверхностных донных осадках Баренцева моря и содержанием в них пелитовой фракции

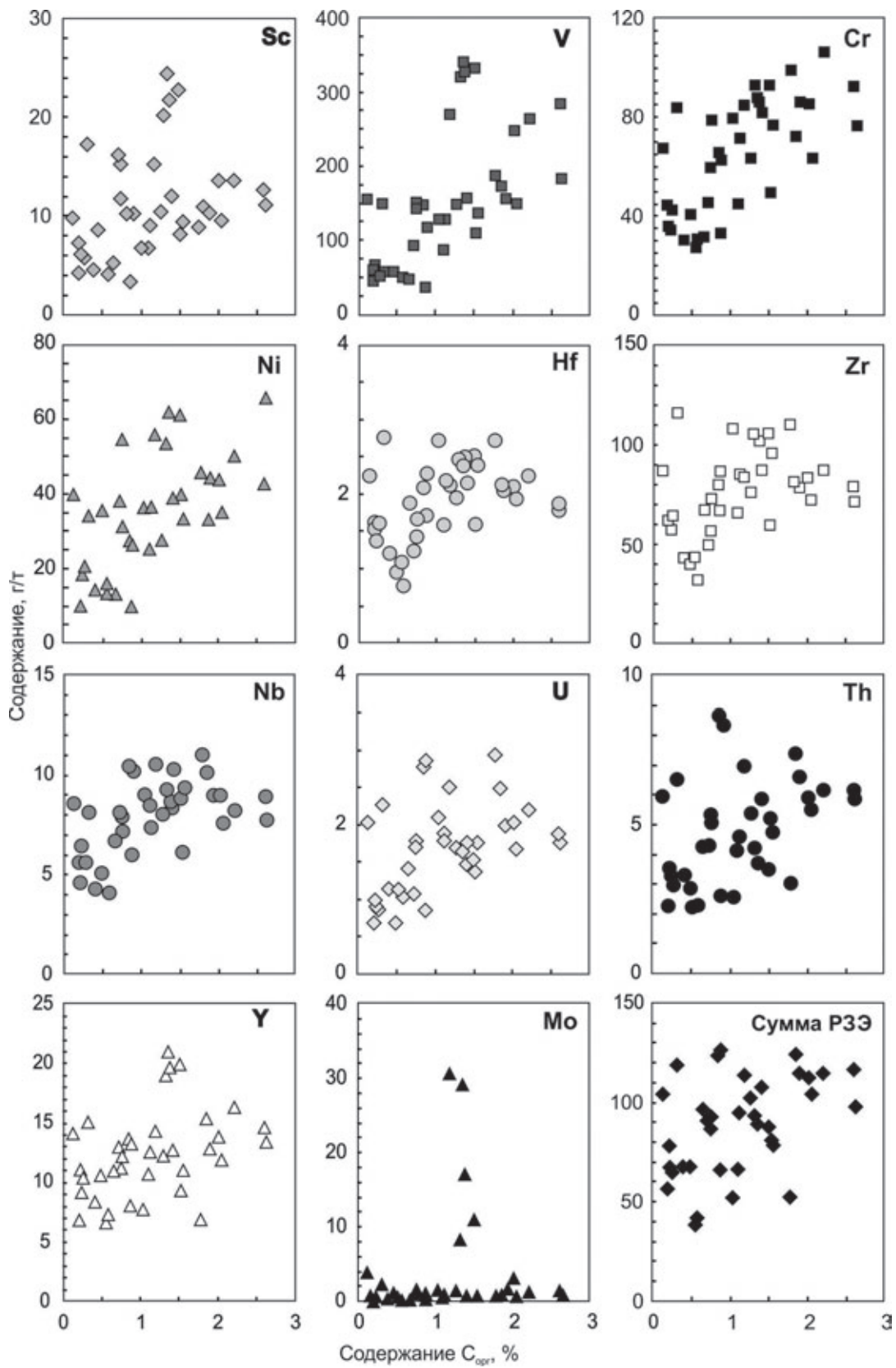


Рис. 9.5.5. Корреляция между концентрациями ряда элементов-примесей в поверхностных донных осадках Баренцева моря и содержанием в них $C_{орг}$

корреляции с $C_{\text{орг}}$ ($r = 0.11$). Полученные данные в целом также согласуются с результатами исследований М.А. Новикова и А.Ю. Жилина [2016], в соответствии с которыми содержание $C_{\text{орг}}$ в современных донных осадках Баренцева моря варьирует от 0.13 до 3.76% (среднее – 1.58%), а между содержаниями Cu, Zn, Ni, Cr, Pb и $C_{\text{орг}}$ наблюдается умеренная положительная корреляция (величина r варьирует от 0.58 до 0.70).

Основываясь на соотношении величин Zr/Sc и Th/Sc в осадках различных полигонов, в соответствии с представлениями [McLennan et al., 1993], можно сделать вывод, что состав тонкой алюмосиликокластики определяется/контролируется преимущественно составом пород на водоразделах (рис. 9.5.6). Это позволяет считать всю приводимую далее информацию в существенной степени корректной.

Анализ систематики Sc, Th, Co, Cr, La и Sm в донных осадках позволяет в определенной мере судить о составе пород-источников тонкозернистого обломочного материала для донных отложений. Так, среднее содержание Sc в исследованной нами выборке проб варьирует от 3.8 г/т (Печорское море) до 23 г/т (пролив Кембридж). В пробах, отобранных на полигонах «Канинское мелководье», «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», «залив Русская Гавань», «Медвежинский желоб» и «Шпицберген – архипелаг ЗФИ», средние содержания Sc сопоставимы (11.2–12.7 г/т). По средним содержаниям Cr пробы донных отложений Баренцева моря разделяются на три группы: к первой принадлежат пробы из Печорского моря (33.1–33.8 г/т)⁴, ко второй – пробы, представляющие Медвежинский желоб, район к югу от Шпицбергена, Кольский меридиан и разрез Шпицберген – архипелаг ЗФИ (58.8–72.9 г/т), к третьей – пробы, отобранные на полигонах «Канинское мелководье» (?), «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», в заливе Русская Гавань и проливе Кембридж. В последних среднее содержание Cr достигает почти 90 г/т, но эта величина все же меньше, чем концентрация хрома в ПААС (110 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]). Минимальное среднее содержание Co (~4.4 г/т) присуще пробам поверхностных донных осадков Печорского моря, максимальное (~36.6 г/т) характерно для проб, отобранных в заливе Кембридж (в ПААС содержание Co – 23 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]). Средние содержания La варьируют от 12.7 г/т (Печорское море) до 23.4 г/т (Шпицберген – архипелаг ЗФИ); в ПААС кон-

центрация La составляет 38.2 г/т. При этом в пробах, представляющих Канинское мелководье, Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский) полигон, залив Русская Гавань, Медвежинский желоб и район к югу от Шпицбергена значения $La_{\text{среднее}}$ сопоставимы в пределах ошибки. Для проб полигонов «Печорское море» и «Кольский меридиан» средние содержания Sm составляют соответственно ~2.1 и ~2.3 г/т. Пробы поверхностных донных осадков, отобранные на других полигонах, характеризуются несколько более высокими средними концентрациями Sm (3.2–3.9 г/т). В ПААС содержание Sm составляет 5.6 г/т. Максимальное среднее содержание Th в исследованных нами пробах достигает величины ~7.1 г/т (в ПААС – 14.6 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]), минимальное равно ~2.5 г/т (Печорское море).

