

УДК 628.394(268.45)

СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРСКОГО АНТРОПОГЕННОГО МУСОРА НА АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2021 г. М. А. Новиков¹ *, Е. А. Горбачева¹, Т. А. Прохорова¹, М. Н. Харламова²

¹Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (“ПИНРО” им. Н.М. Книповича), Мурманск, Россия

²Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

*e-mail: mnovik@pinro.ru

Поступила в редакцию 10.03.2020 г.

После доработки 28.05.2020 г.

Принята к публикации 22.06.2020 г.

Выполнен крупномасштабный мониторинг встречаемости морского антропогенного мусора в Баренцевом море в период с 2012 по 2018 гг. Содержание морского мусора оценивали по прилову в пелагических и донных тралениях. В ходе визуальных наблюдений учитывался плавающий по поверхности моря мусор. Проанализировано содержимое 949 пелагических и 1477 донных тралов. Морской мусор отмечен в 256 пелагических и 571 донном траловых уловах, а также в 454 случаях в ходе визуальных наблюдений. Мусор классифицировали по группам (пластик, древесина, металл, резина, текстиль, бумага, стекло). При всех регистрациях мусора по частоте встречаемости преобладал пластик. Он представлен в 71% случаев обнаружения мусора на поверхности моря, в 97% уловов мусора пелагическим тралом и 78% донным. В составе пластика преобладали остатки рыболовных снастей, составляющие в среднем около 65% его массы. Находки дерева составили 19% объектов регистрации мусора на поверхности, 1% в пелагических тралах и 13% в донных. Металл, резина, бумага, текстиль и стекло наблюдались эпизодически, но их масса, кроме стекла, могла быть очень велика. На морском дне по массе в мусоре преобладал металл – 45%, затем шла древесина – 36.8%. В пелагиали преобладала древесина – 73% общей массы мусора. На поверхности моря по объему преобладали пластик и древесина 50 и 47% соответственно. Средняя удельная масса всех типов мусора на морском дне составила около 7.9 кг/км². Отмечены существенные различия в составе мусора юго-западной и северо-восточной областей Баренцева моря.

Ключевые слова: Баренцево море, морской мусор, макропластик, пелагиаль, морское дно

DOI: 10.31857/S0030157421010147

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проблема морского антропогенного мусора рассматривается как реальная угроза жизнедеятельности морских животных и нормальному функционированию экосистем [16, 42, 47, 49, 53]. Морской мусор определяется как любой изготовленный или обработанный, стойкий к разложению твердый материал, утерянный, выброшенный или оставшийся не утилизированным в окружающей среде [53]. Наблюдаемый в море мусор в основном представляет собой пластиковую посуду, другие емкости, синтетические и стальные волокна (ваеры, тросы, рыбацкие сети, ловушки, леску), прочие изделия из пластика, бумаги и резины различного назначения, строительные материалы, бревна, обломки деревянных и металлических конструкций, бытовую технику, механизмы, включая затонувшие суда, их детали и многое другое. Предметы, изготовленные из пластика (макропластик), неизменно входят в число наиболее распространенных видов морского му-

сора [42, 50–53]. В 2015 г. в мире было произведено 322 млн т пластика, в дополнение к 61 млн т синтетического волокна [41]. Было подсчитано, что только в 2010 г. в Мировой океан поступило от 4.8 до 12.7 млн т пластмассовых отходов [34].

Основными источниками морского мусора в арктических морях являются терригенный сток, включая смыв с побережий, отходы морской деятельности, такой как рыболовство, судоходство, разведка и добыча нефти и газа на шельфе, туризм. Терригенный сток, в частности, предполагает дальний трансграничный перенос мусора морскими течениями и дрейфующим льдом. Пластик, как и другой плавающий морской мусор, может переноситься течениями вдоль побережья и в открытом море [17, 19, 46, 54]. Плотность населения и интенсивность морской деятельности оказывают прямое влияние на объем сбрасываемого в моря мусора [32, 34, 44]. Распространенность морского мусора и его способность причинять вред экосистемам привели к тому, что он

был признан глобальной проблемой [47, 49] и включен в список основных угроз морскому биоразнообразию [30].

Известно, что в море попадает примерно в 100 раз больше пластика, чем плавает на его поверхности, несмотря на плавучесть и долговечность многих полимеров. Обрастание мусора гидробионтами является одним из весьма вероятных механизмов, ответственных за его погружение. Микропластик (частицы <5 мм) регистрируется реже, чем частицы более крупных размерных классов, весьма труден для наблюдения и оценки объемов его нахождения в Мировом океане [23].

Для 56% видов морских птиц и 54% видов морских млекопитающих известно, что они заглатывают мусор и запутываются в упаковочных лентах, веревках и рыболовных сетях; многие из них при этом погибают [29, 38, 50, 53]. Крупные рыбы-планктонофаги, такие как скат-манта и китовые акулы, могут заглатывать весьма значительные количества пластика [28]. Следствием заглатывания мусора у животных может стать непроходимость кишечника, его внутренние повреждения, обуславливающие воспалительные процессы и т.п. При этом в организм животных также могут попадать токсичные соединения, в том числе сорбированные на поверхности мусора [16, 20, 21, 27]. Концентрации стойких органических загрязнителей (полихлорированных бифенилов, полибромированных дифениловых эфиров, дихлордифенилтрихлорэтана и т.д.) на частицах пластика на несколько порядков выше, чем в окружающей среде [16]. Морской мусор способствует рафтингу организмов и может стать причиной интродукции чужеродных видов [31], которая нередко приводит к серьезным экологическим последствиям.

Баренцево море — высокопродуктивный рыбохозяйственный водоем с относительно низким уровнем загрязнения среды обитания [10, 11, 33]. Регион Баренцева моря характеризуется специфическим океанографическим режимом, обусловленным географическим положением, мелководностью, низкими температурами, сложным рельефом дна и наличием выраженных фронтальных зон [9, 10, 12, 43].

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования распределения антропогенного мусора в Баренцевом море выполняются в ходе совместной российско-норвежской программы мониторинга, начиная с 2009 г. В настоящей работе проанализированы данные 2426 траловых станций (1477 донных и 949 пелагических), выполненных в период 2012–2018 гг.

Баренцево море — окраинное шельфовое море (площадь поверхности около 1.42 млн км²), рас-

положенное в высоких широтах примерно между 69° и 81° с.ш., средняя глубина которого составляет 220 м, а максимальная в Медвежинском желобе — 513 м [2]. Рельеф дна характеризуется несколькими крупными (Центральная возвышенность, возвышенность Персея) и относительно небольшими (Нордкапская, Шпицбергенская, Гусиная и Северо-Канинская банки) поднятиями, а также крупными желобами — Медвежинским и Центральным. Теплые и соленые атлантические воды входят в юго-западную часть Баренцева моря из Норвежского моря. На севере и северо-востоке в Баренцево море поступают холодные и распресненные воды Северного Ледовитого океана (СЛО). Норвежское прибрежное течение идет на восток вдоль береговой линии Кольского п-ва и приносит распресненную воду от северного побережья Норвегии [12]. Поверхностное течение Литке приносит холодные воды с низкой соленостью (32–32.5 PSU) из Карского моря в юго-восточную часть Баренцева. Это течение выносит льды из Карского моря, зачастую даже летом [2].

