

УДК 551.35

## ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2020 г. Т. Н. Алексеева<sup>1, \*</sup>, Н. В. Политова<sup>1, \*\*</sup>, Н. В. Козина<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

\*e-mail: tania@blackout.ru

\*\*e-mail: politova@ocean.ru

Поступила в редакцию 26.05.2020 г.

После доработки 01.06.2020 г.

Принята к публикации 22.06.2020 г.

В работе приводятся данные гранулометрического анализа по результатам изучения 44 поверхностных (0–5 см) проб осадков, полученных в 67-ом рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (2016 г.) дночерпателем из разных частей Баренцева моря. Галечный и гравийный материал встречается в поверхностных осадках в виде примесей, рассеянных по всей акватории моря. Такой хаотичный характер распространения, по-видимому, связан с ледовым разносом. Грубообломочный материал наиболее распространен в Баренцевом море у берегов Кольского полуострова, у берегов Новой Земли, Шпицбергена, где он накапливается благодаря абразии берегов, ледниковой экзарации, эрозии дна. Кроме того, фракция >1 мм распространена на глубинах, где происходит взмучивание и вымывание тонких фракций. Наиболее распространенными осадками на прибрежном мелководье являются пески. Пески (0.1–1 мм) распространены широкой полосой в южной и юго-восточной области моря, в районе Печорского полигона, Канинского мелководья, Кольского полуострова, и на северо-западе, у берегов Шпицбергена. С увеличением глубины песчаные отложения сменяются смешанными осадками с небольшой примесью пелита. В центральной части моря распространены в основном пелитовые осадки. Осадки с содержанием пелитовой фракции (<0.01 мм) более 50% занимают около 70% площади Баренцева моря. Они широко распространены в глубоководных впадинах и желобах, а также в многочисленных фиордах Северного острова Новой Земли и Земли Франца-Иосифа.

**Ключевые слова:** Баренцево море, донные осадки, гранулометрический состав

DOI: 10.31857/S0030157420050020

Важным инструментом в познании седиментационных процессов является гранулометрический анализ. Результаты его позволяют охарактеризовать фракционный состав осадка, сделать выводы о его генезисе и особенностях накопления [37]. Гранулометрический анализ следует рассматривать в качестве вспомогательного метода выявления генезиса отложений, дополняющего сведения о вещественном составе и условиях седиментации. В задачи данной работы входило исследование современной седиментационной системы, обработка и интерпретация новых данных по гранулометрическому анализу донных осадков, полученных в 67-ом рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Баренцевом море [34].

Баренцево море является самым западным из всех российских арктических морей и относится к типу материковых окраинных. Для осадочного процесса в арктических морях характерен особый тип седиментогенеза – ледовый морской [19, 21, 41], который характеризуется наличием преиму-

щественно терригенных осадков, специфичных по способам подготовки осадочного вещества, его транспортировки и отложения, и большим влиянием ледового разноса.

Изучение осадков в Баренцевом море началось еще в 20-х годах XX века [9, 15]. Институт океанологии им. П.П. Ширшова работает в Баренцевом море более 40 лет, изучая процессы современного осадкообразования [1, 3, 13, 14, 28–30]. Постоянные работы в данном регионе ведут такие организации, как Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН [25, 27, 35, 38], Морская арктическая комплексная экспедиция [4], ВНИИОкеангеология [2, 12], ВСЕГЕИ [36], Зоологический институт РАН [8], в западной части моря – зарубежные ученые [40, 45 и др.].

### ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Площадь Баренцева моря равна 1424 тыс. км<sup>2</sup>, объем водной массы 316 тыс. км<sup>3</sup> [10]. Жидкий

речной сток (вместе с Беломорским стоком) равен 463 км<sup>3</sup>/год, а твердый сток – 17.9 млн т [39]. Терригенный материал поступает в акваторию Баренцева моря в результате размыва материковых, островных и подводных поднятий, абразии берегов, а также при участии ледниковой экзарации. По оценкам [44], за счет эолового привноса в Баренцево море также поступает дополнительно 0.904 млн т/год твердого осадочного вещества.

Для Баренцева моря характерно разнообразие береговых процессов и типов берегов. Наибольшую протяженность имеют абразионные берега, мало измененные или практически не измененные морем. На севере Скандинавского полуострова и на архипелагах побережье изрезано фьордами, побережье Кольского полуострова, сложенное преимущественно гранито-гнейсами, мало расчленено. Берега о. Северный арх. Новая Земля, арх. ЗФИ, о-вов Западный Шпицберген и Северо-Восточная Земля в большей части представлены ледниками [6]. Берега юго-восточной части моря и о. Колгуев низменные, пологие, среди них преобладают термоабразионные и выровненные аккумулятивные.

Рельеф дна. Ложе Баренцева моря представляет собой сложно расчлененную подводную равнину с неровной поверхностью, несколько покатой к западу и северо-востоку. В целом для водоема характерно чередование подводных плато и желобов, пересекающих его в разных направлениях и имеющих ступенчатые, обрывистые или пологие склоны. Средняя глубина моря составляет 200 м, но при этом в Медвежинском желобе она составляет 600 м, а на прибрежных мелководьях не превышает 100 м [8, 23].

Пересеченный рельеф дна существенно сказывается на гидрологических условиях моря. Н.Н. Зубов [11] справедливо считал Баренцево море классическим примером влияния рельефа дна на гидрологию моря. Гидрологический режим Баренцева моря формируется под воздействием циркуляционных процессов различного происхождения: теплых атлантических и речных вод, холодных полярных и местных вод [7]. Наиболее открыто море для водообмена с Атлантическим океаном и центральной частью Северного Ледовитого океана. Теплое Северо-Атлантическое течение приходит с юго-запада и разделяется на движущиеся на восток Нордкапское (затем Мурманское) и на север – Шпицбергенское течения, воды которого проникают в Баренцево море не только у южных берегов Шпицбергена по желобу Стурфьорд, но и, огибая архипелаг, с севера через систему желобов. Основные пути проникновения холодных арктических вод – желоба на северной границе моря, такие как Франц-Виктория, и северо-восточная граница моря (между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля).

Водообмен Баренцева моря с Карским на востоке ограничен благодаря узости и относительной мелководности проливов Югорский Шар, Карские Ворота и Маточкин Шар. Связь с Белым морем через пролив Горло Белого моря более свободная. Годовое поступление вод из соседних морских водоемов достигает 20% от общего объема моря [8].

Положение Баренцева моря в высоких широтах за полярным кругом, непосредственная связь с Атлантическим океаном и Центральным арктическим бассейном определяют основные черты климата моря. В целом это полярный морской климат, который характеризуется продолжительной зимой, коротким холодным летом, малой годовой амплитудой температуры воздуха, большой относительной влажностью. В то же время значительная меридиональная протяженность моря, поступление больших масс теплых атлантических вод на юго-западе и приток холодных вод из арктического бассейна создают климатические различия от места к месту [10].

Ледовый режим играет весьма важную роль и в значительной степени определяет особенности седиментации и рельефообразования в Арктических морях. При этом стоит отметить, что Баренцево море, в отличие от других морей Арктики, никогда полностью не замерзает, и около ¼ его площади остается свободной ото льда в течение всего года [7]. Во все сезоны года остается свободной ото льда только юго-западная часть моря. Наибольшего распространения ледяной покров достигает в апреле, когда около 75% поверхности моря занято плавучими льдами. На северо-западе и северо-востоке моря льды держатся обычно круглый год, но в отдельные, благоприятные годы море практически полностью освобождается ото льдов [7].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работы проводились практически по всей акватории Баренцева моря в сентябре 2016 г. (67-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш”), карта-схема станций отбора проб представлена на рис. 1. Исследования проводили как на разрезах (Медвежинский желоб, меридиональном Норвегия–Шпицберген, Кольский меридиан, широтном Шпицберген–Земля Франца-Иосифа), пересекающих основные потоки переноса осадочного вещества или идущих вдоль них, так и в районах с разными условиями осадкообразования, условно названных полигонами: Печорское море, Центрально-Баренцевоморский (Штокманский), залив Русская Гавань (Северный остров архипелага Новая Земля), пролив Кембридж (Земля Франца-Иосифа) (табл. 1).