Достаточно хорошими индикаторами состава размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород являются также редкоземельные элементы [Тейлор, МакЛеннан, 1988; Wronkiewicz, Condie, 1987; McLennan, 1989; Condie, Wronkiewicz, 1990; Cullers, 1995; Geochemistry..., 2003 и др.]. Сумма РЗЭ (средние значения Σ РЗЭ, а также минимальные и максимальные величины данного параметра в пробах поверхностных донных осадков различных полигонов приведены в табл. 9.5.5) в песчано-алеврито-пелитовых и алеврито-пелитовых илах Печорского моря варьирует от ~57 до 66 г/т. Значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ со-

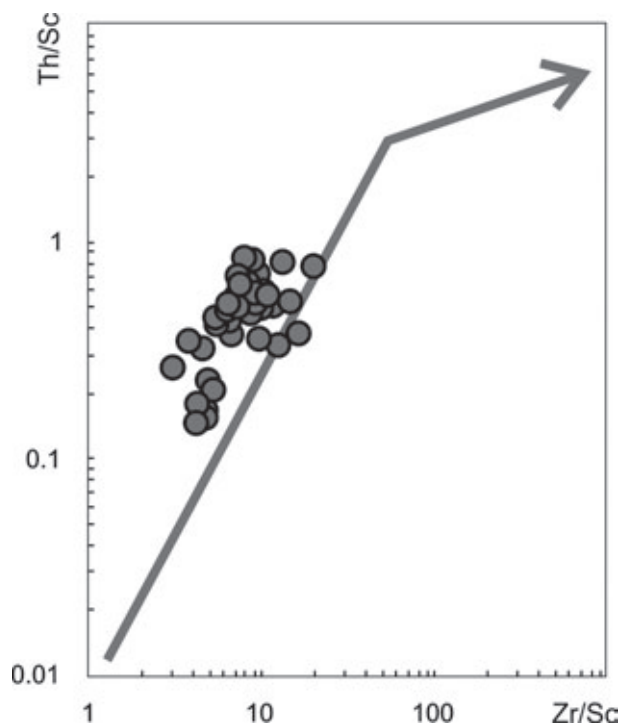


Рис. 9.5.6. Распределение точек поверхностных донных осадков Баренцева моря на диаграмме Zr/Sc–Th/Sc

⁴ 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.

ставляет от 9.57 до 9.90. Средняя величина $(La/Yb)_N$ (нормировано на хондрит [Тейлор, МакЛеннан, 1988]) равна 10.61, параметр $(Gd/Yb)_N$ составляет 1.91, Eu аномалия небольшая отрицательная (0.85). Спектры распределения РЗЭ в поверхностных донных илах этого и других полигонов показаны на рис. 9.5.7 и обсуждаются ниже. Пелитовые илы западного склона Канинского мелководья характеризуются по сравнению с донными отложениями Печорского моря несколько большей величиной $\Sigma PЗЭ$ (98 г/т). Значения ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$ составляют здесь соответственно 8.77 и 9.54, величина $(Gd/Yb)_N$ равна 1.89, а Eu/Eu^* – 0.74. На полигоне «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)» сумма РЗЭ в пелитовых и алеврито-пелитовых илах варьирует от 52 до 117 г/т. Значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ изменяется от 7.07 до 9.58 (для двух проб данный параметр составляет от 7.07 до 7.52, для остальных семи – 8.41–9.58). Средняя величина $(La/Yb)_N$ равна здесь 10.60 (минимум – 9.30, максимум – 11.63), а Eu/Eu^* среднее – 0.77. Поверхностные донные осадки (пелитовые, алеврито-пелитовые и песчано-алеврито-пелитовые илы) в заливе Русская Гавань характеризуются примерно такими же, как и в осадках полигона «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», значениями суммы РЗЭ (52–119 г/т). Параметр ЛРЗЭ/ТРЗЭ составляет здесь 8.75–9.03. Величины $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* варьируют соответственно от 7.63 до 9.60 и от 0.76 до 0.80. Параметр $(Gd/Yb)_{N\text{среднее}} = 1.91 \pm 0.15$. Сумма РЗЭ в песчано-алеврито-пелитовых, алеврито-пелитовых и собственно пелитовых илах Медвежинского желоба варьирует от 78 до ~115 г/т. Средние величины $(La/Yb)_N$ и $(Gd/Yb)_N$ составляют соответственно 10.63 и 2.18. Значение Eu/Eu^* среднее = 0.76. Отношение легких лантаноидов к тяжелым изменяется от 7.86 до 10.08. В пробах, отобранных на ст. 5440 (песчано-алеврито-пелитовый ил) и 5441 (пелитовый ил) в районе к югу от Шпицбергена, суммарное содержание лантаноидов составляет в первом случае ~67 г/т, во втором – 124 г/т. Значения $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* равны соответственно 8.47 и 10.99, и 0.72 и 0.67. Параметр ЛРЗЭ/ТРЗЭ меняется от 7.58 до 8.59. На Кольском меридиане $\Sigma PЗЭ$ в современных донных осадках варьирует от 52 до 78 г/т. Средняя величина $(La/Yb)_N = 9.35$. Во всех трех пробах, отобранных дночерпателем на данном полигоне, значения Eu/Eu^* меньше, чем в пробах со станций, расположенных к югу от Шпицбергена. Параметр ЛРЗЭ/ТРЗЭ изменяется в пределах 8.25–8.58. Песчано-алеврито-пелитовые, пелитовые и алеврито-пелитовые илы полигона «Шпицберген – архипелаг Земля Франца-Иосифа» обладают величинами $\Sigma PЗЭ$, варьирующими от 87 до 127 г/т. Среднее значение $(La/Yb)_N$ составляет здесь

11.26 (минимум – 9.17, максимум – 13.47). Величина Eu аномалии меняется от 0.68 до 0.75, а параметр $(Gd/Yb)_{N\text{среднее}} = 2.21$. Значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ составляет 8.15–10.41. Пелитовые и алеврито-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 ЛРЗЭ/ТРЗЭ меняется от 5.19 до 6.02.

Многими специалистами считается, что содержания и отношения элементов-примесей в глинистых/пелитовых осадках/породах существенно не меняются при транспортировке (растворимость их в воде весьма слабая) из источников сноса до областей осадконакопления [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, 1989; Condie, Wronkiewicz, 1990; Cullers, 1995, 2002; Geochemistry..., 2003 и др.]. Для кислых магматических образований (граниты, гранодиориты) характерны на один–два порядка более высокие, нежели для базитов, значения Th/Sc, La/Sm, La/Sc, Th/Co и Th/Cr [Интерпретация..., 2001] и, наоборот, основные магматические породы имеют на один–два порядка более высокие значения Cr/Zr, Cr/V и ряда других индикаторных отношений. Эти и другие представления широко используются 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.].