Исследования содержания морского мусора охватывали всю акваторию Баренцева моря и прилегающие к ней области Норвежского моря и СЛО. Расположение выполненных станций представлено на рис. 1 на примере станций донных тралений, которых было выполнено заметно больше, чем пелагических.

С целью анализа возможных географических различий в распределении мусора на исследованной акватории, мы выделили в одну группу станции южной и западной частей Баренцева моря (795 тралений), расположенные в зоне влияния теплых атлантических вод [12, 43], как показано на рис. 1. Среди оставшихся станций северной и восточной части акватории (682 траления), расположенных преимущественно в области влияния холодных арктических вод, отдельно выделили станции в районе, именуемом Печорским морем, находящиеся в зоне влияния печорских прибрежных вод (73 траления) [12, 43].

Со стороны России исследования выполнялись Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО); со стороны Норвегии — Институтом морских исследований (IMR, г. Берген, Норвегия). Стандартное расстояние между станциями составляло 35 морских миль [22, 32]. Норвежские суда обследовали норвежскую экономическую зону и рыбоохранную зону вокруг Шпицбергена, а суда ПИНРО (НИС “Вильнюс”, НИС “Фритьоф Нансен”) — исключительную экономическую зону РФ. На указанных станциях в большинстве случаев выполнялись донное (облавливался слой воды от дна до 5 м выше) и пелагическое траления (облавливался слой воды от поверхности до глубины

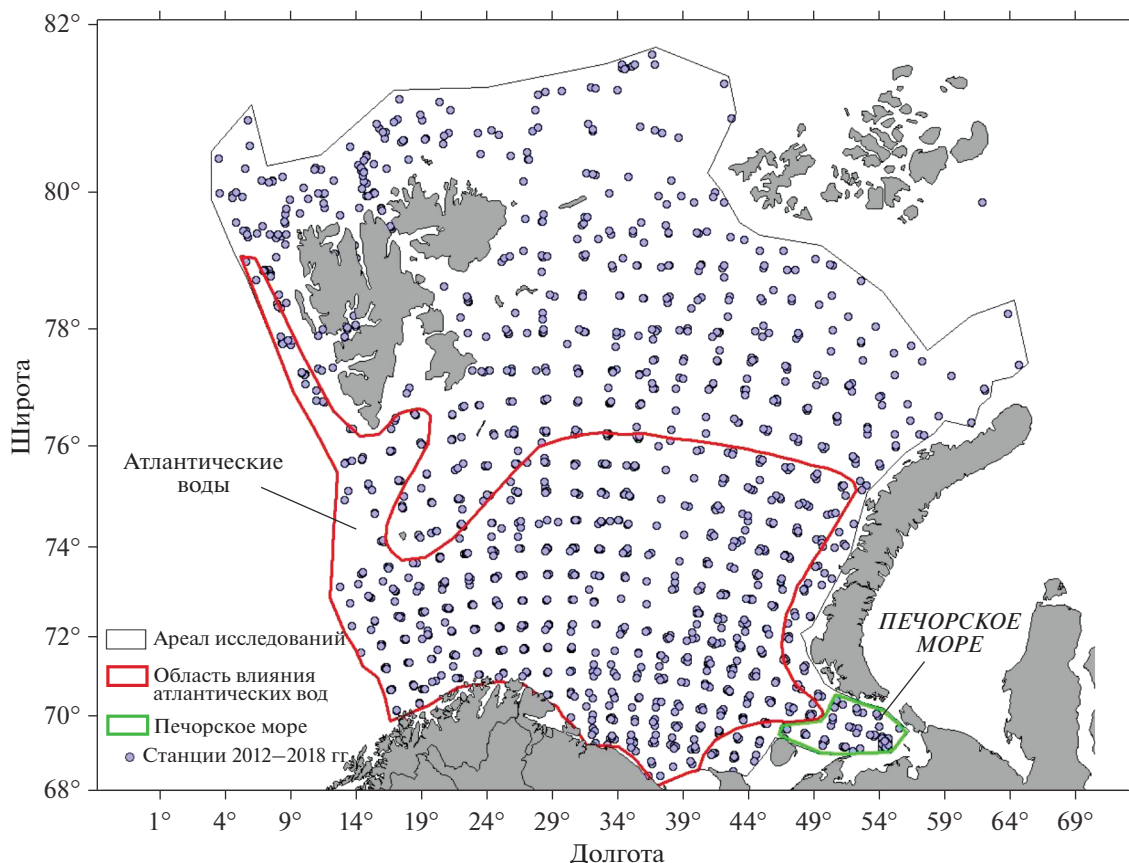


Рис. 1. Расположение донных траловых станций в Баренцевом море и смежных акваториях. Показаны также выделенные районы для отдельной статистической обработки данных.

60 м). Все суда использовали стандартные тралы и их оснащение, а также идентичную процедуру траления, что обеспечивало сравнимость полученных данных.

В целях регистрации морского мусора, отмеченного при наблюдениях за морской поверхностью и отобранного в качестве прилова при тралениях, его классифицировали на следующие виды (категории): пластик, древесина, металл, резина, текстиль, бумага и стекло [26, 42]. В группу “пластик” (в контексте данной работы – “макропластик”) вошли все разновидности пластмассы и синтетического волокна, представленного в основном рыболовными снастями. Под текстилем подразумеваются обрывки ткани или изделий из нее, состав которых по умолчанию считается преимущественно натуральным, хотя реальный состав, разумеется, может быть различным.

Визуальные наблюдения производились при движении судна, с его с борта, только в дневное время при подходящей погоде и видимости с использованием бинокля. Отмечался плавающий на морской поверхности мусор и его координаты; количество мусора оценивали в единицах объема (м^3). Данные визуального наблюдения имеют

некоторую неопределенность из-за упомянутых выше ограничений и субъективных моментов восприятия наблюдателям и поэтому должны интерпретироваться с некоторой осторожностью. В работе использованы данные наблюдений, выполненных в 2012, 2013 и 2016–2018 гг.

Состав и количество морского мусора в верхнем 60-метровом слое воды регистрировали в указанные выше годы при обработке улова пелагического трала А8-623-000 (Harstad на норвежских НИС) с мелкоючейной вставкой 4 мм (раскрытие трала 20×20 м). Пелагическое траление осуществлялось со скоростью 3 узла, на трех горизонтах (0, 20, 40 м по верхней подборе), по 0.5 морской мили (926 м) каждый. Пелагические уловы нормировались по отфильтрованному объему воды, определяемому суммарной дистанцией для каждого траления, раскрытием трала и горизонтом облова. Пелагический мусор учитывали в единицах массы на профильтрованный объем воды ($\text{г}/\text{м}^3$).