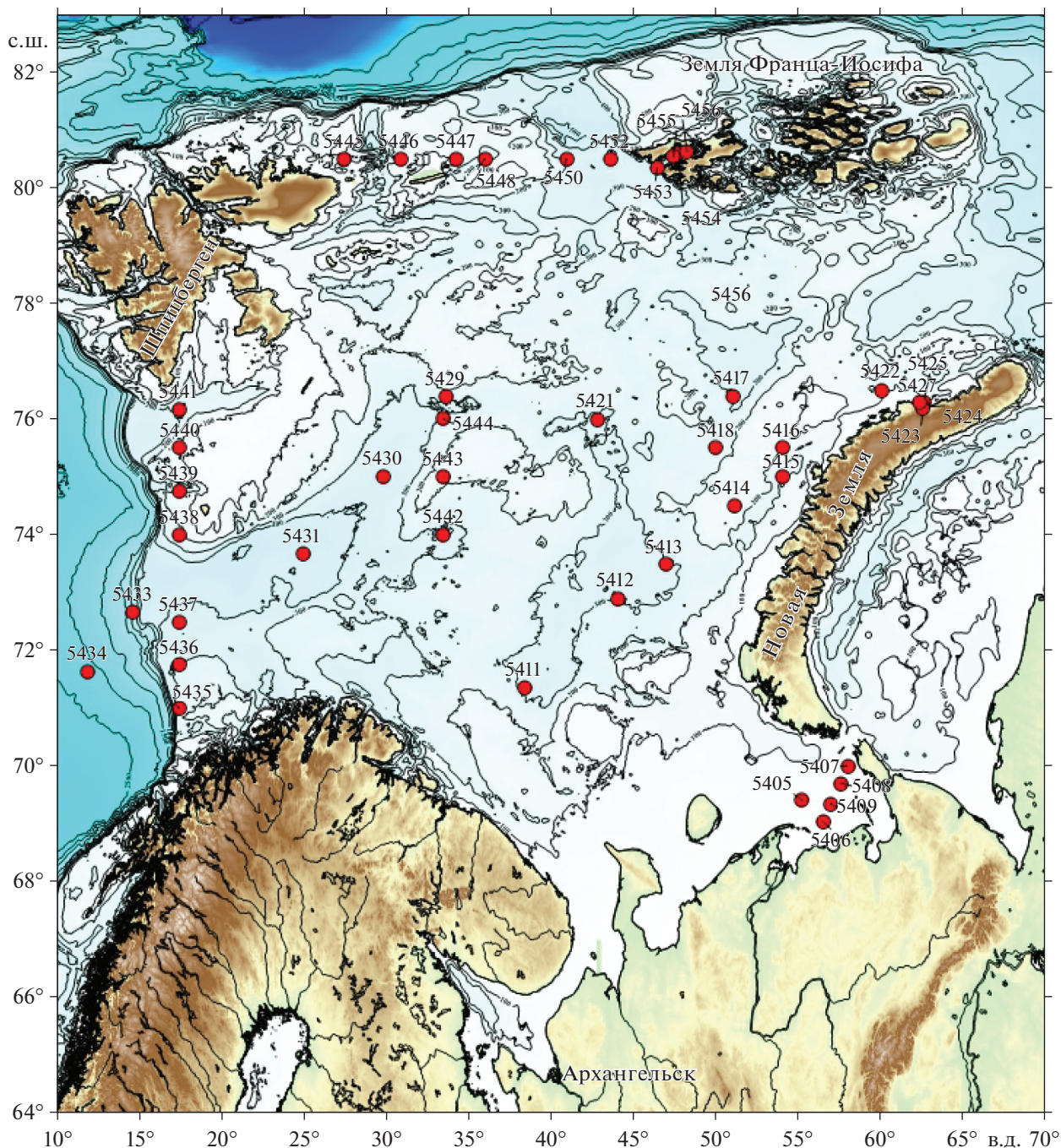


Рис. 1. Схема расположения станций в Баренцевом море (67-ой рейс НИС "Академик Мстислав Келдыш") [34].

Отбор проб осадка производили с помощью дночерпателя (ДЧ) "Океан-50", для изучения собирали по возможности самый верхний слой (0–5 см), еще не затронутый или слабо затронутый процессами диагенеза. Литологическое описание осадка проводили на борту судна по методике Лисицына и Петелина [22]. Определение цвета осадка выполнено с помощью каталога для определения цвета почв Munsell soil-color charts with genuine Muncell® color chips 2009 year revised pro-

duction [42]. Гранулометрический состав определяли в Лаборатории физико-геологических исследований ИО РАН по методике Петелина [33]. Тип осадка определяли согласно классификации морских донных осадков Безрукова, Лисицына [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Самыми распространенными осадками в Баренцевом море являются пелитовые (преоблада-

Таблица 1. Гранулометрические характеристики поверхностного слоя осадков Баренцева моря

Станция	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Глубина, м	Гравий (1–10 мм), %	Песок (0.1–1 мм), %	Алеврит (0.01–0.1 мм), %	Пелит (<0.01 мм), %	Md	So	Sk
Полигон Печорское море										
5405	69°25.02	55°15.01	33	0.27	92.87	4.55	2.31	0.157	1.30	1.00
5406	69°3.041	56°27.99	17	0.06	87.37	10.04	2.53	0.150	1.31	1.00
5407	70°0	57°58	47	0.28	74.64	10.38	14.7	0.139	1.39	0.99
5408	69°42.5	57°33	42	0.17	22.49	43.18	34.16	0.057	8.17	0.04
5409	69°21.3	56°55	20	0.09	91.57	7.03	1.31	0.155	1.30	1.00
Полигон Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)										
5411	71°21	38°27	346	4.19	10.76	18.12	66.93	0.002	8.37	7.03
5412	72°53.97	44°2.44	268	0.78	31.49	20.39	47.34	0.050	10.39	0.06
5413	73°30.02	47°0.197	324	0.37	6.89	5.67	87.07	0.001	2.52	3.39
5414	74°30.3	51°5	138	2.18	27.74	38.69	31.39	0.059	5.12	0.16
5415	75°0	54°0	241	11.28	4.04	4.83	79.85	0.001	3.10	3.84
5416	75°30	54°0	133	74.32	3.28	11.18	11.22	9.106	6.66	0.03
5417	76°23.6	51°0	330	0.63	1.4	8.25	89.72	0.001	2.49	3.22
5418	75°30	50°0	270	1.99	4.92	15.91	77.18	0.002	3.45	2.32
5421	75°59.8	42°47.64	376	7.77	0.74	3.15	88.34	0.001	2.77	3.70
5422	76°30.03	60°0.1	149	14.04	3.36	14.28	68.32	0.001	9.35	26.93
Залив Русская Гавань (Новая Земля)										
5423	76°17.89	62°36.16	151	13.42	1.23	9.4	75.95	0.001	3.64	6.65
5424	76°12.25	62°29.19	176	0	0.14	5.88	93.98	0.001	2.77	2.41
5425	76°11.5	62°29.91	153	0	0.11	3.69	96.2	0.001	2.19	2.52
5427	76°17.55	62°18.34	60	30.04	13.12	10.76	46.08	0.051	>10	2.47
Разрез Медвежинский желоб										
5429	76°22.96	33°37.79	278	0.39	18.17	15.91	65.53	0.002	9.85	10.62
5430	75°0	29°50.21	389	0	3.03	6.05	90.92	0.001	2.77	3.96
5431	73°40.03	25°0.231	462	0	1.35	7.93	90.72	0.001	2.37	3.09
5433	72°40.02	14°40.11	773	11.46	43.79	10.38	34.37	0.001	2.40	2.89
5434	71°37.82	11°57.01	2223	0.48	6.58	8.3	84.64	0.113	8.54	0.04
Меридиональный разрез Норвегия–Шпицберген										
5435	71°0	17°30	236	17.04	35.21	7.43	40.32	0.001	2.79	2.41
5436	71°45.11	17°30.29	308	7.53	62.79	5.71	23.97	0.109	>10	0.08
5437	72°30	17°30.11	353	1.94	35.23	12.19	50.64	0.144	3.90	0.16
5438	74°0.01	17°29.88	212	2.65	59.54	7.16	30.65	0.010	>10	1.53
5439	74°45.21	17°31.59	276	0.58	80.08	6.17	13.17	0.123	6.94	0.05
5440	75°30	17°30.36	166	69.01	8.19	8.13	14.67	0.145	1.35	1.00
5441	76°10.17	17°29.69	316	0.58	1.39	5.15	92.88	10.000	8.53	0.01
Разрез Кольский меридиан										
5442	74°0.034	33°30.06	329	0	9.47	15.9	74.63	0.001	2.40	2.73
5443	75°0.037	33°30.09	148	17.66	40.56	15.81	25.97	0.001	3.94	7.77
5444	76°0.03	33°30.11	308	3.25	8.32	20.93	67.5	0.132	6.87	0.19
Широтный разрез Шпицберген–Земля Франца-Иосифа										
5445	80°30	27°30.06	175	76.59	3.5	14.88	5.03	0.003	5.47	2.10
5446	80°29.96	30°54.02	181	2.22	15.42	20.79	61.57	8.355	1.63	0.54
5447	80°29.99	34°17.67	135	30.24	25.53	12.96	31.27	0.002	9.16	8.02
5448	80°30.02	36°0.001	272	0	0.57	2.16	97.27	0.145	>10	0.57
5450	80°30.02	40°55.89	318	0	8.28	24.09	67.63	0.001	2.44	2.78
5452	80°30.04	43°38	384	0.34	0.97	5.67	93.02	0.001	5.96	9.13
Пролив Кембридж (Земля Франца-Иосифа)										
5453	80°19.99	46°26.76	404	1.49	1.78	15.48	81.25	0.001	3.09	2.35
5454	80°35.6	47°42.14	638	0.95	1.17	5.73	92.15	0.001	2.22	2.67
5455	80°32.02	47°24.39	548	0.35	0.99	5.37	93.29	0.001	2.34	3.06
5456	80°36.83	48°15.17	594	0.52	0.33	12.2	86.95	0.001	2.81	4.10