Значимую роль в подобного рода исследованиях играет и анализ особенностей распределения в тонкозернистых обломочных осадках РЗЭ, так как считается, что разнообразие нормированных на хондрит спектров РЗЭ в постархейских осадочных породах определяется тектоническими обстановками их формирования и составом пород в источниках сноса [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan et al., 1990]. Реконструкция последних по спектрам РЗЭ основана на том, что магматические породы основного состава характеризуются достаточно низкими отношениями ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$, и не имеют выраженной Eu аномалии, тогда как кислым породам свойственны высокие отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$ и отчетливая отрицательная аномалия Eu [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, Taylor, 1991]. Значения $(La/Yb)_N < 4$ и пологий общий облик нормированных на хондрит кривых распределения РЗЭ позволяют предполагать существенную роль в источниках сноса магматических пород основного состава, тогда как

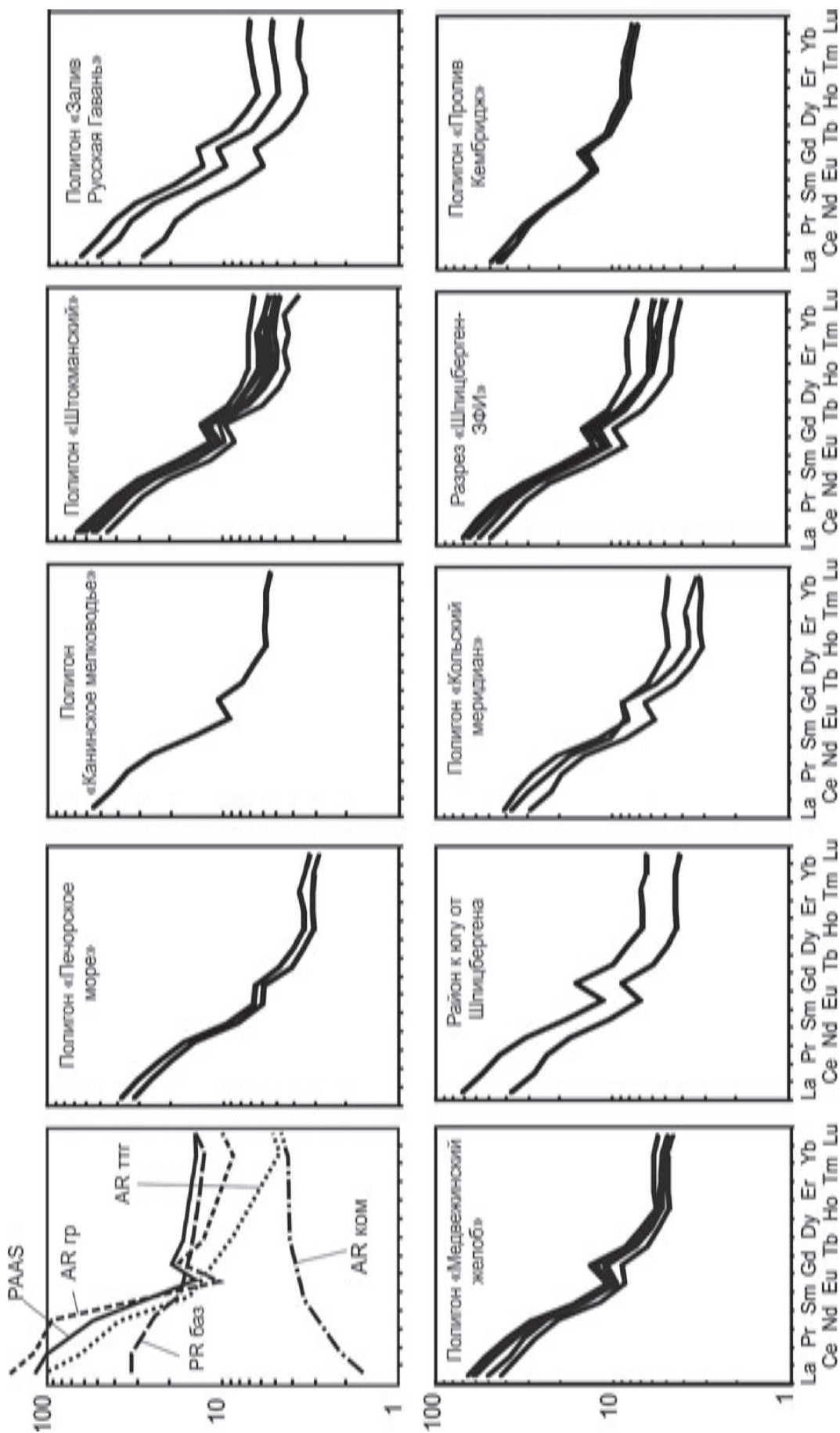


Рис. 9.5.7. Распределение нормированных к хондриту содержаний РЗЭ в референтных объектах (левый верхний график) и поверхностных донных осадках различных полигонов Баренцева моря:

PAAS – постархейский средний австралийский сланец [Тейлор, МакЛеннан, 1988]; AR гр – архейские граниты; PR баз – протерозойские базальты; AR ттт – архейские тоналит-трондьемит-гранитные ассоциации; AR ком – архейские коматиты, все по [Condie, 1993]

Таблица 9.5.5. Среднее, минимальное и максимальное содержание РЗЭ в пробах поверхностных донных осадков Баренцева моря, г/т

Компоненты	Политоны										«Пролив Кембридж»
	«Печорское море»	«Канинское мелководье»	«Штокмановский»	«залив Русская Гавань»	«Медвежинский желоб»	«Район к югу от Шпицбергена»	«Кольский меридиан»	«Шпицберген-архипелаг ЗФИИ»			
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.

при величине $(La/Yb)_N > 8$ (и, соответственно, крутом наклоне спектра) можно сделать вывод о преобладании в областях питания кислых магматических образований. Высокие (> 20) значения $(La/Yb)_N$ указывают на присутствие на палеоводосборах гранитоидов [Wronkiewicz, Condie, 1990].

В целях реконструкции состава комплексов пород, выступавших источниками тонкой алюмосиликокластики для поверхностных донных осадков Баренцева моря нами использован подход, основанный на сопоставлении присущих им величин ряда индикаторных отношений элементов-примесей со значениями этих же отношений в некоторых референтных геологических объектах, таких как гранитоиды архея (предполагаемый источник подобной тонкой алюмосиликокластики – Кольский п-ов), палеозойские андезиты (предполагаемый источник такого рода обломочного материала – складчатые структуры Урала), а также мезо-кайнозойские базальты (возможный источник – ЗФИ). Свойственные перечисленным референтным объектам содержания редких и рассеянных элементов заимствованы из работы [Condie, 1993]⁵.

На графике Sc–Th/Sc [Тейлор, МакЛеннан, 1988] фигуративные точки проб поверхностных донных осадков, отобранных в Баренцевом море на первых восьми полигонах, сконцентрированы преимущественно между референтными точками калиевых гранитоидов и диабазов, будучи несколько смещенными к последней (рис. 9.5.8).

Точки донных отложений в проливе Кембридж расположены вблизи референтной точки диабазов, что позволяет предполагать присутствие в их составе существенной доли тонкой алюмосиликокластики, образованной в результате разрушения магматических пород основного состава, присутствующих на островах архипелага Земля Франца-Иосифа.