Данные о распределении и количестве морского мусора вблизи дна основаны на донном тралении с использованием стандартного донного трала “Campelen 1800” с раскрытием 15×6 м и с размером ячеей мешка 22 мм. Трал был оснащен

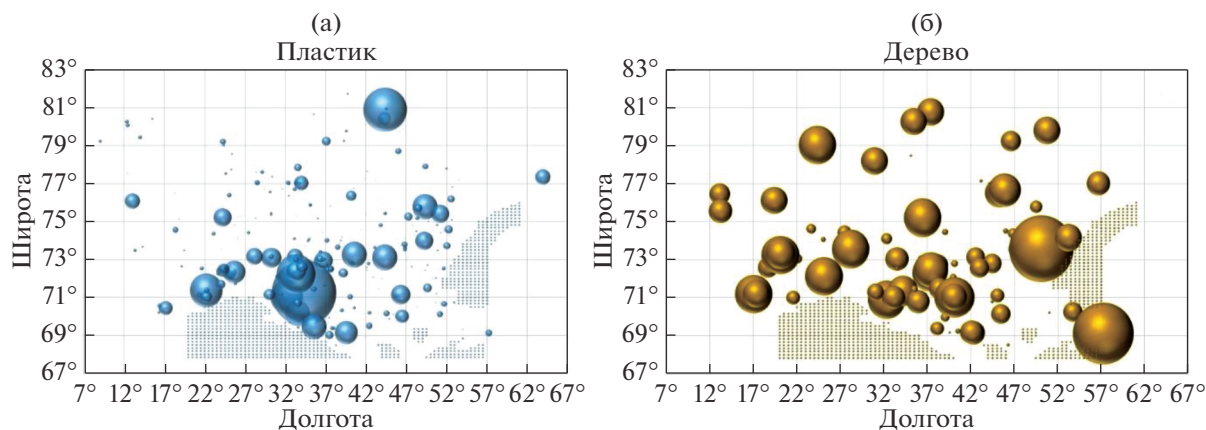


Рис. 2. Распределение объема загрязнения пластиком и обработанной древесиной на поверхности исследованной акватории. На диаграммах плотной группой мелких точек внизу и справа отмечено расположение суши: Скандинавский п-ов и Новая Земля.

грунтотром типа “рокхопер”. Стандартная продолжительность траления составляла 15 мин при скорости 3–3.5 узла. Плотность мусора на морском дне учитывали в г на км². Траловые уловы нормировались на площадь траления (дистанция траления × горизонтальное раскрытие трала). В работе использованы данные донных тралений, выполненных в 2012, 2013 и 2015–2018 гг.

В настоящей работе напрямую не учтена низкая уловистость пелагическим тралом плавающих объектов. Также не известна уловистость донного трала по отношению к мусору, поэтому в работе принималось допущение, что протраленная зона облова соответствует 15 м (80% длины подборы). Однако фактическая зона облова может быть меньше (5.7–10 м). Таким образом, полученные в работе данные по количеству пелагического мусора ближе к минимальной величине, а общий объем антропогенного мусора на исследованной акватории может быть больше.

Данные регистрации морского мусора с поверхности и из тралов использовали для картирования в среде ГИС-приложения Arcview 3.2 с использованием батиметрических данных из GEBCO. Статистическую обработку данных проводили в среде прикладного пакета Statistica 10 и электронных таблиц MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований показали, что наиболее часто встречающимся видом морского мусора был пластик. Он составлял 71% случаев визуальной регистрации на поверхности моря, присутствовал в 97% уловов мусора пелагическим тралом и в 78% — донным.

Мусор на морской поверхности. На поверхности исследованной акватории морской мусор наблюдался (регистрировался) 454 раза. Всего было отме-

чено 476 единиц мусора. Наиболее часто отмечался пластик — 338 раз, реже встречались дерево (89) и бумага (27). Другие материалы отмечались изредка. Оцененный объем загрязнения в среднем составлял 0.053 м³ мусора на регистрацию. Общий объем замеченного на морской поверхности мусора оценен нами примерно в 33.5 м³, из которых 50% составлял пластик, а 47% — обработанное дерево (древесина). При этом древесина и пластик распределялись на поверхности моря неодинаково. Как видно из рис. 2, дерево встречалось на исследованной акватории сравнительно равномерно, тогда как пластик наблюдался преимущественно в ее южной части и локализовался в области струй основных поверхностных течений Баренцева моря — Мурманского, Мурманского прибрежного, Ново-земельского и Канинского течений.

Подобная картина распространения пластика в Арктике ветвью Северо-Атлантического течения уже была отмечена ранее [20]. Основное количество пластика наблюдалось в районе Мурманской банки, минимальное его количество — в северо-западной части моря и в районе Шпицбергена. Максимальное количество пластика и дерева, отмеченное при одной регистрации, составляло 3.38 (моток каната) и 1.51 м³ соответственно, минимальное — 0.000005 и 0.0005 м³; средние значения — 0.05 и 0.18 м³ соответственно. Металл, резина, текстиль, бумага и стекло были зарегистрированы только в 49 случаях. Корреляция между широтой, долготой и присутствием на поверхности моря пластика или дерева не выявлена.

Траловые уловы. Морской мусор был отмечен в 571 (38.7%) донных и 256 (27.0%) пелагических траловых уловах, что было выше данных предыдущих исследований [32]. По числу наблюдений отличия по частоте встречаемости мусора в пелагических и донных тралах можно считать незначительными. Однако по массе мусора суще-