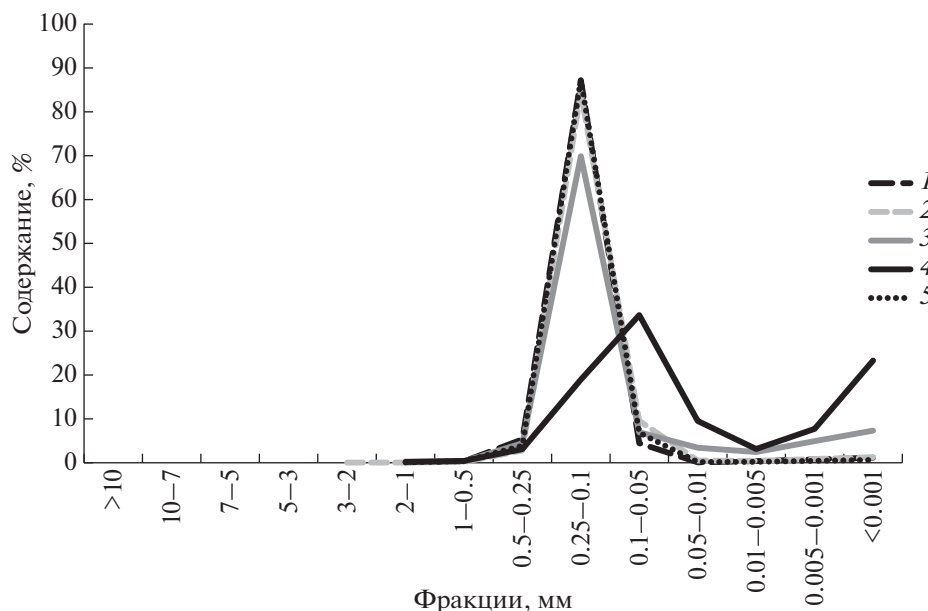


Рис. 2. Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое осадков на Печорском полигоне. Станции: 1 – 5405, 2 – 5406, 3 – 5407, 4 – 5408, 5 – 5409.

ющая фракция <0.01 мм) илы, занимающие более 50% его площади [29, 31, 40]. Высокий процент тонкого материала объясняется следующими причинами: – основная осадкообразующая роль в восточной части Баренцева моря принадлежит тонкому материалу, поставляемому ледниками Новой Земли; – гидродинамическая обстановка в бассейне такова, что силы течений хватает для переноса только тонкого материала; – система течений в Баренцевом море имеет замкнутый, циклонический характер, поэтому тонкий материал не выносится за пределы шельфа [31]. Распределение выделенных типов осадков по площади дна подчиняется правилам вертикальной и циркумконтинентальной зональности: на малых глубинах или вблизи берегов распространены пески, глубже и дальше от берега алевриты и илы.

Рассмотрим гранулометрические типы осадков по выделенным районам.

**Полигон Печорское море.** Печорское море представляет собой субгоризонтальную аккумулятивную равнину с глубинами до 90 м и протяженностью 100–140 км с севера на юг и 350–400 км с запада на восток. В Печорском море, в отличие от открытой акватории Баренцева моря, определенное влияние на процессы современного осадконакопления оказывает ледовый режим, наличие многолетней мерзлоты на берегах, а также процессы солифлюкции и термообразования [32]. Одним из источников поступления осадочного материала в Печорское море является река Печора. Осадочный материал речного происхождения после прохождения маргинального фильтра [20] по-

ступает в акваторию Печорской губы, а затем уже часть его выносится в море с помощью стоковых и приливно-отливных течений. Распределение осадков в Печорском море представляет собой достаточно мозаичную картину [8]. Для осадков, сформированных на малых глубинах, характерным является обогащение их песком.

На полигоне Печорское море поверхностный слой донных осадков представлен отложениями преимущественно песчаной и алевритово-песчаной размерности (табл. 1, рис. 2), коричневого цвета (10YR/4/3) с примесью незначительного количества гравийного и галечного материала. В осадке присутствует примесь раковинного материала, целые створки раковин моллюсков 3–5 см и их обломки. В осадках на станциях 5407, 5408 отмечено большое количество полихет и их чехлов. Среди песков преобладают мелкозернистые разновидности, в которых большую часть составляет фракция 0.25–0.1 мм (станции 5405, 5406, 5407, 5408, 5409). Среди песчаных отложений Печорского моря по гранулометрическому составу выделяются “чистые” пески, суммарное содержание песчаных фракций в которых составляет более 90% (на ст. 5405 пески составляют 92.87%, а на ст. 5409 – 91.57%) (рис. 3). Нижняя граница распространения “чистых” песков ограничивается изобатой 50 м, что соответствует зоне максимального волнового воздействия на дно [7].

Гистограммы осадков – одновершинные с максимумом в мелких песках (до 87.33%), – характеризуют хорошо сортированные осадки, что говорит о нормальном ходе механической дифференци-

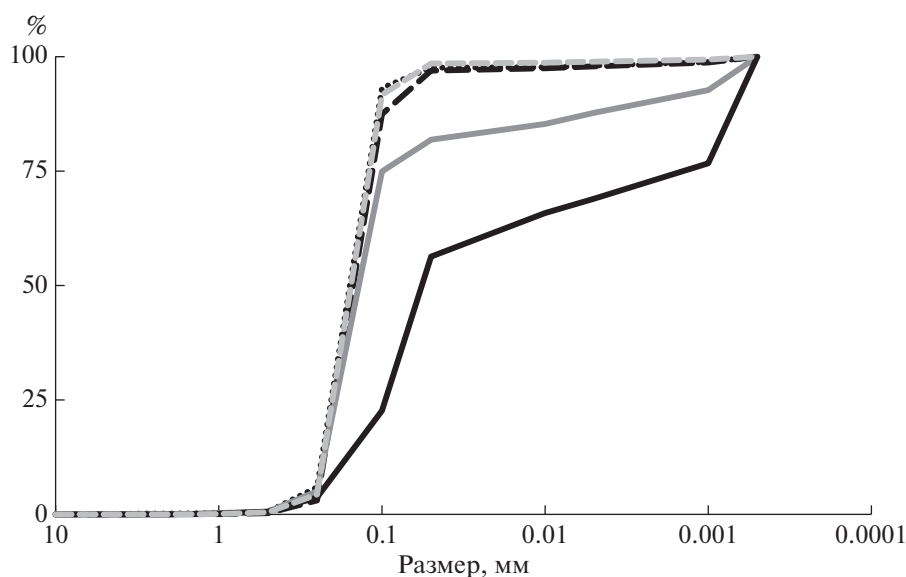


Рис. 3. Кумулятивные кривые гранулометрического состава поверхностных донных отложений Печорского моря.

ции и стабильном гидродинамическом режиме (рис. 2). Кумулятивные кривые, построенные по гранулометрическим анализам осадков Печорского моря (за исключением осадков на ст. 5408), также подтверждают их хорошую сортированность ( $S_0 < 2$ ), близкие значения моды  $M_0$  и медианы  $M_d$  (рис. 3).

На ст. 5408 “чистые” разности сменяются смешанными осадками, где преобладают алеврит (43.18%), причем, в основном крупный (33.67%), и пелит, преимущественно мелкий (34.16 и 23.29% соответственно), коричневого (10YR/4/3) и оливково-коричневого цвета (2.5Y/4/3), окисленный, с примесью гравийного и галечного материала, каменный материал ожелезнен. Такие миктиты в целом более крупнозернистые (песчаные) отмечались в Печорском море и другими исследователями [18]. Их образование чаще всего объясняется наличием разных источников сноса.

**Полигон Центрально-Баренцевоморский (Штокманский)** протягивался с юга на север по центру российской части Баренцева моря: от Южно-Баренцевоморской впадины до впадины Персея.

На Центрально-Баренцевоморском полигоне поверхностные осадки представлены преимущественно тонкими и средними пелитовыми илами оливково-коричневого цвета (2.5Y/4/3) с примесью песчаного, гравийного, галечного и валунного материала, с большим количеством полихет и их чехлов (табл. 1, рис. 4). Содержание пелитовых фракций на станциях в центре моря колеблется от 11.22 до 96.2%. Осадки средне- ( $S_0$  около 2) или плохо ( $S_0 > 3$ ) сортированы (рис. 5).