На диаграммах La/Sm–Sc/Th [Geochemistry..., 2003], La/Sc–Th/Co [Тейлор, МакЛеннан, 1988; Cullers, 2002] и La/Sc–Th/Cr точки донных осадков из пролива Кембридж локализованы между референтными точками базальтов мезо-кайнозоя и палеозойских андезитов (рис. 9.5.9), что также дает основание для вывода о наличии в них значительного количества продуктов эрозии основных магматических пород. Фигуративные точки состава проб поверхностных донных осадков, отобранных на других полигонах, расположены на указанных диаграммах между сред-

ними точками гранитоидов архея и андезитов палеозоя, ближе к последним. Первые представляют собой усредненный «геохимический образ» такого источника тонкой алюмосиликокластики, как Кольский полуостров, а вторые – в той или иной мере близки по своему составу к палеозойским вулканогенным комплексам севера Уральского складчатого пояса и Новой Земли, поэтому можно с определенной долей вероятности считать, что формирование современных донных осадков основной части акватории Баренцева моря происходило за счет обломочного материала, поступавшей с юга и юго-востока, а возможно имевшего и внешние по отношению к Баренцеву морю источники.

Сопоставление значений $(La/Yb)_N$ в поверхностных донных осадках из четырех районов: частей Баренцева моря, находящейся под влиянием атлантических вод (ст. 5431, 5430, 5411, 5412, 5414 и 5416); части Баренцева моря, на которую влияют течения с востока и северо-востока (ст. 5445, 5446, 5448, 5417, 5421 и 5413); окрестностей ЗФИ (пролив Кембридж) и залива Русская Гавань позволило установить, что по указанному параметру осадки этих районов достаточно хорошо различаются. «Так, донные осад-



Рис. 9.5.8. Положение точек состава поверхностных донных отложений различных полигонов на диаграмме Sc–Th/Sc.

1–9 – полигоны: 1 – «Печорское море», 2 – «Канинское мелководье», 3 – «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», 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». Положение референтных точек диабазов, гранодиоритов и К-гранитоидов по [Schoenborn, Fedo, 2011; Roy, Roser, 2013]

⁵ Такой выбор обусловлен, прежде всего, отсутствием в известной нам литературе обобщающих данных о геохимических характеристиках осадочных комплексов Печорской синеклизы, Новой Земли, Шпицбергена, каледонид Скандинавии и других возможных источниках тонкозернистой алюмосиликокластики для поверхностных донных осадков Баренцева моря.

ки из двух первых районов имеют величины $(La/Yb)_{N_{\text{среднее}}}$ 10.42 и 12.00. Донные отложения пролива Кембридж, как уже указывалось выше, обладают существенно меньшим значением $(La/Yb)_{N_{\text{среднее}}}$ (5.71), а донные отложения залива Русская Гавань имеют промежуточную между указанными районами величину $(La/Yb)_{N_{\text{среднее}}}$ (8.87). В целом, исходя из средних величин ЛРЗЭ/ТРЗЭ и $(La/Yb)_N$, свойственных поверхностным донным осадкам различных районов Баренцева моря, можно сделать вывод, что на полигоне «Пролив Кембридж» в их составе присутствует существенная доля тонкой алюмосиликокластики, сформированной за счет размыва основных магматических пород.

График $(La/Yb)_N$ -Eu/Eu* [Geochemistry..., 2003] позволяет видеть, что точки поверхностных донных осадков всех полигонов располагаются довольно компактно примерно на одинаковом расстоянии от пород архейских ТТГ-ассоциаций, мезо-кайнозойских базальтов и протерозойских гранитов (рис. 9.5.10, а). Величины Eu/Eu* во всех пробах несколько выше, чем в РААС, и примерно сопоставимы с теми, что присущи мезо-кайнозойским андезитам. Большинство проб донных отложений Баренцева моря в той или иной мере деплетированы ТРЗЭ; одна их часть по параметру $(Gd/Yb)_N$ сопоставима с протерозойскими гранитоидами, другая близка к архейским ТТГ-ассоциациям (рис. 9.5.10, б).

На большей части акватории Баренцева моря каких-либо тенденций изменения параметров нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в поверхностных донных илах не отмечается. Примером является график распределения значений $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu* на профиле от Кольского полуострова до залива Русская Гавань (рис. 9.5.11, а). 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 падение величин Eu/Eu* и, напротив, рост значений $(La/Yb)_N$ (рис. 9.5.11, б). Возможно тут происходит смешение продуктов размыва, с одной стороны, основных магматических пород архипелага Земля Франца-Иосифа, а с другой – более зрелого алюмосиликокластического материала, поступающего со стороны Шпицбергена.

На диаграмме $\Sigma\text{РЗЭ}-(La/Yb)_N$ [Allegre, Minster, 1978; Yan et al., 2012] (рис. 9.5.12, а) точки состава проб поверхностных донных осадков, отобранных на различных полигонах в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», локализованы как в области осадочных пород, так и в области перекрытия составов осадочных образований и базальтов [Маслов и др., 2019]. На диаграмме Eu/Eu*-Cr/Th (рис. 9.5.12, б) фигуративные точки проб донных отложений сосредоточены преимущественно в области, определяемой значениями Eu/Eu* и Cr/Th, соответственно 0.65–0.95

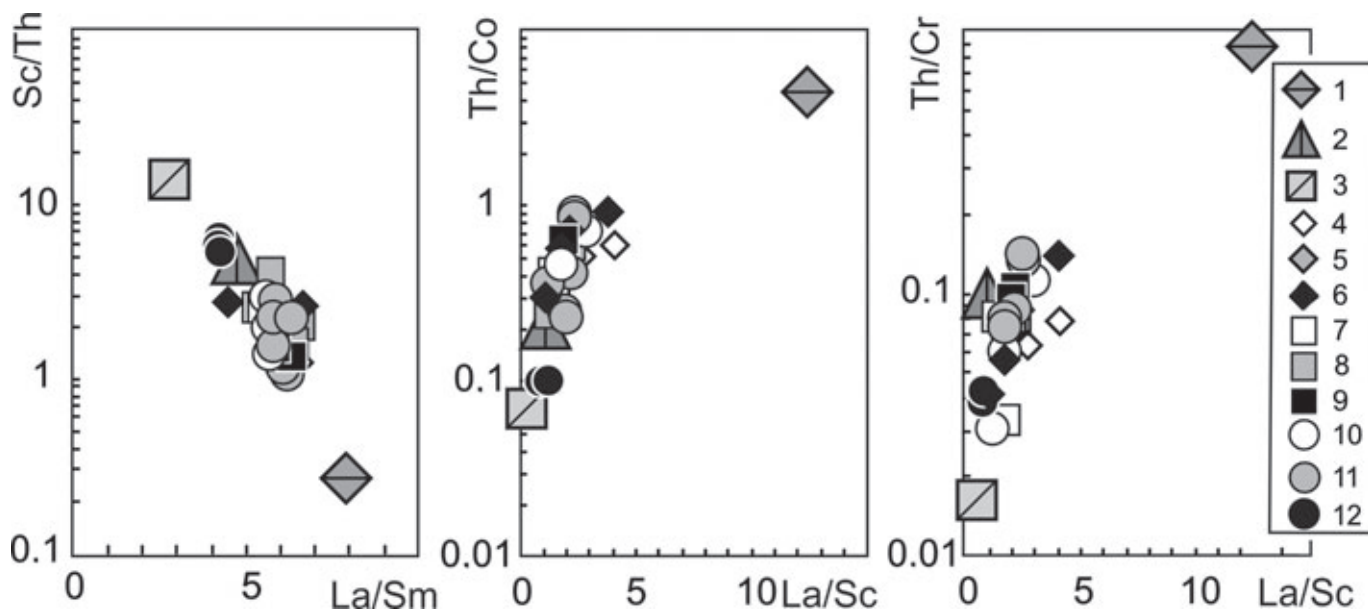


Рис. 9.5.9. Положение точек состава поверхностных донных отложений различных полигонов на диаграммах La/Sm–Sc/Th, La/Sc–Th/Co и La/Sc–Th/Cr.