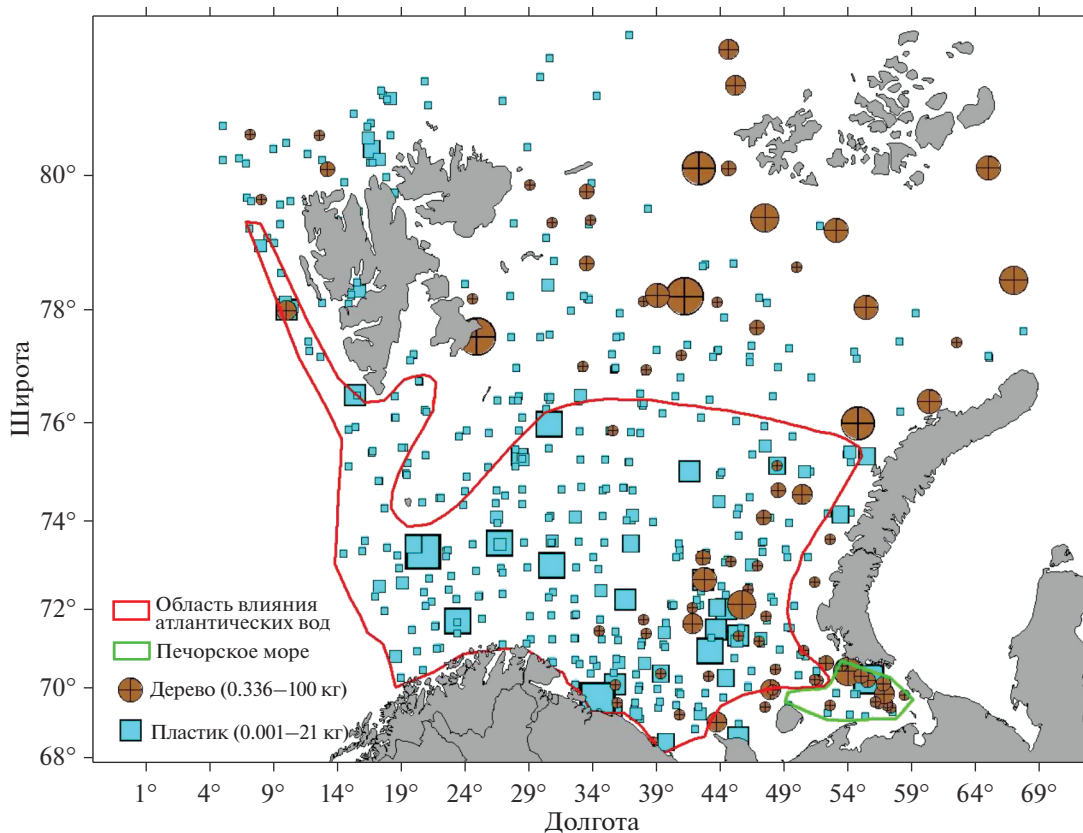


Рис. 3. Распределение массы пластика и древесины в донных тралях исследованной акватории.

ственно преобладала донная составляющая. Так, общая масса морского мусора в донных тралях на обследованной акватории составила 1400.9 кг. Пелагические тралях содержали всего 142.8 кг мусора. Данная ситуация представляется вполне закономерной, если исходить из того, что любой пелагический мусор представляет собой, по существу, динамическое (мгновенное) загрязнение, тогда как донный мусор характеризует накопленное за многие годы загрязнение. Ввиду отрицательной или близкой к ней плавучести в состав пелагического мусора практически не входят металл, стекло и резина. В любом случае металл и резина, обнаруженные на морском дне, представляют собой выбросы или штормовые смывы с судов. Основу пелагического мусора по массе составляло дерево (104.4 кг), а по встречаемости – пластик (253 траля). В донном мусоре по встречаемости лидировали пластик (510 траля) и дерево (83 траля), а по массе – металл (630.2 кг), дерево (515.2 кг), пластик (141.3 кг) и резина (103 кг). За вычетом массы металла и резины, принесенный морскими течениями и осевший на дне прочий мусор имел суммарный сырой вес 667.7 кг, что в 4.7 раза больше суммарной массы мусора в пелагических тралях. Содержание рыболовных снастей – остатки траля, пластиковые куктыли, куски веревок и т.п. – в составе группы “пластик”

в тралях было высоким и в среднем составило по данным 2015–2018 гг. 61.5%, с максимумом в 2018 г., равным 86.5%.

Донные траляния. Среднее содержание морского мусора на дне исследованной акватории составило 948.5 г на траля, что на 23% выше данных аналогичных исследований, выполненных ранее [32]. Удельная масса всего мусора на дне исследованной акватории оценена нами в 47.4 кг/км², в то время как ранее она оценивалась в 26 кг/км² [32].

Характер распределения массы пластика и дерева на дне исследованной акватории существенно отличался. Как видно из рис. 3, пластик преобладал в южной части исследованной акватории, а древесина – в северной. Из этого можно сделать уверенный вывод, подтверждающий высказанное выше предположение о том, что пути поступления пластика и древесины в Баренцево море различны. С целью детальной оценки этой проблемы мы выполнили статистический анализ данных по отдельным выделенным акваториям (см. рис. 1). Как следует из результатов, представленных в табл. 1, выявлены заметные отличия в составе и уровне загрязнения мусором дна юго-западной части Баренцева моря (атлантические воды) от акваторий, лежащих к северу и востоку от нее, в зоне влияния арктических вод.

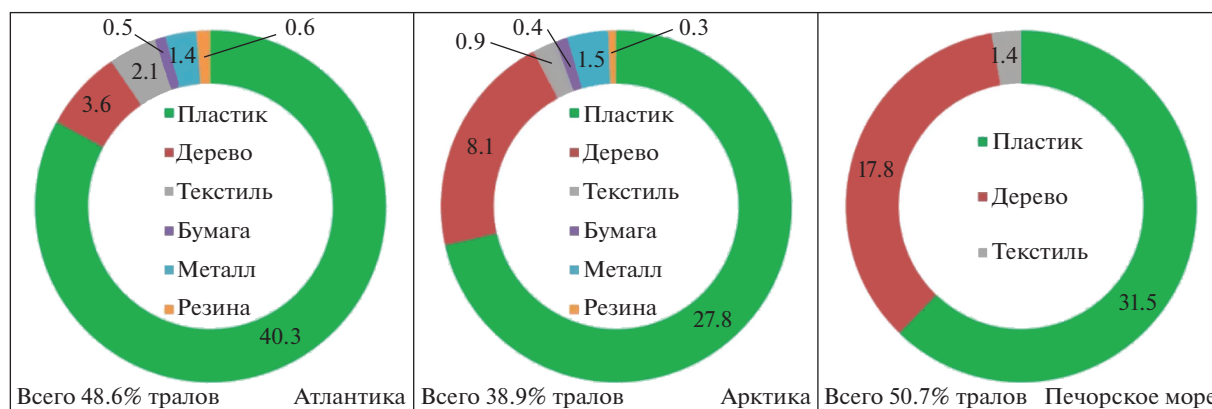


Рис. 4. Качественный состав мусора в донных тралах по выделенным районам Баренцева моря (см. карту на рис. 1). Слева снизу приведен суммарный процент тралов, содержащих все виды мусора.

При том, что общая масса собранного мусора в двух сравниваемых основных областях отличается не слишком заметно, в арктических водах отмечено минимальное содержание бумаги и резины, но наблюдается присутствие значительного количества древесины. Почти 77% всего мусора на дне арктической области по массе составляет именно древесина, преимущественно бревна. Ее количество здесь в 9 раз превышает таковое в зоне влияния атлантических вод.

Диаграмма состава мусора из донных тралов, представленная на рис. 4, также показывает заметные отличия мусора из области влияния атлантических вод по сравнению с арктическими, а также отсутствие металла, бумаги и резины в Печорском море. Среди арктических вод Печорское море отличается более высокой встречаемостью древесины в донных тралах. Особенно выделяются в этом отношении район Новоземельского желоба и район нефтедобывающей платформы "Приразломная".

Следует отметить, что, в отличие от пластика и металла, древесина не является чужеродным и потенциально опасным (в том объеме, в котором она встречается в Баренцевом море) компонентом морской среды. Она может рассматриваться как приемлемый субстрат для поселения морских организмов и питания детритофагов. Процессы гниения древесины в условиях низких температур и высокой солености в условиях СЛО сильно заторможены и не сопровождаются выделением заметного количества вредных для гидробионтов химических веществ, например таких как фенолы, метанол, меркаптаны, смоляные и карбоновые кислоты [5, 8, 15].