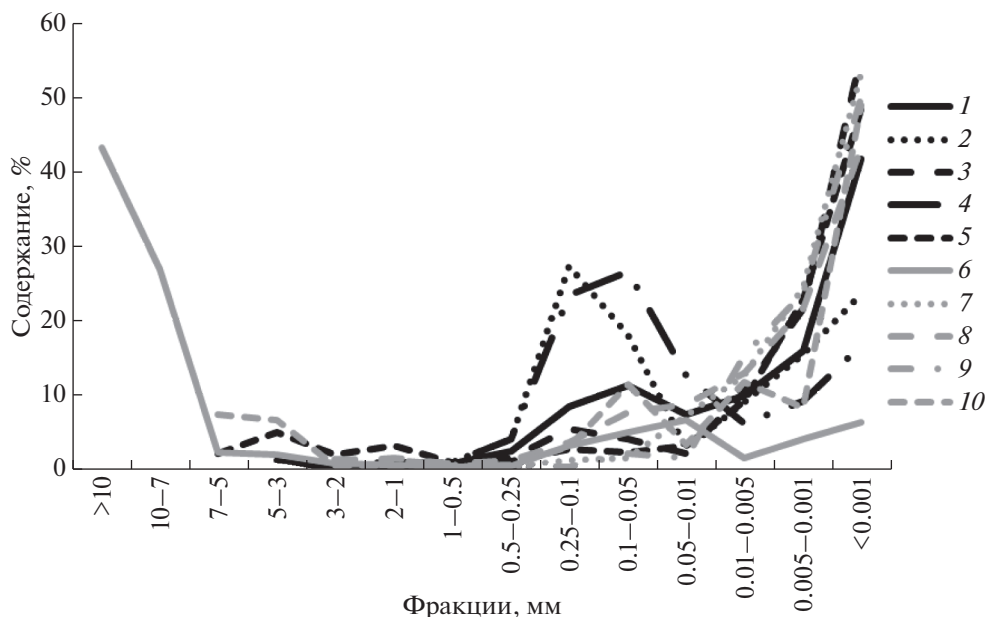
Осадки на ст. 5411, расположенной на склоне Южно-Баренцевоморской впадины у Канинской

банки (346 м), представлены песчанисто-алеврито-пелитовым илом оливково-коричневого цвета (2.5Y/4/4) с примесью раковинного детрита (< 2%), присутствуют полихеты и их чехлы. Ил содержит 66.93% пелита, 18.2% алеврита, 10.76% песка и 4.19% гравия (рис. 6).

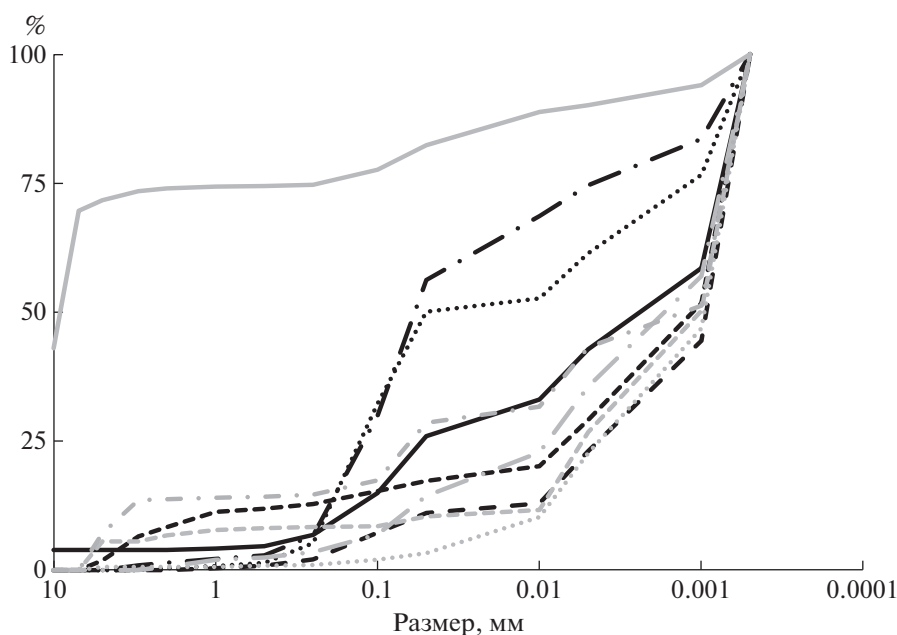
Осадки на станциях 5412 и 5414 имеют смешанный гранулометрический состав, представлены алеврито-пелитовым илом темно серо-коричневого цвета (5Y/3/2) с примесью большого количества хорошо окатанного песчаного, гравийного, галечного и валунного материала. Осадки ст. 5416 содержат 74.32% крупнозернистого материала (>1 мм). Возможным способом его переноса является ледовый разнос. Эти станции находятся вблизи архипелага Новая Земля, который поставляет грубообломочный материал как водотоков, так и ледников, а также ледового припая. Хорошая окатанность крупных обломков может быть обусловлена волновым воздействием на обломки в пляжевой области, откуда далее они могли с припайными льдами переноситься и захораниваться в центре моря.

**Полигон Залив Русская Гавань (Новая Земля).** Залив Русская Гавань, расположенный на севере архипелага, состоит из двух бухт (Воронина и Откупщикова), разделенных полуостровом Горякова. Бухта Откупщикова в своей кутовой части представлена крутым обрывом ледника Шокальского – одного из выводных языков области покровного оледенения Северного острова архипелага [16]. Именно ледник является самым значимым источником осадочного вещества для залива.

В заливе Русская Гавань осадки отобраны на глубинах 60–176 м (табл. 1, рис. 7, 8). Донные отло-



**Рис. 4.** Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое осадков на полигоне Центрально-Баренцевоморский (Штокманский). Станции: 1 – 5411, 2 – 5412, 3 – 5413, 4 – 5414, 5 – 5415, 6 – 5416, 7 – 5417, 8 – 5418, 9 – 5421, 10 – 5422.



**Рис. 5.** Кумулятивные кривые гранулометрического состава поверхностных донных отложений Центрально-Баренцевоморского полигона.

жения более глубоководных станций внутри залива: 5424 (176 м) и 5425 (153 м) – представлены однородным, мягким, пластичным пелитовым илом серого цвета (5Y/5/1), в них присутствует гидротроилит, зафиксированы крупные полихеты, без чехлов. Гранулометрический анализ этого материала показал, что доля песчаных и алеврито-

вых фракций в нем очень мала, основную часть терригенного материала составляют пелитовые илы. Это наиболее тонкий тип осадков, содержащий от 93.98 до 96.2% фракции <0.01 мм. Гравийные отложения встречаются на глубинах 60 и 151 м на станциях, расположенных вне залива. Осадки ст. 5427 представлены песчано-алеври-

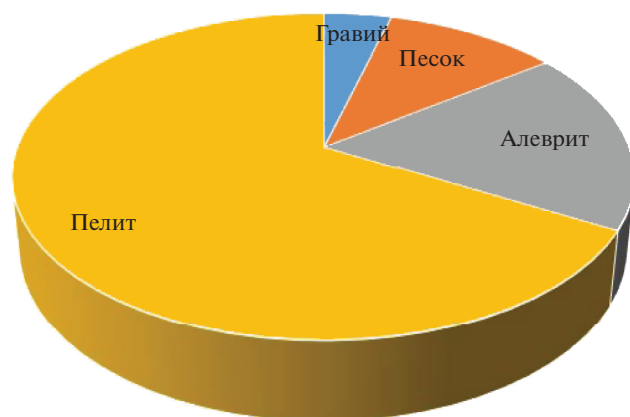


Рис. 6. Циклограмма гранулометрического состава ст. 5411 на склоне Южно-Баренцевоморской впадины.

то-пелитовым илом темно-зелено-серого цвета (Gley1/4/10Y) с примесью гравийного и галечного материала. Большая часть обломков пород имеет хорошую окатанность, материал покрыт розовой карбонатной коркой, красными водорослями. На обломках пород наблюдаются баянусы и мшанки. Осадки ст. 5423 — это песчано-алеврито-пелитовый ил темно-серого цвета (5Y/4/1) с примесью гравийного материала, в осадке наблюдаются полихеты и их чехлы.

Таким образом, влияние ледников Новой Земли на осадкообразование в северной части бассейна достаточно велико, оно проявляется не только в разносе обломочного материала ледниковыми глыбами, но и поступлением в море тонкодисперсного материала при таянии ледников [31, 43].

**Разрез Медвежинский желоб.** Медвежинский желоб находится в западной части Баренцева моря и охватывает наиболее глубоководную его часть, представляет собой широкую асимметричную долину, тальвег которой прижат к северному борту. Простирается желоба северо-восточное. Глубина осевой части желоба в целом понижается с востока на запад, а дно представляет собой сложное сочетание макроформ рельефа. Северо-западный борт желоба относится к крутым подводным склонам ступенчатого строения, юго-восточный борт пологий [26]. Краевые шельфовые желоба являются основными путями транзита осадочного вещества с шельфа в область континентального склона [17, 24], поэтому в этих районах значима роль гравитационных литодинамических процессов [35]. Есть данные, что крупные депрессии в краевых желобах Баренцева моря являются ловушками, где аккумулируются большое количество осадочного материала [27].