1–3 – референтные геохимические объекты по [Condie, 1993]: 1 – гранитоиды архея; 2 – андезиты палеозоя; 3 – мезо-кайнозойские базальты; 4–9 – полигоны: 4 – «Печорское море», 5 – «Канинское мелководье», 6 – «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», 7 – «залив Русская Гавань», 8 – «Медвежинский желоб», 9 – «район к югу от Шпицбергена», 10 – «Кольский меридиан», 11 – «Шпицберген – архипелаг Земля Франца-Иосифа», 12 – «пролив Кембридж»

и 5–40⁶. Примерно такими же значениями обладают, по данным [Слабунов, 2008], среднекислые вулканы Керетского зеленокаменного пояса, диорит-плагиограниты, гнейсы Гридинского меланжа, гранитоиды тоналит-трондьемит-гранитной ассоциации Беломорского подвижного пояса и близкие к ним по составу и возрасту комплексы пород Кольского микроконтинента Кольско-Карельского геоблока [Геологическая карта..., 1996; Ранний докембрий..., 2005; Минц и др., 2010 и др.].

В целях реконструкции состава пород в областях размыва применяется также анализ изотопного состава Sr, Pb и Nd донных осадков [Winter et al., 1997; Goldstein, Hemming, 2003; Peucker-Ehrenbrink et al., 2010; Maccali et al., 2012 и др.]. В настоящее время опубликованы сведения об изотопной систематике донных отложений более чем в 100 точках акватории Северного Ледовитого океана [Maccali et al., 2018]. Нами определен изотопный состав Nd, Pb и Sr в 17 пробах осадков (также как и данные выше, эти сведения получены только для пелитовых, алеврито-пелитовых и песчано-алеврито-пелитовых илов), отобранных в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (табл. 9.5.6). Проанализированные пробы характеризуют как центральные, так и периферийные районы Баренцева моря.

На диаграмме ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-εNd, построенной по материалам [Maccali, Hillaire-Marcel, 2018] для осадков морей Российской Арктики и моря Бофорта с привлечением наших оригинальных данных, хорошо видно

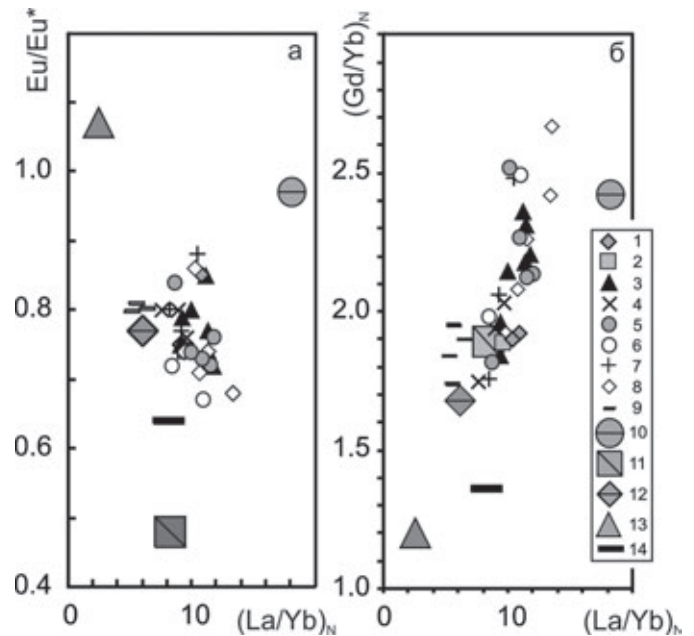
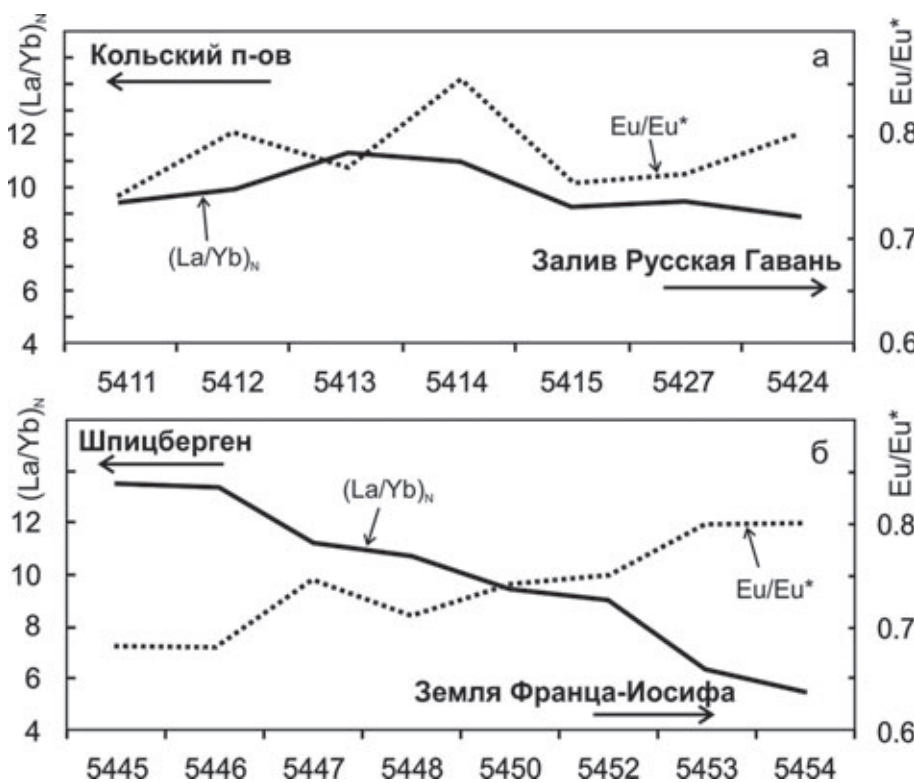


Рис. 9.5.10. Положение точек состава поверхностных донных отложений различных полигонов и ряда референтных геохимических объектов на диаграммах $(La/Yb)_N$ - Eu/Eu^* (а) и $(La/Yb)_N$ - $(Gd/Yb)_N$ (б) [Condie, 1993]:

1–9 – полигоны: 1 – «Печорское море», 2 – «Канинское мелководье», 3 – «Центрально-Баренцевоморский (Штокмановский)», 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 – PAAS



практически полное совпадение Sr и Nd изотопных характеристик осадков Карского, Восточно-Сибирского и Баренцева (авторские данные) морей, а также моря Лаптевых, и отсутствие такового для осадков морей Бофорта и Баренцева (рис. 9.5.13, а). На этой же диаграмме (рис. 9.5.13, б) пробы донных осадков из различных районов Баренцева моря образуют компактные области, отражающие петрографический состав пород, размываемых вблизи мест их от-

Рис. 9.5.11. Вариации значений $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* в пробах поверхностных донных осадков, отобранных между Кольским полуостровом и заливом Русская Гавань (а), а также ЗФИ и Шпицбергенем (б).