Пелагические траления. Среднее содержание морского мусора в верхнем 60-метровом слое воды исследованной акватории составило 150.5 г на трал, что в 2.6 раза выше данных аналогичных исследований, выполненных ранее [32]. Удельная масса всего мусора в верхней части пелагиали оценена нами в 135.52 кг/км³, из которых пластик

Таблица 1. Статистические данные о содержании морского мусора в донных тралах из различных частей исследованной акватории, г

Район, показатель	Пластик	Дерево	Текстиль	Бумага	Металл	Резина	Весь мусор
Атлантические воды:							
масса во всех тралах	118071	50752.6	2143.3	8186.5	516904	102868	798925
среднее на 1 трал	369	1812.6	126.1	2046.6	46991.3	20573.6	
на 1 км ²	7425.9	3192	143.8	514.9	32509.7	6469.7	
Арктические воды:							
масса во всех тралах	23245.6	464452	810	14	113288	157	601966
среднее на 1 трал	122.4	8444.6	135	4.7	11328.8	78.5	
на 1 км ²	1704.1	34050.7	59.4	1.03	8305.6	11.5	
Печорское море:							
масса во всех тралах	15609	22797	238	0	0	0	38645
среднее на 1 трал	678.7	1753.6	238.0	—	—	—	
на 1 км ²	10691.2	15614.7	163.0	—	—	—	
Суммарная масса по типам мусора	141317	515204	2953.3	8200.5	630192	103025	1400891

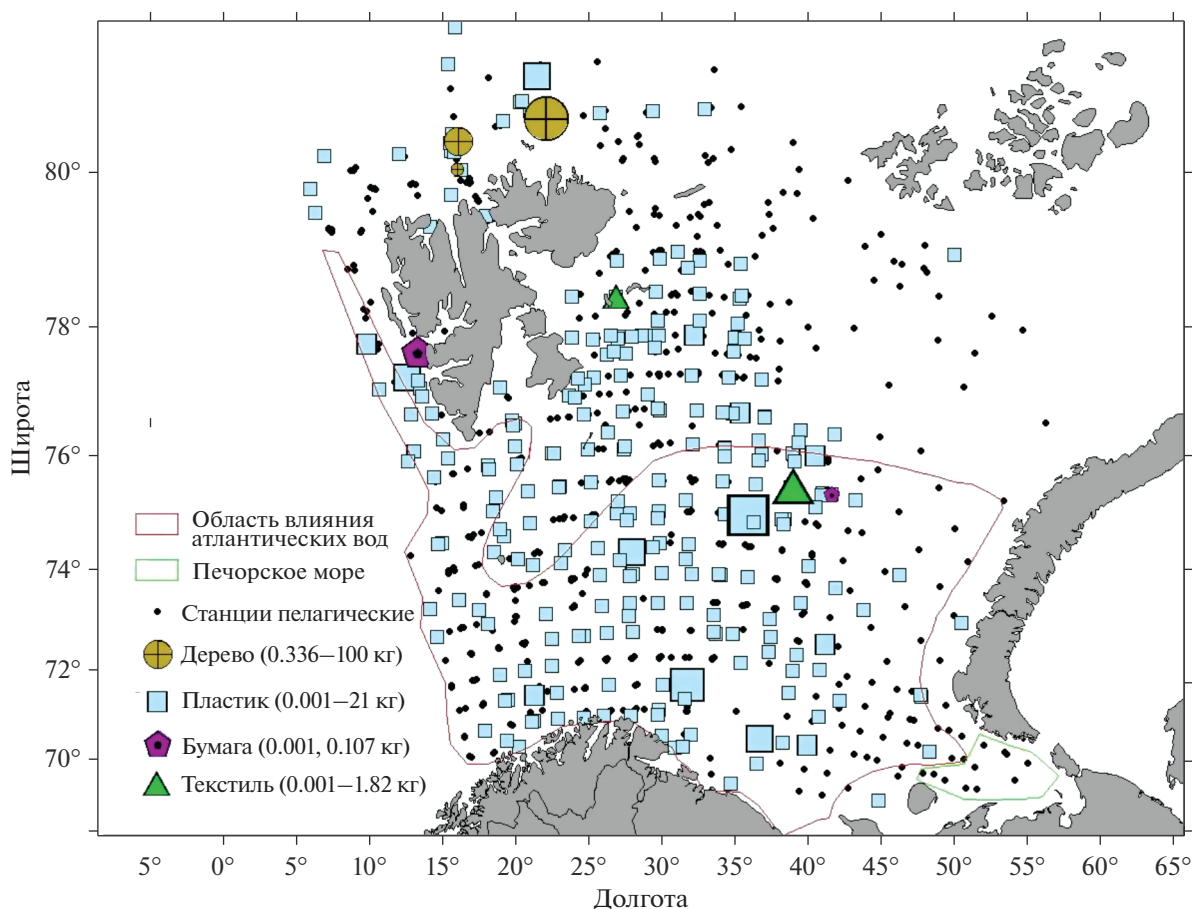


Рис. 5. Распределение массы мусора в пелагических тралах исследованной акватории.

составлял только 34.05 кг/км^3 . Можно считать это незначительным загрязнением. Для сравнения, в прибрежной зоне о. Бали в Индийском океане — в одной из наиболее загрязненных пластиком областей мирового океана — среднее содержание пластика в пелагиали составило 390 т/км^3 [28].

Основной особенностью результатов пелагического траления было то, что в области влияния атлантических вод ($n = 495$) (см. рис. 1) все виды мусора, кроме пластика, присутствовали единично (текстиль, бумага), либо отсутствовали (рис. 5). Содержание пластика составляло в среднем $246 \pm 166 \text{ г}$ на траление. Количество тралов, где был обнаружен пластик — 139 или 28.1%. Это было меньше встречаемости пластика в донных тралах на той же акватории (40.4%). Рассчитанное удельное содержание пластика в атлантических водах составило около 62161 г/км^3 .

В арктических водах в результате пелагических тралений ($n = 454$), кроме пластика, были обнаружены дерево, текстиль и бумага. По частоте встречаемости также преобладал пластик, который был обнаружен в 114 тралах (25.1%), со средней массой в трале $15.0 \pm 4.5 \text{ г}$. Это более чем в 15 раз меньше показателя, приведенного выше

для атлантических вод. Остальные виды мусора встречались единично. По массе превалировало дерево, составляя 97.7% улова, или всего 104406 г. Рассчитанное удельное содержание пластика в арктических водах составило 3375 г/км^3 , древесины — 206745 г/км^3 , текстиля — 1210 г/км^3 , бумаги — 212 г/км^3 . Однако из-за весьма малого количества тралов, где были обнаружены последние три вида мусора ($n = 3$, $n = 3$, $n = 1$ соответственно), эти данные следует рассматривать как примерные. Древесина была обнаружена только севернее Шпицбергена. В районе Печорского моря в пелагических тралах ($n = 11$) мусора обнаружено не было.

Итоговая экспертная оценка (интерполяция) массы мусора на всей исследованной морской акватории составила: 72667 т на дне и 45691 т в толще воды. Анализ полученных результатов не выявил устойчивых временных трендов в отношении содержания морского мусора на исследованной акватории за изученный период.