Донные отложения ст. 5429 в вершине желоба представлены алеврито-песчано-пелитовым илом оливково-серого цвета (5Y/4/2). Осадки Медве-

жинского желоба в его средней части в основном представлены пелитовым илом (станции 5430, 5431), окисленным, оливково-серого цвета (5Y/4/2), темно-серого цвета (5Y/4/1), наблюдается большое количество полихет и их чехлов, гидротроилитовые прослои, ожелезненные стяжения и трубки. Содержание фракции <0.001 мм более 90% (табл., рис. 9). Интересно, что по соотношению фракций 0.01–0.005 мм, 0.005–0.001 мм и менее 0.001 мм осадки этих станций почти не отличаются друг от друга, что позволяет говорить об общем их источнике и механизме поступления. На ст. 5433 на перегибе континентального склона залегают донные осадки смешанного типа (гравий — 11.46%, песок — 43.79%, алеврит — 10.38%, пелит — 34.37%). Пелитовый ил на ст. 5434, расположенной практически у подножья континентального склона, на границе Баренцева и Норвежского морей, серого цвета (2.5Y/5/1), в нем наблюдаются полихеты и их чехлы, стяжения и трубки, встречаются фораминиферы песчаной размерности.

**Меридиональный разрез Норвегия—Шпицберген.** На меридиональном разрезе Норвегия—Шпицберген осадки содержат от 35.21 до 80.08% песков (табл. 1, рис. 10). Одни пробы имеют смешанную структуру со значительной примесью гравийного материала до 17.04%, другие — значительную примесь пелитового материала до 30.65%, лишь на одной станции (5437) содержание пелитовой фракции превышает 50%.

Осадки станций 5435 (236 м), 5436 (308 м), 5438 (212 м), 5439 (276 м) имели оливково-серый (5Y/4/2), серый (5Y/5/1), серо-коричневый цвета (2.5Y/4/2), примесь гравийного, галечного и валунного материала, обломков и целых раковин моллюсков и их детрита. На поверхности осадка обнаружены губки, мшанки. На ст. 5437 (353 м) отложения представлены гравийно-песчаным пелитовым илом темно серо-коричневого цвета (2.5Y/4/2) с небольшой примесью галечного материала. Осадок заполнен спикулами губок.

Осадки ст. 5440 (166 м), расположенной на склоне Медвежинского мелководья, имеют грубообломочную структуру (до 69% гравийно-галечного материала).

В желобе Стурфьорд, ближе к берегам Шпицбергена на ст. 5441 (316 м) осадки представлены пелитовым илом темно-серо-коричневого (2.5Y/4/2) и темно зелено-серого цветов (Gley1/4/5GY), наблюдается небольшое количество полихет и их чехлов и гидротроилитовые примазки.

**Разрез Кольский меридиан.** Донные осадки отбились только в норвежской части Кольского меридиана (33°30' в.д.), практически в центре Баренцева моря. Для них характерно преобладание пелитовой



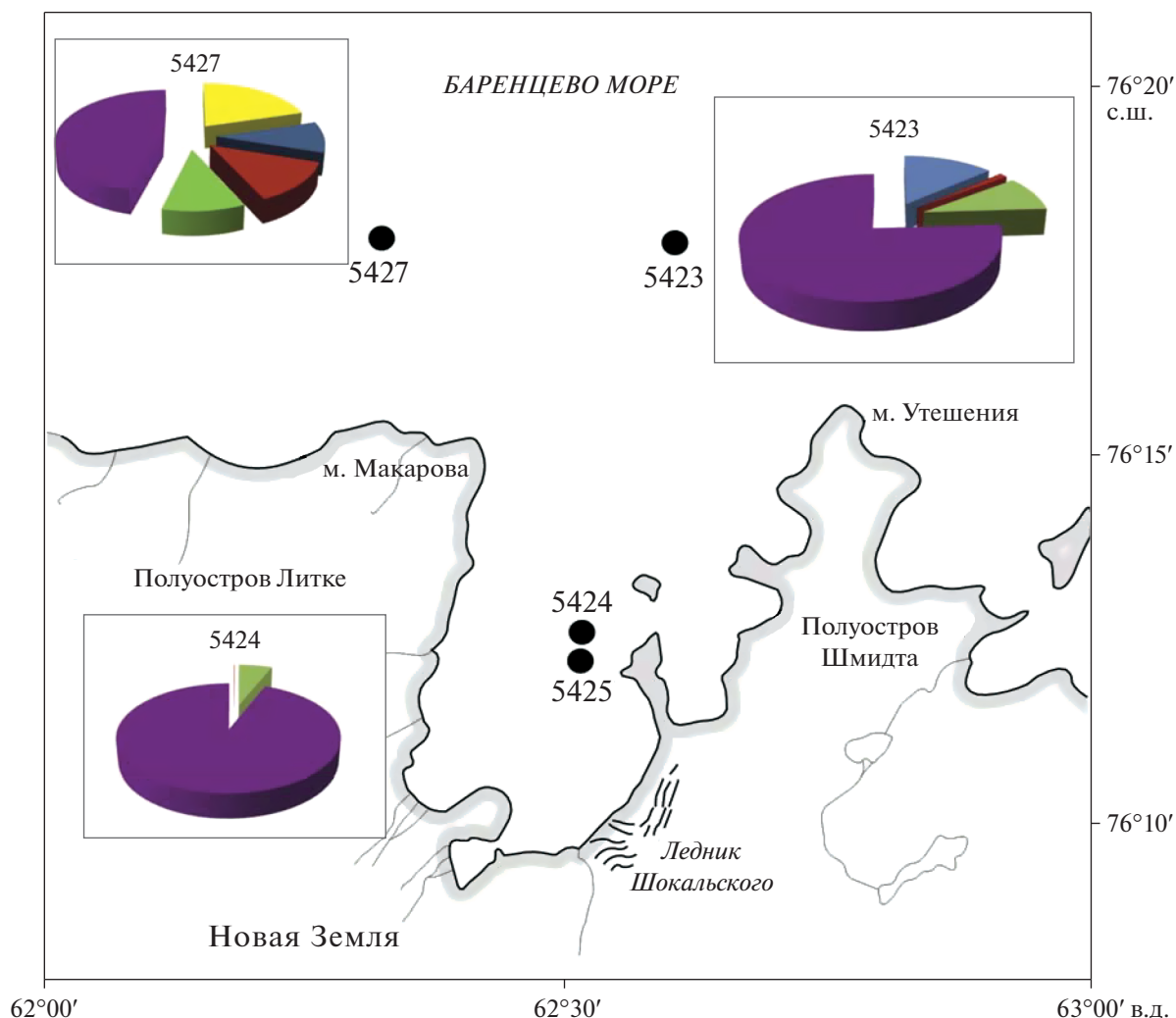


Рис. 7. Карта залива Русская Гавань (архипелаг Новая Земля) и содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое донных осадков на станциях 5423, 5424, 5425, 5427. Цветом на циклограммах выделены фракции: галечная – желтый, гравийная – синий, песчаная – красный, алевроитовая – зеленый, пелитовая – фиолетовый.

фракции в осадках впадин, огрубление и несортированность отложений на возвышенностях.

Осадки станций 5442 (329 м) и 5444 (308 м) представлены алевроито-пелитовым илом (табл. 1, рис. 11) темно серо-коричневого цвета (2.5Y/4/2), с большим количеством полихет и их чехлов, каверн. В осадке присутствует примесь гравийно-галечного материала и единичные раковины моллюсков. Отложения ст. 5443 (148 м) имеют смешанную структуру: алевроито-пелитово-песчаный ил оливково-серого цвета (5Y/4/2), с примесью гравийно-галечного материала (окатанной и средне-окатанной формы) и обломков раковинного материала (<1%). В осадке наблюдается большое количество Fe–Mn корок, трубок. Эта станция находится на Центральной возвышенности, где, вероятно, сильнее проходят процессы донной эрозии и вымывание тонкого материала, тогда как две другие расположены в глубоководье.

**Широтный разрез Шпицберген–Земля Франца-Иосифа.** Осадки на разрезе по 80°30' с.ш. имели разнообразную структуру. Содержание пелитовой фракции в отложениях менялось от 5 до 97.27% (табл. 1, рис. 12). На станциях вблизи островов архипелага Шпицбергена, где глубины не превышали 200 м, осадки грубозернистые или смешанные, тогда как, приближаясь к желобу Франц-Виктория, происходит увеличение содержания тонких фракций в отложениях.

В полосе глубин 175 м (ст. 5445) осадок представлен гравийно-галечно-валунным материалом с примесью песчано-алеврито-пелитового ила темно-серого цвета (5Y/4/1). Смешанные осадки, практически не сортированные, обнаружены на ст. 5447 (135 м). Они представлены алевроито-песчано-пелитовым илом темно серо-коричневого цвета (10YR/3/2) и серого цвета (5Y/5/1), с примесью гравийно-галечно-валунного материала.