По горизонтальной оси на обоих графиках указаны номера станций

бора. Наиболее высокие значения ϵNd ($-4.8 \dots -9.6$) зафиксированы в пробах из окрестностей ЗФИ и Новой Земли. Это указывает на присутствие в них заметной доли мантийного материала и предполагает размыв магматических пород преимущественно основного состава. Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в данных осадках заключено в пределах $0.7110-0.7160$ и строго зависит от значения ϵNd , демонстрируя обогащение мантийного материала коровой компонентой. Вторую группу ($-11.8 < \epsilon Nd < -13.5$) образуют пробы, отобранные в зоне Нордкапского течения, входящего в Баренцево море со стороны Атлантики и влияющего на состав донных осадков в его южной части. Пробы данной группы отобраны вблизи каледонид Северной Норвегии, палеозойских осадочных образований Тимана и кристаллических пород Балтийского щита [Маслов и др., 2019]. Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в пробах здесь не зависит от значений ϵNd . Наиболее низкие величины $^{87}Sr/^{86}Sr$ ($0.7107-0.7112$) присущи пробам, взятым вблизи побережья Норвегии. В пробе, отобранной на ст. 5408 (Печорское море вблизи устья р. Печоры), отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ увеличивается до 0.7137 . В пробе со ст. 5411 (Канинская банка, траверс Балтийского

щита) величина $^{87}Sr/^{86}Sr$ достигает значения 0.7176 . Указанный рост отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ внутри данной группы достаточно хорошо согласуется с петрографическим составом пород предполагаемых питающих провинций: он пропорционален снижению доли карбонатных пород и увеличению доли кристаллических комплексов. Исключение из сказанного составляют лишь пробы, отобранные к югу (ст. 5441, желоб Стур-фьорд) и северу (ст. 5445) от берегов Шпицбергена. Первая на диаграмме $^{87}Sr/^{86}Sr-\epsilon Nd$ попадает в область смешения древних пород чехла и фундамента, вторая отвечает области основных пород, близких по составу раннемеловым базальтам ЗФИ.

Анализ изотопного состава Nd и Sr в донных осадках центральной части Баренцева моря (ст. 5412, 5417, 5421 и 5430) показывает, что значения ϵNd и $^{87}Sr/^{86}Sr$ в них заключены в узких пределах (соответственно $-11.9 \dots -13.1$ и $0.7158-0.7171$). На диаграмме $^{87}Sr/^{86}Sr-\epsilon Nd$ точки указанных проб сгруппированы в поле, находящемся на пересечении Nd- и Sr-изотопных характеристик осадков из окружающих прибрежных провинций. При этом точки приближены к областям изотопных характеристик Балтийского щита и

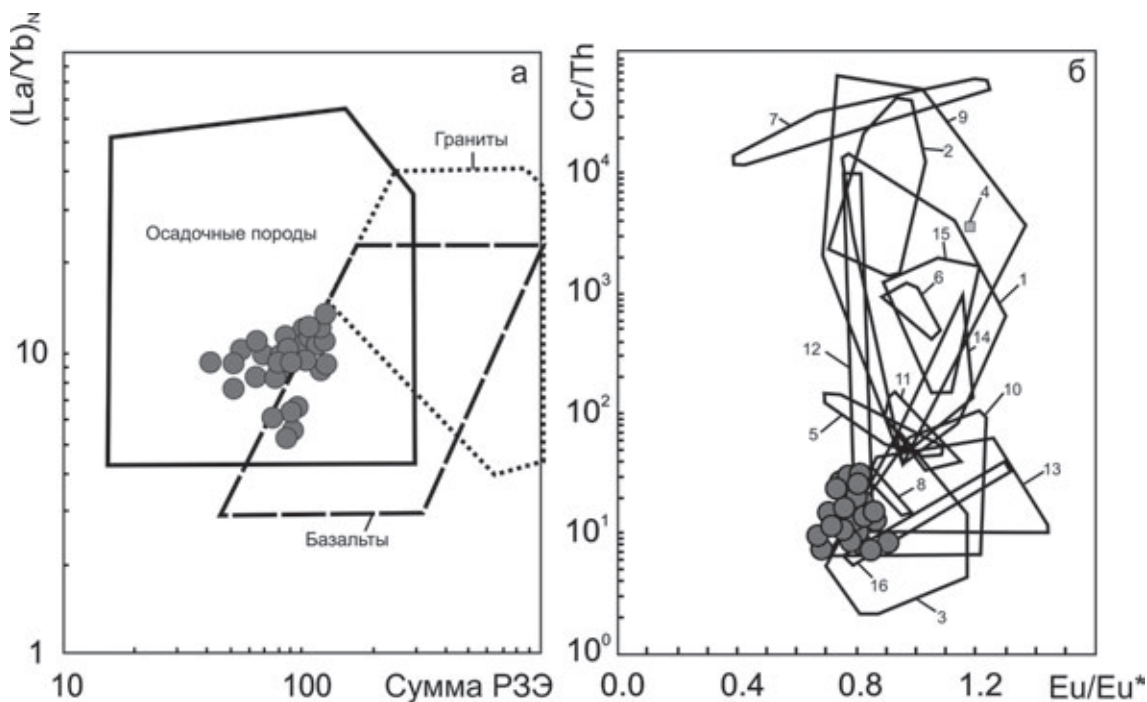


Рис. 9.5.12. Положение точек поверхностных донных осадков Баренцева моря (серые кружки) и полей состава различных типов пород Беломорского подвижного пояса на диаграммах $\Sigma REE-(La/Yb)_N$ (а) и $Eu/Eu^*-Cr/Th$ (б) [Слабунов, 2008]:

1–5 – Керетский зеленокаменный пояс: 1 – амфиболиты, 2 – метакоматииты, 3 – среднекислые вулканиты, 4 – метасульфиды, 5 – метаосадочные породы; 6–8 – Тикшозерский зеленокаменный пояс: 6 – амфиболиты, 7 – метасульфиды, 8 – среднекислые вулканиты; 9 – metabазиты Центрально-Беломорского пояса; 10 – диорит-плаггиограниты; 11 – лейкоаббро; 12–15 – Гридинский меланж: 12 – цоизититы, кианит-гранат-биотитовые гнейсы, карбонатиты и альбититы, 13 – гнейсы, 14 – амфиболиты, 15 – эколгиты; 16 – гранитоиды тоналит-трондьемит-гранитной ассоциации

палеозойского чехла платформы. Это подчеркивает, что в составе осадков центральной части моря присутствует материал из всех окружающих районов, но максимальный вклад вносит континент.