ОБСУЖДЕНИЕ

Особенностью распределения мусора на дне Баренцева моря является преобладание в его со-

ставе пластика на юго-западе и дерева на севере и северо-востоке. По данным литературы [46], качественный состав пластиков, обнаруженных на морском дне, более разнообразен, чем в водных массах. Здесь, наряду с полиэтиленом, полипропиленом и полистиролом, часто встречаются полиэстер, полиамид и полиакрилонитрил [36]. Дно является зоной окончательного накопления всех плавающих океанических пластиков. Биологическое обрастание плавающего в воде пластика приводит к увеличению его плотности и опусканию в нижележащие слои воды и на дно. Как правило, пластик сначала покрывается пленкой из бактерий, затем на нем появляются одноклеточные водоросли и колонии беспозвоночных [16]. Скорость оседания пластика зависит от его плотности, площади поверхности и размера частиц, а также от факторов окружающей среды, таких как температура и количество питательных веществ (биогенов), которые влияют на скорость биологического обрастания [46].

Среднее содержание мусора на дне Баренцева моря оказалось в 2.2 раза ниже, чем, например, на дне Адриатического моря (исследования проводились с использованием трала "rapido") — 103 кг/км² [48]. По другим данным, полученным на основе видеосъемки дна в западной части Баренцева моря, содержание мусора составляло 101 кг/км² на глубинах менее 100 м и 144 кг/км² на глубинах 100–400 м [19]. Однако в последнем случае проблемой является расшифровка изображений и определение массы мусора на дне расчетным путем, который, безусловно, имеет большую погрешность по сравнению с непосредственным взвешиванием материала. С другой стороны, данные, представленные в работе [18], подтверждают заключение [32], что содержание мусора на дне Баренцева моря увеличивается с глубиной.

Объемы древесины, обнаруженные на дне в арктической зоне, свидетельствуют о том, что это не просто мусор, а итог многолетнего загрязнения в результате лесосплава по сибирским рекам, а в юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море) — по рекам Архангельской области. Очевидно, одна из основных причин поступления древесины в открытое море — ледоход на больших северных реках, главным образом Енисее, Оби, Печоре. Кроме того, необходимо учесть запасы разнесенной древесины в устьях рек. Так, в устье р. Енисей, эти запасы, по некоторым данным, варьируют от 400 тыс. м³ до 1.5 млн м³ [1]. Скопившаяся в устьях сибирских рек древесина может захватываться льдом припая и выноситься весной — летом в центральный арктический бассейн, где затем дрейфует со льдами в западном направлении, в сторону Баренцева моря [6, 7, 14]. Разгрузка льдов в результате их таяния происходит в проливе Фрама и северо-восточной части

Баренцева моря, причем в Баренцевом море тают льды, принесенные преимущественно из Карского моря. После того как лед растает, древесина оказывается в воде и тонет, опускаясь на дно.

В 90-е гг. крупные скопления штормовой древесины отмечали в районах Терского и Кандакшского берегов Белого моря, на побережье Восточного Мурмана, п-ова Канин (зафиксирован завал бревен в объеме 2.8 тыс. м³), в Печорской губе, в заливах арх. Новая Земля, в устьях рек Оби и Енисея [4]. Наибольшие потери древесины наблюдаются при молевом сплаве (способ доставки леса россыпью по течению), который был повсеместно запрещен в 1995 г. с введением Водного кодекса РФ. До запрета лесопромышленники сплавляли только по рекам и водоемам Архангельской области 8–9 млн м³ древесины ежегодно, а сразу после его введения на 5 млн м³ меньше [3]. В настоящее время на реках РФ лесосплав осуществляется, как правило, в меньших объемах и сплоточных единицах, кошелевым и плотным способами, потери древесины при которых менее значительны. Лесосплав используется сегодня для транспорта леса как на реках Архангельской области (Северная Двина, Вага, Мезень, Пинега и др.), так и в Ангаро-Енисейском бассейне. Например, в 2005–2006 гг. приречные леспромхозы Архангельской области подготовили к отправке потребителям 116 плотов с 1025 тыс. м³ древесины [3].

Мусор, обнаруженный на дне Печорского моря, отличается малым разнообразием — только пластик, древесина и текстиль, но наибольшим содержанием пластика (см. табл. 1). Исходя из того, что численность населения на побережье Печорского моря (территория Ненецкого АО) одна из наиболее низких в России — 0.25 чел./км [13], можно предположить, что мусор переносится в Печорское море, главным образом, с водами морских течений, со льдом из Карского моря и со стоком р. Печоры. Подтверждением этому служит тот факт, что наибольшее содержание пластика — 15 кг на трал — отмечено для станции в Южно-Новоземельском желобе.

Распространение макропластика на исследованной акватории, прежде всего в юго-западной ее части, позволяет сделать отдельный вывод о значительном влиянии рыболовства на загрязнение акватории, как это было отмечено ранее [32]. Об этом говорит и его состав, в котором, как отмечено выше, преобладают обрывки рыболовных снастей и снаряжения. Так, например, второй по объему предмет из пластика — 1.5 м³, отмеченный нами в ходе визуальных наблюдений, представлял из себя моток трала, наблюдавшийся на 81° с.ш. (см. рис. 1). Баренцево море является районом с высокой промысловой активностью в течение всего года. Кроме рыбы (треска, пикша, камбала-

ерш и др.) в Баренцевом море имеет место лов креветки и ловушечный лов крабов – камчатского и краба-стригуна опилю. Вдоль побережья Норвегии расположены многочисленные фермерские хозяйства (аквакультура) для разведения лосося. Уменьшение площади ледового покрова и активизация нефтегазовой деятельности в последние годы привели к увеличению судоходства в этом районе [24, 35].

Наши результаты показывают, что содержание морского мусора изменялось в зависимости от плотности материала, морских течений, рельефа, географического положения и интенсивности хозяйственной деятельности на акватории. Это согласуется с наблюдениями из других районов Мирового океана [17, 25, 28, 45].

Практически исключительно пластиком был представлен мусор в пелагиали области распространения атлантических вод. Пелагиаль является важной кормовой зоной, где в течение лета–осени наблюдаются скопления планктона, молоди рыб и взрослых пелагических рыб. Концентрация различных видов пищи привлекает хищников, таких как крупные рыбы, морские млекопитающие и морские птицы. Частицы пластика могут попадать в организм рыб, морских млекопитающих и морских птиц. Хищники могут привлекаться солнечными бликами на пластике, напоминающими отражения в воде рыбьих глаз, рыбьей чешуи и т.п. [38]. Пластик может также напоминать медуз и гребневиков, которые являются пищей для рыб и морских птиц [38]. В морях более распространены такие виды пластиков, как полиэтилен, полипропилен и полистирол, доля которых в эпипелагиали достигает 92.2% от всех встречающихся здесь полимеров [46]. Полипропилен и полиэтилен характеризуются низкой плотностью ($0.90\text{--}0.97\text{ г/см}^3$) и соответственно высокой плавучестью, что позволяет им дольше находиться на поверхности и в толще воды. Плотность полистирола колеблется в диапазоне от 0.04 до 1.01 г/см^3 и приближается к плотности морской воды ($1.03\text{--}1.04\text{ г/см}^3$). Более низкая температура воды и более высокая соленость приводят к увеличению количества полимеров высокой плотности в толще воды [37].