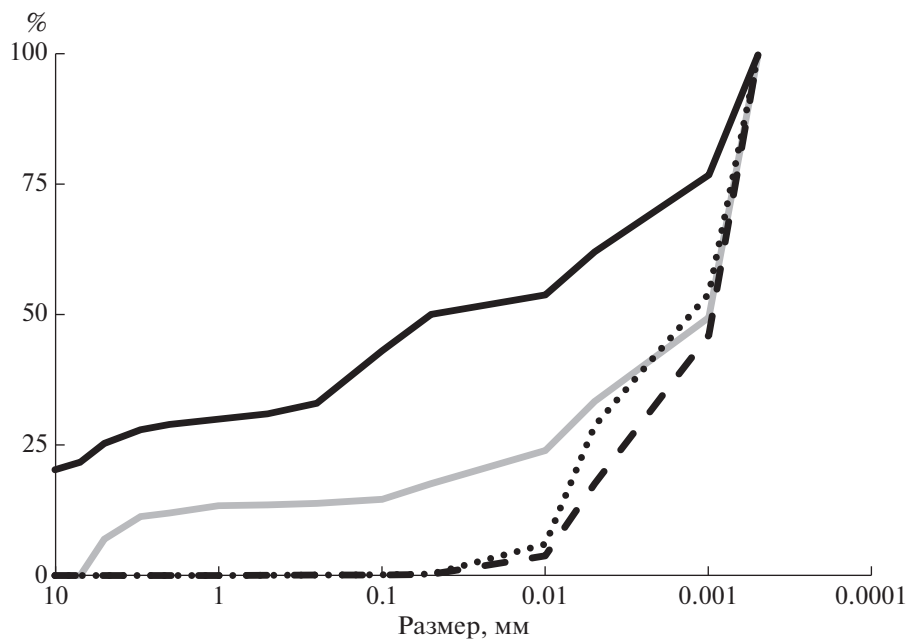


Рис. 8. Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое донных осадков залива Русская Гавань (Новая Земля).

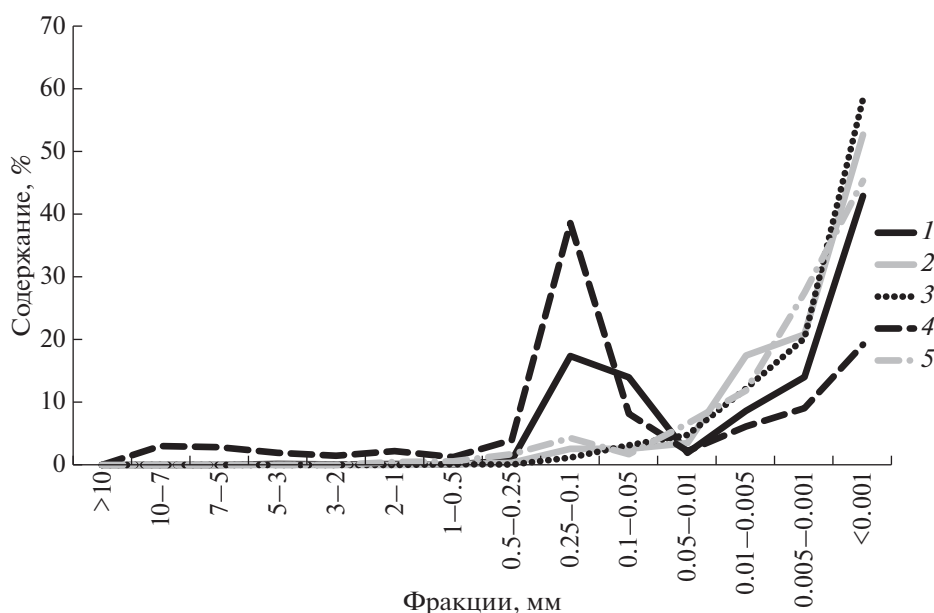
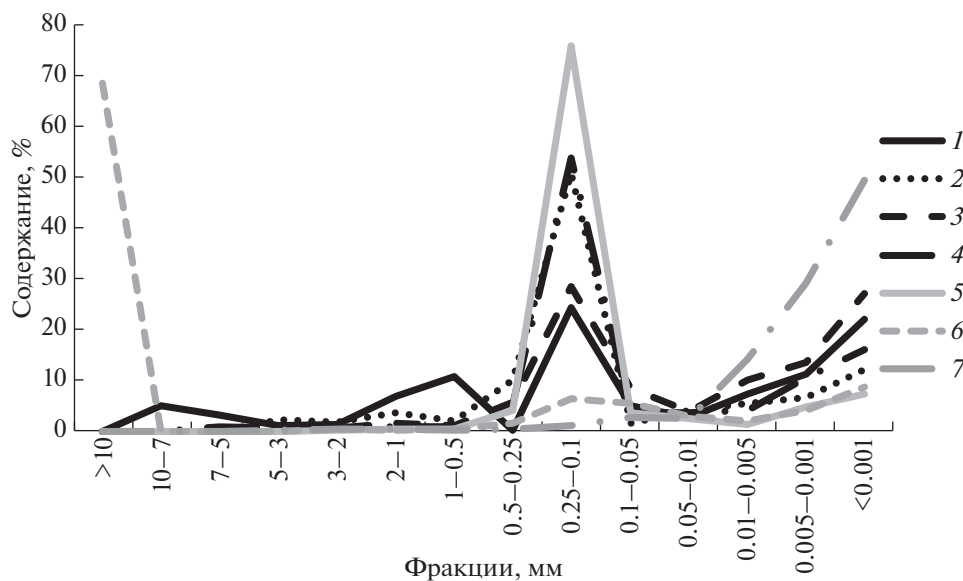


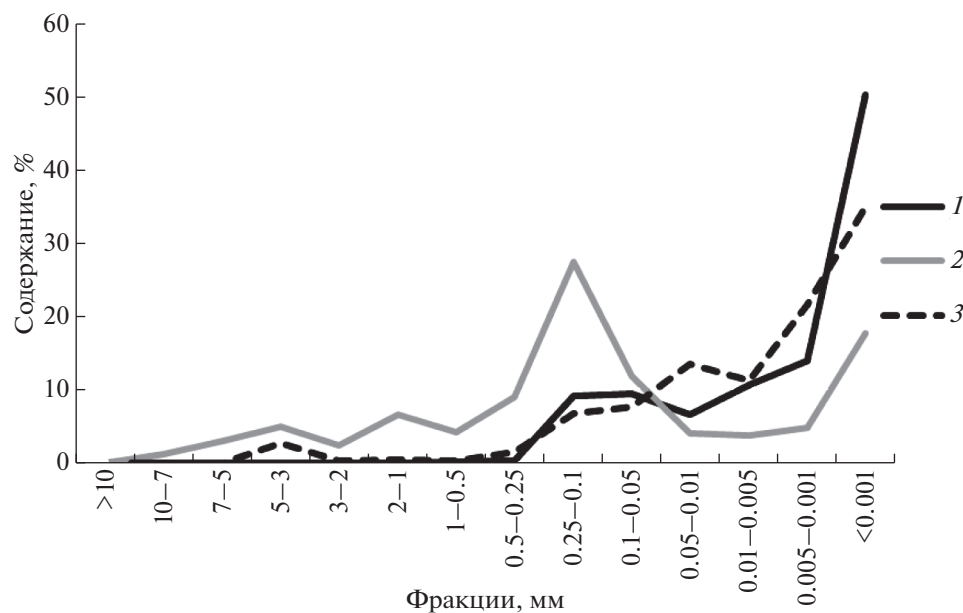
Рис. 9. Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое осадков на разрезе по тальвегу Медвежинского желоба. Станции: 1 – 5429, 2 – 5430, 3 – 5432, 4 – 5433, 5 – 5434.

В осадке встречены Fe–Mn корки, трубки. Весь каменный материал неокатанной формы. Содержание гравийно-галечной фракции в отложениях меняется от 30.24% (ст. 5447) до 76.59% (ст. 5445). Преобладающими фракциями в осадках на ст. 5445 являются фракции >10 мм (25.6%) и 10–7 мм (48.41%). Отложения станций 5446 (181 м), 5448 (272 м), 5450 (318 м), 5452 (384 м) отнесены нами к пелитовым илам серо-коричневого

(2.5Y/4/2) и зелено-серого цвета (Gley1/4/10Y) с примесью алевритового и песчаного материала, т.к. фракция <0.01 мм (61.57–97.27%) преобладает. В осадке можно наблюдать обломки раковин моллюсков (<3%), полихет и их чехлов, Fe–Mn корки, трубки, мшанки. Осадки на станциях 5446 и 5450 содержат 15.42 и 8.28% песков, это достаточно высокое содержание для таких глубин. Возможно, здесь пески спускаются на такие же глу-



**Рис. 10.** Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое на меридиональном разрезе Норвегия–Шпицберген. Станции: 1 – 5435, 2 – 5436, 3 – 5437, 4 – 5438, 5 – 5439, 6 – 5440, 7 – 5441.



**Рис. 11.** Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое на профиле Кольский меридиан. Станции: 1 – 5442, 2 – 5443, 3 – 5444.

бины, как илы из-за высокой гидродинамической активности в данных районах.