Таблица 9.5.6. Изотопный состав Nd, Pb и Sr поверхностных донных осадков Баренцева моря, пробы которых отобраны в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Станция	Sm, г/т	Nd, г/т	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(t)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
5408	3.2	15.6	0.1229	0.51204	-11.8	0.7137	0.8445
5411	4.6	24.9	0.1245	0.51195	-13.5	0.7176	0.8364
5412	3.7	19.9	0.1138	0.51202	-12.1	0.7169	0.8421
5415	5.3	26.8	0.1190	0.51215	-9.6	0.7152	0.8300
5417	5.2	26.3	0.1142	0.51197	-13.1	0.7167	0.8345
5421	5.1	27.1	0.1136	0.51198	-12.9	0.7158	0.8346
5422	4.8	25.1	0.1166	0.51219	-8.7	0.7150	0.8365
5424	5.9	28.9	0.1226	0.51225	-7.5	0.7139	0.8346
5430	4.9	25.8	0.1139	0.51203	-11.9	0.7171	0.8055
5434	4.4	22.8	0.1186	0.51200	-12.5	0.7112	0.8382
5435	3.9	20.9	0.1154	0.51195	-13.5	0.7111	0.8391
5436	2.4	12.1	0.1174	0.51199	-12.6	0.7107	0.8438
5438	3.4	18.2	0.1131	0.51181	-16.2	0.7108	0.8381
5441	5.6	30.5	0.1107	0.51242	-4.3	0.7165	0.8386
5445	7.3	40.0	0.1105	0.51206	-11.4	0.7248	0.8271
5450	5.0	25.4	0.1182	0.51218	-8.9	0.7160	0.8340
5453	6.3	29.1	0.1307	0.51239	-4.8	0.7110	0.8874

На диаграмме $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}-\epsilon\text{Nd}$ поля, образуемые пробами осадков Баренцева моря (наши данные и данные [Massali, Hillaire-Marcel, 2018]), Восточно-Сибирского и Карского морей, а также моря Лаптевых, обладают почти 90%-ым перекрытием (рис. 9.5.14). В этой же области расположена референтная точка «Норвежских каледонид» [Маслов и др., 2018а], тогда как такая же точка Балтийского щита, характеризующаяся существенно более низким значением ϵNd (-18.0) [Маслов и др., 2018а]), занимает обособленное положение в нижней четверти рассматриваемого графика.

Исходя из сказанного выше, можно предполагать, что основной вклад в формирование изотопного состава Nd и Sr донных осадков Баренцева моря вносят породы Северо-Европейской континентальной окраины. Материал с островных поднятий (ЗФИ, Новая Земля), сложенных в большей степени магматическими породами основного состава, вместе с арктическими течениями, несомненно, поступает в северную часть Баренцева моря, накапливаясь в пределах первых десятков километров от их берегов. Однако он не оказывает заметного влияния на изотопные

характеристики донных осадков центральных районов моря. Интересно также отметить, что значения ϵNd и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в донных осадках центральной части Баренцева моря заметно ниже, чем соответствующие характеристики инкорпорированного во льды осадочного материала, переносимого Трансполярным дрейфом [Маслов и др., 2018а, 2018б]. Это позволяет предполагать, что вклад ледового разноса в формирование донных осадков Баренцева моря невелик.

Таким образом, приведенные выше материалы позволяют считать, что преобладающая часть поверхностных тонкозернистых донных осадков (пелитовые, алевроито-пелитовые и песчано-алевритопелитовые илы) Баренцева моря сложена достаточно зрелым в геохимическом отношении материалом⁷. Донные отложения пролива Кембридж представлены менее зрелым материалом, поступавшим, по всей видимости, за счет размыва комплексов пород, сла-

⁷ Ранее на «... существенно гранитоидный состав питающих провинций Печорского моря ...», при подчиненной роли вулканических толщ Пай-Хоя, Вайгача и Новой Земли, обращал внимание М.А. Левитан с соавторами [2007].

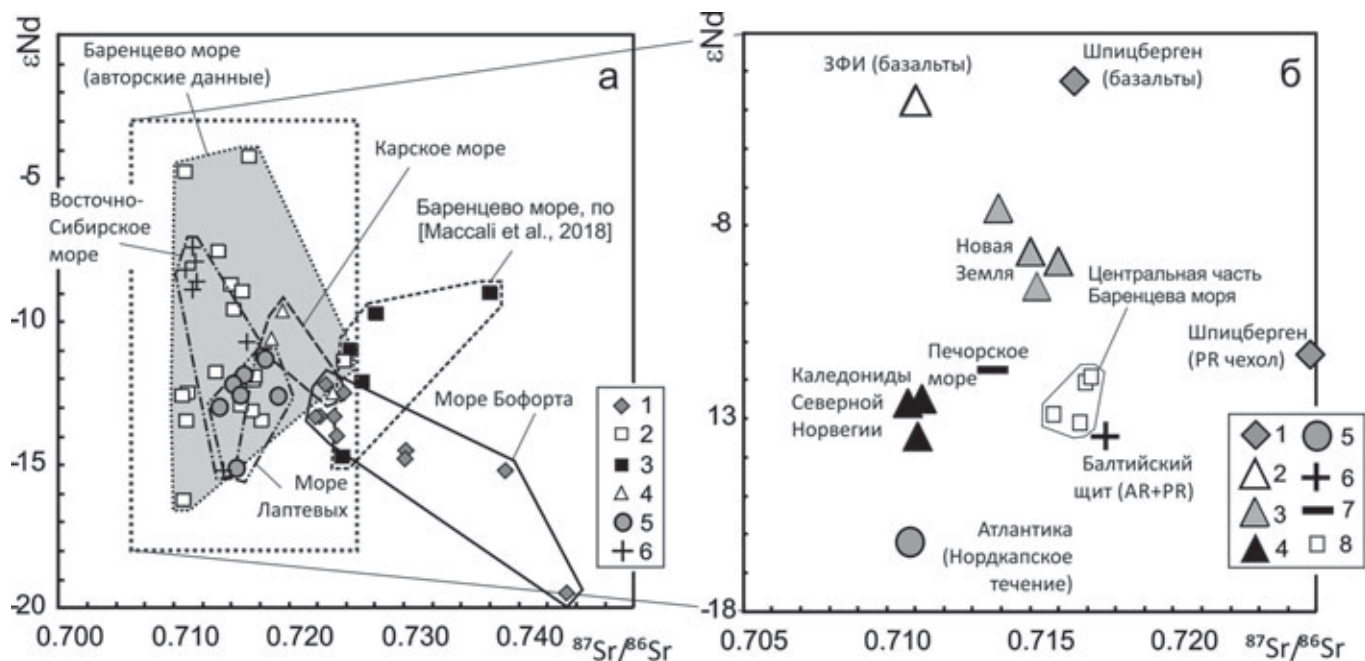


Рис. 9.5.13. Диаграмма $^{87}Sr/^{86}Sr$ – ϵ_{Nd} для поверхностных отложений ряда морей Евразийской части Северного Ледовитого океана и моря Бофорта, по [Maccali, Hillaire-Marcel, 2018] (а) и проб донных осадков, отобранных в Баренцевом море в 67 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (б):

а: 1 – море Бофорта, 2 – Баренцево море (авторские данные), 3 – Баренцево море, по [Maccali et al., 2018], 4 – Карское море, 5 – море Лаптевых, 6 – Восточно-Сибирское море;