Как и в нашем случае, исследования пластиков на поверхности и в толще воды Балтийского моря [18], на поверхности Северо-Атлантического субтропического круговорота [39] и Восточно-Тихоокеанского круговорота [40] не выявили четкой тенденции изменения его присутствия в последние десятилетия. Необходимо дальнейшие исследования путей переноса морского мусора и его накопления в Баренцевом море и российской Арктике, а также экологических последствий этого явления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На большом объеме данных многолетнего мониторинга Баренцева моря отмечено широкое распространение морского мусора, плавающего на поверхности, в верхнем 60-метровом слое воды и на морском дне.

По сравнению с данными предшествующих исследований, морской мусор стал встречаться на морском дне и в пелагиали Баренцева моря чаще и в большем количестве, хотя суммарные значения его содержания пока не внушают серьезных опасений. С сожалением можно констатировать, что плавающий пластик встречается в Баренцевом море повсеместно. Основную роль в его распространении играют крупные квазистационарные поверхностные течения Баренцева моря (Нордкапское, Мурманское, Новоземельское и др.). По этой причине наибольшие скопления пластика наблюдаются в юго-западной части акватории исследования.

Относительно невысокое загрязнение пластиком пелагиали восточной и северо-восточной частей Баренцева моря – области влияния арктических и прибрежных арктических вод – свидетельствует об умеренной современной антропогенной нагрузке на эти акватории. Однако в прошлом сплав древесины и интенсивная деятельность человека на арктическом побережье во времена СССР оказывали значительное воздействие на этот регион, результат которого мы видим в значительной встречаемости древесины на морском дне (в среднем более 30 кг/км^2). Вероятно, вынос древесины в восточную и северную части Баренцева моря осуществляется морским льдом в результате его дрейфа в Карском море в западном направлении.

Отмечено, что регион Печорского моря – юго-восточная часть Баренцева моря, сильно отличается по составу мусора не только от юго-западной его части, но и от основной области влияния арктических вод. Например, наибольшее удельное содержание пластика на дне отмечено именно в Печорском море. Таким образом, дно Печорского моря интенсивно загрязнено и пластиком, и древесиной.

Рыбный промысел и другие виды морской деятельности являются наиболее устойчивым источником поступления морского мусора в Баренцево море. В высоких широтах, в СЛО, определенный вклад вносит дальний перенос мусора морским льдом в результате океанического дрейфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисовец Ю.П.* Освоение древесного сырья на акваториях водохранилищ Восточной Сибири и Енисейского залива. М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1987. 36 с.

2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.
3. Гревцов А. Сплотиться и выстоять. ЛесПромИнформ, 2006. № 5. С. 22–24.
4. Гуревич В.И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М.: Научный мир, 2002. 135 с.
5. Кошелева В.В., Мигаловский И.П., Новиков М.А. и др. Реакции гидробионтов на загрязнение среды при разработке нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. 92 с.
6. Кулаков М.Ю., Макитас А.П. Роль дрейфа льда в формировании ледового покрова Северного Ледовитого океана в начале XXI века // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2(96). С. 67–75.
7. Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новый подход к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 18–60.
8. Лукьяненко В.И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М.: Агропромиздат, 1987. 240 с.
9. Новиков М.А. Применение цифровой модели донных отложений Баренцева моря для анализа загрязнения // Вестн. Кольского научного центра РАН. 2018. № 3(10). С. 205–209.
10. Новиков М.А., Драганов Д.М. Пространственное распределение показателей загрязнения водных масс Баренцева моря // Водн. ресур. 2017. Т. 44. № 5. С. 583–589.
11. Новиков М.А., Драганов Д.М. Загрязнение воды и донных отложений области Полярного фронта Баренцева моря тяжелыми металлами // Вестн. МГТУ. 2018. Т. 21. № 1. С. 150–159.
12. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г. и др. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИНРО, 2016. 260 с.
13. Плотность населения России по регионам 2017. Карта. Самые густонаселенные и малонаселенные регионы России. <http://www.statdata.ru>
14. Родаль К. Север. Природа и жизнь полярного мира. М.: Географгиз, 1958. 247 с.
15. Савченко И.Ф., Савченко М.Н. Экология дальневосточных водохранилищ: проблемы органического загрязнения // Экология и промышленность России. 1999. С. 19–23.
16. Andrady A.L. Microplastics in the marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2011. V. 62. Issue 8. P. 1596–1695.
17. Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C., Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 2009. V. 364. P. 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
18. Beer A., Garm A., Huwer B., Dierking J., Nielsen T.G. No increase in marine microplastic concentration over the last three decades – a case study from the Baltic Sea // Sci. Tot. Environ. 2017. V. 621. P. 1272–1279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.101>
19. Buhl-Mortensen L., Buhl-Mortensen P. Marine litter in the Nordic Seas: distribution composition and abundance // Mar. Pollut. Bull. 2017. V. 125. P. 260–270. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.048>
20. Cozar A., Marti E., Duarte C. M., Garcia-de-Lomas J. et al. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation // Sci. Adv. 2017. V. 3(4): e1600582. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600582>
21. Derraik J.G.B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review // Mar. Pollut. Bull. 2002. V. 44. P. 842–852.
22. Eriksen E., Gjøsæter H., Prozorkevich D. et al. From single species surveys towards monitoring of the Barents Sea ecosystem // Prog. Oceanogr. 2018. V. 166. P. 4–14.
23. Fazez F.M.C., Ryan P.G. Biofouling on buoyant marine plastics: an experimental study into the effect of size on surface longevity // Environ. Pollut. 2016. V. 210. P. 354–360.
24. First update of the Integrated Management Plan for the Marine Environment of the Barents Sea-Lofoten Area // Meld. St. 10 (2010–2011). Report to the Storting (white paper). Norwegian Ministry of the Environment, 2011. 151 p. https://www.regjeringen.no/contentassets/db61759a16874cf28b2f074c9191bed8/en-gb/pdfs/stm201020110010000en_pdfs.pdf
25. Galgani F., Leaute J.P., Moguelet P. et al. Litter on the sea floor along European coasts // Mar. Poll. Bull. 2000. V. 40. P. 516–527. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00234-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00234-9)
26. Galgani F., Fleet D., Van Franeker J. et al. Marine strategy framework directive – Task group 10 report Marine Litter / Zampoukas N. (Ed.). Scientific and Technical Reports, European Commission Joint Research Centre (JRC). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2010. 48 p.
27. Gall S.C., Thompson R.C. The impact of debris on marine life // Mar. Pollut. Bull. 2015. V. 92. P. 170–179.
28. Germanov E.S., Marshall A.D., Hendrawan I.G. et al. Microplastics on the Menu: Plastics Pollute Indonesian Manta Ray and Whale Shark Feeding Grounds // Front. Mar. Sci. 2019. V. 6. Article number 679. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00679>
29. Gilardi K.V.K., Carlson-Bremer D., June J.A. et al. Marine species mortality in derelict fishing nets in Puget Sound, WA and the cost/benefits of derelict net removal // Mar. Pollut. Bull. 2010. V. 60. P. 376–382. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.10.016>
30. Gray J. Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs // Biodivers. Conserv. 1997. V. 6. Is. 1. P. 153–175.
31. Gregory M.R. Environmental implications of plastic debris in marine settings – entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions // Philos. Trans. Roy. Soc. B. 2009. V. 364. P. 2013–2025.
32. Grøsvik B.E., Prokhorova T., Eriksen E. et al. Assessment of Marine Litter in the Barents Sea, a Part of the Joint Norwegian-Russian Ecosystem Survey // Front. Mar. Sci. 2018. V. 5:72. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00072>
33. ICES. Report of the Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea. WGIBAR 2017 Report 16–18 March 2017, Murmansk, Russia. ICES CM 2017/SSGIEA:04. p. 186.
34. Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean // Science. 2015. V. 347. P. 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