**Пролив Кембридж (Земля Франца-Иосифа).** Этот пролив расположен между островами Земля Александры и Земля Георга. Глубины в нем достигают 640 м при относительно небольшой ширине в 10 км (рис. 13). Острова покрыты ледниковыми шапками, спускающимися в море. Именно ледники являются здесь основными поставщиками осадочного материала.

Наиболее распространенными отложениями в проливе Кембридж являются пелитовые илы окисленные, темно серо-коричневого (10YR/4/2) или темно зелено-серого цвета (Gley1/3/10Y) с небольшой примесью алевритового, песчаного или гравийно-галечного материала, а также обломков раковин моллюсков (1–2%). В осадке наблюдаются ожелезненные пятна, стяжения, трубки. Осадки содержат от 81.25 до 93.29% фракции <0.01 мм (табл. 1, рис. 14), причем око-

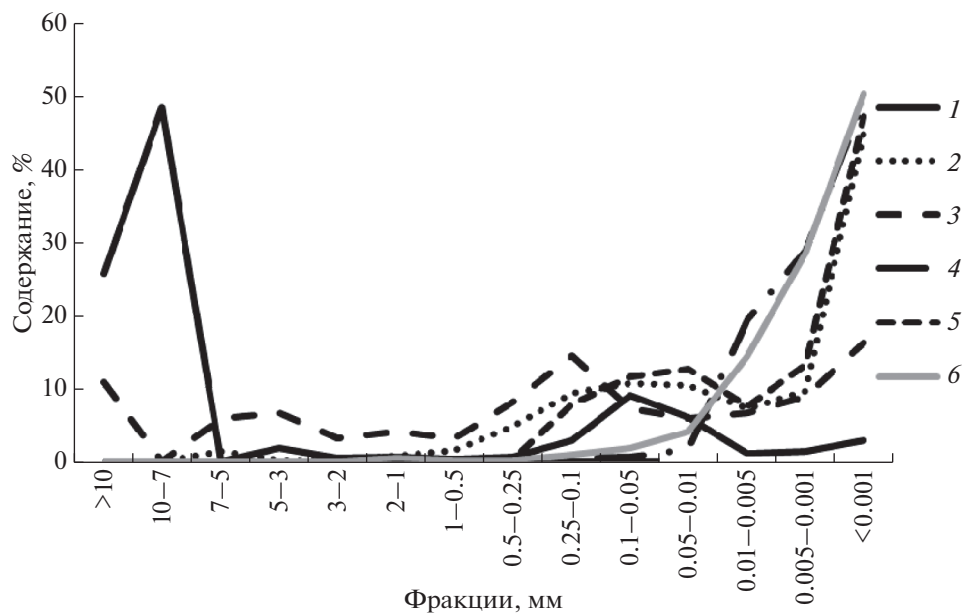
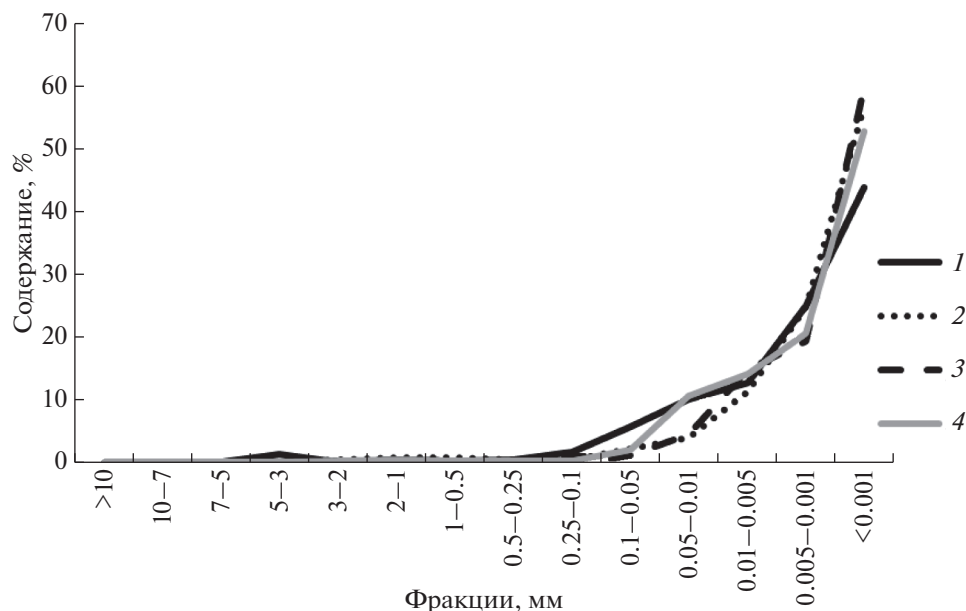


Рис. 12. Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое на широтном разрезе Шпицберген–Земля Франца-Иосифа. Станции: 1 – 5445, 2 – 5446, 3 – 5447, 4 – 5448, 5 – 5450, 6 – 5452.



Рис. 13. Карта расположения станций в проливе Кембридж, Земля Франца-Иосифа.



**Рис. 14.** Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое осадков в проливе Кембридж, Земля Франца-Иосифа. Станции: 1 – 5453, 2 – 5454, 3 – 5455, 4 – 5456.

ло или более 50% приходится на субколлоидную фракцию  $<0.001$  мм.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характерной чертой донных осадков Баренцева моря является резкое преобладание в них терригенного разнородного материала, поступающего с суши в результате разрушения кристаллических и осадочных пород. Его основными источниками являются Кольская, Тимано-Печорская, Новоземельская питающие провинции, а также, в меньшей степени, архипелаги Земля Франца-Иосифа и Шпицберген [31]. Содержание биогенного карбонатного материала, в целом невелико, но в некоторых районах концентрации его повышены. Примесь биогенных частиц (раковин моллюсков или их обломков) наблюдалась на станциях, близких к берегу, или банках в южной части моря. На континентальном склоне к Норвежскому морю встречены типично океанские осадки с большим количеством биогенных частиц (крупных раковин моллюсков, скелетов фораминифер).

При изучении ледового разноса отмечено, что в весовом отношении наибольшее количество крупнообломочной фракции найдено у берегов Новой Земли (особенно в заливе Русская Гавань, где осуществляются непосредственное поступление осадочного материала с ледника Шокальского), а также у северных берегов Шпицбергена и континентальной Норвегии.

Полигонные исследования в акватории Баренцева моря помогли выявить большую изменчивость в распределении типов осадков. Общая закономерность циркумконтинентальной зональности в распределении гранулометрических типов осадков сильно искажается другими факторами, влияющими на осадконакопление: течениями, рельефом, ледниками.

Крупнообломочный материал (валунно-галечный-гравийный) преобладает у побережий Кольского полуострова, Шпицбергена, Новой Земли. Песчаный материал распространен в юго-восточной части моря и на границе с Норвежским морем. В Печорском море встречены хорошо сортированные “чистые” пески. Алевритовая и пелитовая фракции встречаются как в прибрежной зоне, так и в центральных глубоководных областях моря. Наиболее распространенными на шельфе Баренцева моря являются пелитовые осадки с преобладающей фракцией и медианным диаметром  $<0.01$  мм. Они включают ряд литологических типов, таких как песчано-алевритово-пелитовые, алевритово-пелитовые и собственно пелитовые илы, состоящие на 90% частиц пелитовой размерности. Эти осадки широко развиты в центральной части моря и во всех относительно глубоководных котловинах. Также подобные осадки встречены в бухтах и проливах Новой Земли и Земли Франца-Иосифа, находящихся в непосредственной близости от ледников, поставляющих осадочный материал в море.

Высокий процент тонкого материала терригенного происхождения объясняется следующи-

ми основными причинами. Во-первых, основная осадкообразующая роль в северной и восточной части Баренцева моря принадлежит пелитовому материалу, поставляемому ледниками архипелагов. Во-вторых, гидродинамическая обстановка в бассейне такова, что транспортирующей силы течений хватает для переноса только наиболее тонкого материала. В-третьих, система течений в Баренцевом море имеет замкнутый циклонический характер, вследствие чего тонкий материал не выносится за пределы шельфа.

Также нужно отметить, что в Баренцевом море довольно часто были встречены осадки смешанного гранулометрического типа (миктиты), что может быть результатом смешения материала из различных источников.