б: 1–7 – возможные источники тонкой алюмосиликокластики: 1 – базальты Шпицбергена, 2 – базальты Земли Франца-Иосифа, 3 – Новая Земля, 4 – каледониды Северной Норвегии, 5 – Нордкапское течение, 6 – Балтийский щит, 7 – Печорское море; 8 – поверхностные осадки центральной части Баренцева моря

гающих архипелаг Земля Франца-Иосифа. Северный остров Новой Земли, скорее всего, не являлся поставщиком геохимически незрелой тонкой алюмосиликокластики, так как поверхностные тонкозернистые донные осадки, отобранные в заливе Русская Гавань, характеризуются более высокими значениями отношений $LR_{3\epsilon}/TR_{3\epsilon}$ и $(La/Yb)_N$, чем донные отложения пролива Кембридж. В то же время Южный остров Новой Земли, как показано на основании анализа данных о распределении тяжелых и глинистых минералов в поверхностном слое осадков Печорского моря [Левитан и др., 2003, 2007], был основным источником обломочного материала для поверхностных осадков Южно-Новоземельского желоба и, по всей видимости, всей восточной части Печорского моря. Основной вклад в формирование изотопного состава Nd и Sr донных осадков Баренцева моря вносят породы Северо-Европейской континентальной окраины. Материал с островных поднятий (ЗФИ, Новая Земля) вместе с арктическими течениями, несомненно, поступает в северную часть Баренцева моря, накапливаясь в пределах первых десятков километров от их берегов. Однако он не оказывает заметного влияния на изотопные характеристики отложений центральных районов моря. Значения ϵ_{Nd} и $^{87}Sr/^{86}Sr$

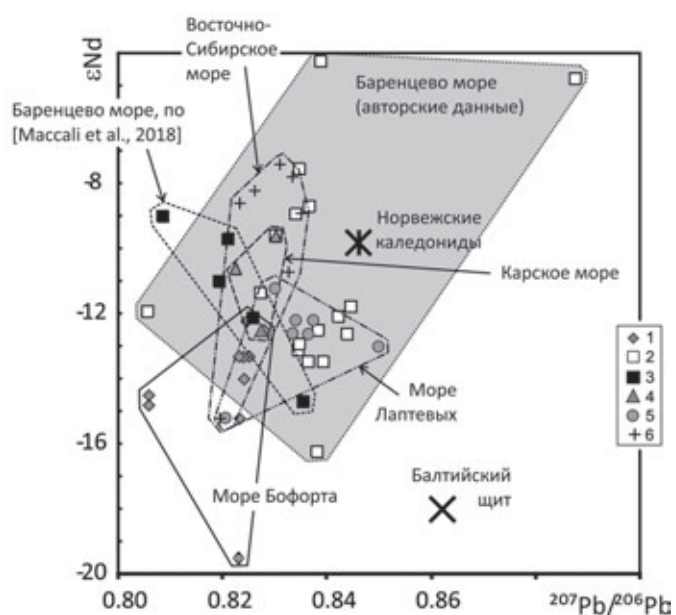


Рис. 9.5.14. Распределение точек донных осадков из морей Евразийской части Северного Ледовитого океана и моря Бофорта на диаграмме $^{207}Pb/^{206}Pb$ – ϵ_{Nd} (по [Maccali, Hillaire-Marcel, 2018] и авторским данным):

1 – море Бофорта; 2 – Баренцево море (авторские данные); 3 – Баренцево море, по [Maccali et al., 2018]; 4 – Карское море; 5 – море Лаптевых; 6 – Восточно-Сибирское море

в донных осадках центральной части Баренцева моря заметно ниже, чем соответствующие характеристики инкорпорированного во льды осадочного материала, переносимого Транспольярным дрейфом [Маслов и др., 2018а, 2018б]. Это позволяет думать, что вклад ледового разноса в формирование поверхностных донных осадков Баренцева моря невелик.

Благодарности. Авторы благодарны экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», А.В. Булохову за помощь в экспедиции, Л.В. Деминой за определение $C_{орг}$ и академику А.П. Лисицыну за ценные советы.

Источники финансирования. Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда (гранты № 14-27-00114, экспедиция, и № 14-27-00114-П, интерпретация результатов), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50090, анализ проб в ИО РАН) и проекта УрО РАН 18-9-5-1 «Источники осадочного материала и особенности формирования современных донных осадков Баренцева моря: геохимические и Sr-Nd-Pb-изотопные ограничения» (№ госрегистрации АААА-А18-118053090043-4).

9.6. Катионообменные свойства осадков Центральной впадины Баренцева моря

Г.В. Новиков, Г.И. Сычкова

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

В статье приводятся данные по изучению катионообменных свойств осадков Центральной впадины Баренцева моря относительно тяжелых металлов. Эксперименты проводились как на осадках натуральной влажности, так и после удаления из них иловой воды. Максимально установленные значения равновесной обменной емкости осадков, содержащих и не содержащих иловую воду, практически совпадают между собой и составляют (в мг-экв/г) по Mn, Ni, Zn, Cd – 0.20–0.28; Pb – 0.28–0.40; Cu – 0.36–0.66. По полученным значениям обменной емкости осадки относятся к классу адсорбентов. Изучено влияние крупности осадков и концентрации растворов солей металлов на поглотительную способность осадков. Сделаны выводы о том, что, с одной стороны, осадки способствуют круговороту катионов тяжелых металлов в морской среде, с другой стороны, их можно рассматривать как в качестве очистителей, так и загрязнителей морских акваторий.

Ключевые слова: донные осадки, тяжелые металлы, обменная емкость, адсорбенты.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(33)

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых задач геохимии, минералогии и литологии морских осадков является изучение механизмов концентрирования и форм нахождения в них катионов металлов. Ионообменные процессы играют значительную роль в формировании как химического и минерального состава донных отложений, так и химического состава морской воды. Осадки и морская (придонная и иловая) вода представляют собой сложную гетерогенную систему, компоненты которой находятся в подвижном равновесии. Катионный состав обменного комплекса осадков является отражением этого равновесия и, как правило, соответствует катионному составу морской воды. В ходе осадконакопления под действием различных взаимодополняющих друг друга химических, микробиохимических и физических процессов возможна существенная трансформация вещества гетерогенной системы, приводящая к формированию нового обменного комплекса осадков и другого типа иловых вод. В связи с этим, изучение катионообменных свойств осадков важно

для исследования процессов диагенеза и аутигенного минералообразования, а также при взаимодействии придонных и иловых вод с осадками и вновь образовавшимися минералами. Кроме фундаментального аспекта данной проблемы существует и прикладной – экологический. Развитые горно-промышленный и металлургический комплексы на севере Кольского полуострова, с одной стороны, и начавшееся освоение нефтяных и газовых месторождений на западно-арктическом шельфе морей России (открыто более 10 месторождений, из которых 4 нефтяных, 3 газовых, 3 газоконденсатных и одно нефтегазоконденсатное [Мнацаканян и др., 2002]), с другой стороны, ставят неотложную задачу по изучению экологической обстановки морской среды в данном регионе.

Одними из основных загрязняющих веществ являются содержащиеся в осадках реакционноспособные (подвижные) формы катионов тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Co, Cd, Pb и др.), относящиеся к различным классам токсичности. Поступая в морскую воду, они проходят длинный путь миграции до