35. King J., Spreen G., Gerland S. et al. Sea-ice thickness from field measurements in the northwestern Barents Sea // *J. Geophys. Res. Oceans*. 2017. V. 122. P. 1497–1512. <https://doi.org/10.1002/2016JC012199>
36. Koelmans A.A., Kooi M., Law K., Van Sebille E. All is not lost: fragmentation of plastic at sea // *Environ. Res. Lett.* 2017. V. 12(11). Article 114028.
37. Kowalski N., Reichardt A.M., Waniek J.J. Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors // *Mar. Pollut. Bull.* 2016. V. 109. P. 310–319.
38. Kühn S., Rebolledo E.L.B., van Franeker J.A. Deleterious effects of litter on marine life // *Marine Anthropogenic Litter* / Eds Bergmann M., Gutow L., Klages M. Berlin: Springer International Publishing, 2015. P. 75–116.
39. Law K.L., Morét-Ferguson S., Maximenko N.A. et al. Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre // *Science*. 2010. V. 329. P. 1185–1188. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>
40. Law K.L., Morét-Ferguson S., Goodwin D.S. et al. Distribution of surface plastic debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-year data set // *Environ. Sci. Technol.* 2014. V. 48. P. 4732–4738. <https://doi.org/10.1021/es4053076>
41. Lusher A.L., Hollman P.C.H., Mendoza-Hill J.J. Microplastics in Fisheries and Aquaculture: Status of Knowledge on Their Occurrence and Implications for Aquatic Organisms and Food Safety // *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. 2017. № 615. Rome, Italy. 147 p.
42. OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter: Monitoring of marine litter on beaches in the OSPAR region // *OSPAR Commission*. London, 2007. 75 p.
43. Oziel L., Sirven J., Gascard J.C. The Barents Sea frontal zones and water masses variability (1980–2011) // *Ocean Sci.* 2016. V. 12. P. 169–184.
44. Pham C.K., Ramirez-Llodra E., Alt C.H.S. et al. Marine litter distribution and density in European Seas, from the shelves to deep basins. *PLoS ONE*. 2014. V. 9(4): e95839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095839>
45. Ramirez-Llodra E., De Mol B., Company J.B. et al. Effects of natural and anthropogenic processes in the distribution of marine litter in the deep Mediterranean Sea // *Prog. Oceanogr.* 2013. V. 118. P. 273–287. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.07.027>
46. Schwarz A.E., Lighthart T.L., Boukris E., Van Harmelen T. Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study // *Mar. Pollut. Bull.* 2019. V. 143. P. 92–100.
47. STAP Marine Debris as a Global Environmental Problem: Introducing a solutions based Framework Focused on Plastic. A STAP Information Document Global Environment Facility. Washington, 2011. 40 p.
48. Strafellaa P., Fabia G., Despalatovicd M. et al. Assessment of seabed litter in the Northern and Central Adriatic Sea (Mediterranean) over six years // *Mar. Pollut. Bull.* 2019. V. 141. P. 24–35.
49. Sutherland W.J., Clout M., Côté I.M. et al. A horizon scan of global conservation issues for 2010 // *Trends Ecol. Evol.* 2010. V. 25. P. 1–7.
50. Thompson R.C., Moore C.J., vom Saal F.S., Swan S.H. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends // *Philos. Trans. Roy. Soc. B*. 2009. V. 364, P. 2153–2166.
51. UNEP Marine Litter an Analytical Overview United Nations Environment Programme. Kenya, 2005. 47 p.
52. UNEP-CAR/RCU Marine Litter in the Wider Caribbean Region: A Regional Overview United Nations Environment Programme. Nairobi, 2008. 81 p.
53. UNEP Marine Litter: A Global Challenge // Nairobi: UNEP, 2009. 232 p.
54. Vesman A., Moulin E., Egorova A., Zaikov K. Marine litter pollution on the Northern Island of the Novaya Zemlya archipelago // *Mar. Pollut. Bull.* 2020. V. 150: 110671.

Composition and Distribution of Marine Anthropogenic Litter in the Barents Sea

M. A. Novikov^{a, #}, E. A. Gorbacheva^a, T. A. Prokhorova^a, M. N. Kharlamova^b

^aPolar Branch of “VNIRO” (“PINRO” named after N.M. Knipovich), Murmansk, Russia

^bMurmansk Arctic State University (MASU), Murmansk, Russia

[#]e-mail: mnovik@pinro.ru

Large-scale monitoring of marine anthropogenic litter occurrence in the Barents Sea was conducted in 2012–2018. Marine litter composition was estimated by recordings of by-catch from the pelagic and bottom trawling. Litter on the surface (floating) was also taken into account during visual observations. Contents of 949 pelagic and 1477 bottom trawls were analyzed. Marine litter was recorded in 256 pelagic and 571 bottom trawl catches and at 454 facts of visual observations. Litter was sorted into plastic, wood, metal, rubber, textiles, paper and glass. Plastic prevailed in frequency for all litter registrations. It covered 71% of cases of litter registrations on the sea surface, 97% of litter catches by pelagic trawl and 78% by bottom trawl. Fishery litter prevailed in plastic litter, with the average of about 65% of its weight. Wood was registered in 19% of surface litter observations, in 1% of pelagic trawls and in 13% of bottom ones. Metal, rubber, paper, textiles and glass were observed occasionally but their mass, except glass, could be very large. Thus, metal and wood dominated in weight on the bottom (45% and 36.8% respectively). Wood dominated in the pelagic layers – 73% of the total litter weight. Plastic and wood dominated in volume (50% and 47% respectively) in the surface observations. The average density of all types of litter on the bottom was about 7.9 kg/km². Some significant differences in the litter composition in the southwestern and northeastern regions of the Barents Sea were registered.

Keywords: the Barents Sea, marine litter, macroplastic, the pelagic zone, seabed