**Благодарности.** Авторы благодарны экипажу НИС “Академик Мстислав Келдыш” и его капитану Ю.Н. Горбачу, а также всем участникам 67-ого рейса за помощь в экспедиции, академику А.П. Лисицыну за общее руководство работами по теме.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках базовой темы Госзадания ИОРАН № 0149-2019-0007, экспедиционные и аналитические работы поддерживались РНФ (гранты № 14-27-00114-П “Взаимодействие геосфер в морских бассейнах России: оценка роли биогеохимических процессов в мобилизации, транспорте и седиментации рассеянного осадочного вещества” и № 19-77-00015 – частично обработка и анализ проб).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: ГЕОС, 2000. 305 с.
2. Андреева И.А., Ваништейн Б.Г., Зинченко А.Г. и др. Ландшафтно-экологические исследования Баренцева моря как основа для постановки долгосрочного мониторинга // Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа. СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеология, 2000. С. 17–32.
3. Арктический шельф Евразии в позднечетвертичное время / Под ред. Аксенова А.А. М.: Наука, 1987. 278 с.
4. Бадюков Д.Д. Взвесь и донные осадки прибрежно-морских экосистем // Новая Земля. Природа. История. Археология. Культура. Труды Морской Арктической комплексной экспедиции. Книга 1. М.: Российский НИИ культурного и природного наследия, 1998. С. 87–100.
5. Безруков П.Л., Лисицын А.П. Классификация осадков современных морских водоемов // Геологические исследования в Дальневосточных морях. Тр. Ин-та океанологии. Т. XXXII. М.: АН СССР, 1960. С. 3–14.
6. Геология СССР. Т. XXVI. Острова Советской Арктики. М.: Недра, 1970. 548 с.
7. Геоэкология шельфа и берегов морей России / Под ред. Айбулатова Н.А. М.: Ноосфера, 2001. 428 с.
8. Денисенко С.Г. Биоразнообразие и биоресурсы макрозообентоса Баренцева моря Структура и многолетние изменения. СПб: Наука, 2013. 284 с.
9. Дерюгин К.М. Баренцево море по Кольскому меридиану (33°30' в.д.) // Тр. Северной научно-промысловой экспедиции. 1924. Вып. 19. С. 3–103.
10. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
11. Зубов Н.Н. Избранные труды по океанологии. М., Воениздат, 1955. 547 с.
12. Иванов А.Г., Иванов Г.И., Wahsner M., Stein R. Глинистые минералы поверхностного слоя осадков северной части Баренцева моря // Теория и практика комплексных морских исследований в интересах экономики и безопасности Севера. Апатиты: изд-во КНОЦ РАН, 2005. С. 50–51.
13. Калинин В.В. Особенности седиментации в срединной части Баренцева моря // Геология и геоморфология шельфов и материковых окраин. М.: Наука, 1985. С. 101–112.
14. Калинин В.В. Глинистые минералы в осадках Арктических морей // Литология и полезн. ископаемые. 2001. № 4. С. 418–429.
15. Кленова М.В. Геология Баренцева моря. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 367 с.
16. Корякин В.С. Ледники Арктики. М.: Наука, 1988. 158 с.
17. Котенев Б.Н. К палеогеографии Баренцева моря в позднеледниковье и голоцене // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М.: Наука, 1979. С. 20–28.
18. Левитан М.А., Буртман М.В., Дара О.М. Верхнечетвертичные донные отложения // Печорское море: Системные исследования (гидрофизика, гидрология, оптика, биология, химия, геология, экология, социоэкономические проблемы) / Под ред. Романкевича Е.А., Лисицына А.П., Виноградова М.Е. М.: Море, 2003. С. 263–284.
19. Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
20. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–743.
21. Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 18–60.
22. Лисицын А.П., Петелин В.П. К методике предварительной обработки проб морских осадков в судовых условиях // Труды Института океанологии. 1956. Т. XIX. С. 240–251.
23. Матишов Г.Г. Рельеф, морфотектоника и основные черты развития шельфа Баренцева моря // Океанология. 1977. Т. XVII. Вып. 3. С. 490–496.
24. Матишов Г.Г. Дно океанов в ледниковый период. М.: Наука, 1984. 176 с.
25. Матишов Г.Г., Дружков Н.В., Дружкова Е.И., Ларионов В.В. Фитопланктон северной части Баренцева моря (желоб Франц-Виктория) в начале зимнего периода // Докл. РАН. 1999. Т. 367. № 4. С. 560–562.
26. Матишов Г.Г., Митяев М.В., Хасанкаев В.Б. и др. Современные области аккумуляции осадочного ве-

- щества в Медвежинском желобе Баренцева моря // Докл. РАН. 2002. Т. 384. № 6. С. 818–820.
27. Митяев М.В., Хасанкаев В.Б., Голубев В.А. Желоба Баренцева моря – современные каналы транспортировки или ловушки осадочного вещества? // Арктика и Антарктика. 2007. Выпуск 5(39). С. 72–79.
  28. Мурдмаа И.О., Иванова Е.В. Последлениковая история осадконакопления в шельфовых впадинах Баренцева моря // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 6. С. 576–595.
  29. Павлидис М.А. Особенности распределения поверхностных осадков восточной части Баренцева моря // Океанология. 1995. Т. 35. № 4. С. 614–622.
  30. Павлидис Ю.А., Ионин А.С. Некоторые особенности морфолитогенеза на арктическом шельфе в позднечетвертичное время // Проблемы четвертичной истории шельфа. М.: Наука, 1982. С. 74–85.
  31. Павлидис Ю.А., Ионин А.С., Щербаков Ф.А. и др. Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа развития. М.: ГЕОС, 1998. 187 с.
  32. Павлидис Ю.А., Никифоров С.Л., Огородов С.А., Тарасов Г.А. Печорское море: прошлое, настоящее и будущее // Океанология. 2007. Т. 47. № 6. С. 927–939.
  33. Петелин В.П. Новый метод водно-механического анализа морских осадков // Океанология. 1961. Т. 1. Вып. 1. С. 144–148.
  34. Политова Н.В., Новигатский А.Н., Козина Н.В., Терпугова С.А. Мультидисциплинарные исследования в Баренцевом море в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 534–536.
  35. Процессы седиментации на гляциальных шельфах / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 473 с.
  36. Рыбалко А.Е. Позднечетвертичный седиментогенез внутренних морей гляциальных шельфов Северо-Запада России. Дисс. Д.г.-м.н. СПб: 1999. 392 с.
  37. Свальнов В.Н., Алексеева Т.Н. Гранулометрический состав осадков Мирового океана. М.: Наука, 2005. 295 с.
  38. Тарасов Г.А. Особенности гранулометрии песчаных отложений в прибрежной зоне Тимано-Колгуевского мелководья // Донные отложения и биоцеенозы Баренцева и Белого морей. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 68–74.
  39. Gordeev V.V. Fluvial sediment flux to the Arctic Ocean // Geomorphology. 2006. V. 80. P. 94–104.
  40. Elverhoi A., Pfirman S.L., Solheim A., Larssen B.B. Glaciomarine sedimentation in epicontinental seas exemplified by the Northern Barents Sea // Marine Geology. 1989. V. 85. P. 225–250.
  41. Lisitzin A.P. Sea-Ice and Iceberg Sedimentation in the Ocean. Recent and Past. Berlin: Springer Verl., 2002. 563 p.
  42. Munsell soil-color charts with genuine Munsell® color chips 2009 year revised 2012.
  43. Politova N.V., Shevchenko V.P., Zernova V.V. Distribution, composition, and vertical fluxes of particulate matter in bays of Novaya Zemlya Archipelago, Vaigach Island at the end of summer // Advances in Meteorology, 2012, V. 2012. Article ID 259316.15p. doi: 10.1155/2012/259316.
  44. Shevchenko V.P. Aerosols over the Russian Arctic seas // Seabed morphology of Arctic Russian shelf / Ed. Niki-forov S. New York: Nova Science Publishers Inc., 2010. P. 87–92.
  45. Vogt C., Knies J. Sediment pathways in the western Barents Sea inferred from clay mineral assemblages in surface sediments // Norwegian Journal of Geology. 2009. V. 89. P. 41–55.

## Granulometric Composition of the Surface Layer of Bottom Sediments of the Barents Sea

T. N. Alekseeva<sup>a, #</sup>, N. V. Politova<sup>a, ##</sup>, N. V. Kozina<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: tania@blackout.ru*

<sup>##</sup>*e-mail: politova@ocean.ru*

The paper presents data from granulometric analysis based on the results of studying of 44 surface (0–5 sm) sediment samples obtained on the 67th cruise of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” (2016) from different parts of the Barents Sea. Pebble and gravel material is found in surface sediments in the form of admixture scattered throughout the sea. Such a chaotic distribution pattern is apparently associated with ice rafting. Coarse material is most common in the Barents Sea off the coast of the Kola Peninsula, Novaya Zemlya, Spitsbergen, where it accumulates due to coastal abrasion. In addition, a fraction > 1 mm is widespread at depths where fine fractions are stirred and washed away. The most common sediments in coastal shallow water are sands. Sands (0.1–1 mm) are widespread in the southern and southeastern regions of the sea, in the region of the Pechora polygon, the Kaninsky shallow water, the Kola Peninsula shallow area, and in the northwest, off the coast of Svalbard. With increasing depth, the coarse sediments are replaced by mixed sediments with a low admixture of pelite. Fine-grained sediments are prevalent in the central part of the sea. Sediments with a pelitic fraction (<0.01 mm) of more than 50% occupy about 70% of the Barents Sea. They are widespread in deep-sea hollows and trenches, as well as in the numerous fiords of the North Island of Novaya Zemlya and Franz Josef Land.

**Keywords:** Barents Sea, bottom sediments, granulometric composition